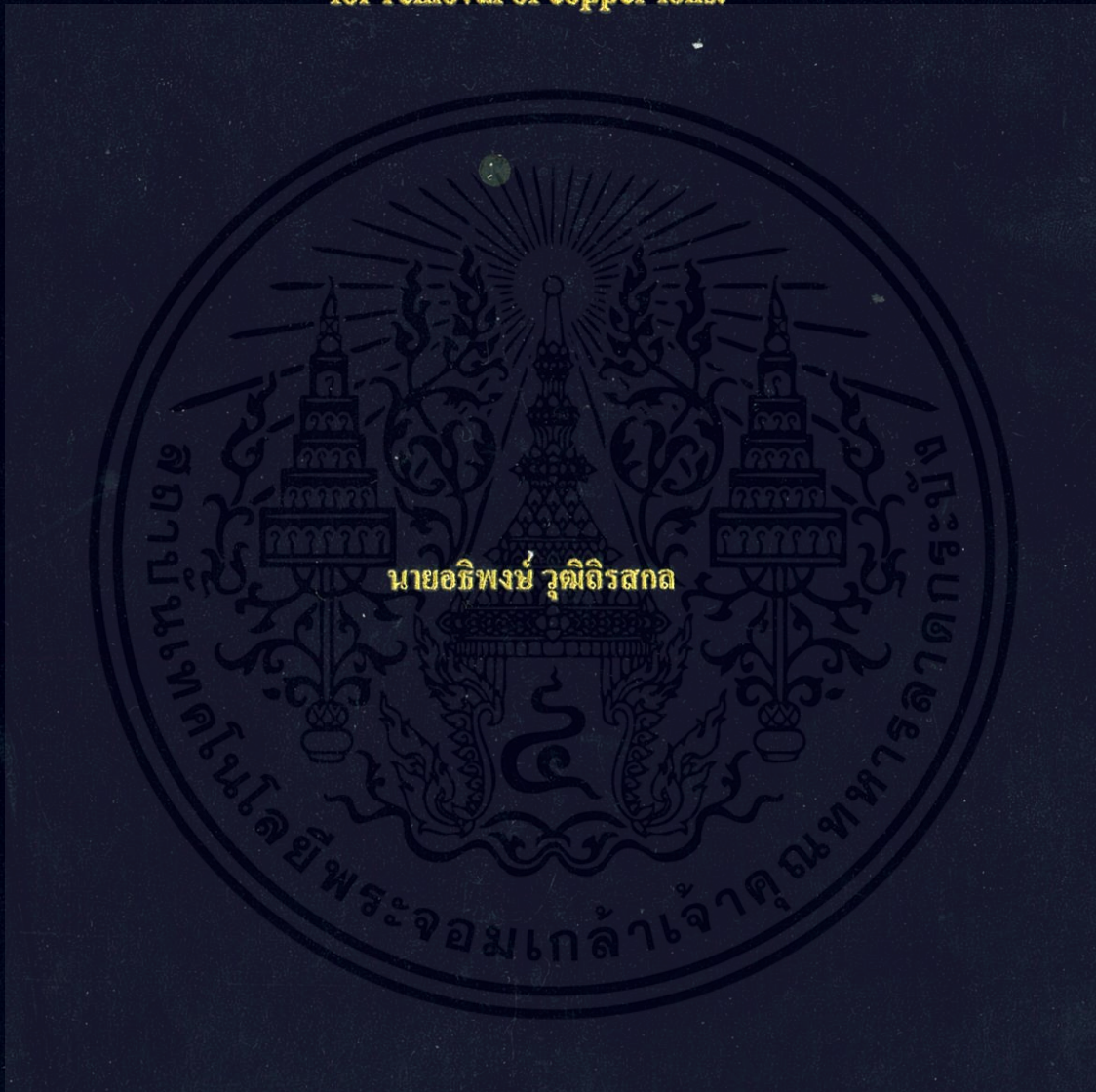


การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล Si/Al ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอโดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อใช้ในการกำจัดไอออนทองแดง

Effect of Si/Al molar ratios of microwave synthesized NaA zeolite for removal of copper ions.



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล Si/Al ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอโดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ
เพื่อใช้ในการกำจัดไอออนทองแดง

Effect of Si/Al molar ratios of microwave synthesized NaA zeolite for removal of copper ions.



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2557

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง การศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมล Si/Al ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อใช้ในการกำจัด ไอออนทองแดง

จัดทำโดย นายอริพงษ์ วุฒิธิรสกล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วน Si / Al ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อใช้ในการดูดซับ ไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอจากสารตั้งต้น Ludox HS-40 2.4 ml และโซเดียมอลูมินेटโดยปรับเปลี่ยนปริมาณ โซเดียมอลูมินेट คือ 7.20, 4.97 และ 3.71 กรัม ตกผลึกโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ 500 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ XRD ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซีโอไลต์โซเดียมเอ มีลักษณะเป็นผงละเอียด นุ่ม สีขาว ในการวิเคราะห์ XRF พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al คือ 1.83, 1.94 และ 1.64 ตามลำดับ และซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ใช้ปริมาณโซเดียมอลูมินेट 7.2 กรัมในการสังเคราะห์ มีอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al คือ 2.07 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 7, 15, 119, 195, 272 และ 304 ppm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ พบว่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลของซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่างเท่ากันคือ ที่ความเข้มข้น 7 และ 15 ppm ใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 3 นาที ในการเข้าสู่สมดุล สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ประมาณ 7 และ 15 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ที่ความเข้มข้น 119 ppm เวลาในการเข้าสู่สมดุลอยู่ที่ 20 นาที สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ อยู่ในช่วง 118 ถึง 119 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ที่ความเข้มข้น 195, 272 และ 304 ppm เวลาในการเข้าสู่สมดุลคือ 40 นาที ความสามารถในการดูดซับไอออนทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 188 ถึง 190, 246 ถึง 248 และ 257 ถึง 258 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ตามลำดับ อัตราส่วน โดยโมลของ Si/Al ของซีโอไลต์โซเดียมเอในช่วง 1.64 ถึง 2.07 ไม่มีผลต่อการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากค่าของอัตราส่วน โดยโมลของซีโอไลต์โซเดียมเอ มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่างมีความคล้ายคลึงกัน มีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir มากกว่าสมการ Freundlich แสดงให้เห็นว่าการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งการดูดซับที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Effect of Si/Al molar ratios of microwave synthesized NaA zeolite for removal of copper ions.

By Mr.Athipong Wuthithirasagon

Advisor Asst.Prof.Dr.Pornsawan Assawasaengrat
Bachelor Degree of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The Effect of Si/Al molar ratios of microwave synthesized NaA zeolite for removal of copper ions was studied. NaA zeolite was prepared by precipitation of Ludox HS-40 and sodium aluminate. The amount of sodium aluminate was varied while concentration of Ludox HS 40 was fixed. The crystalline structure and element analysis were characterized by XRD and XRF, respectively. The molar ratios of Si/Al of microwave synthesized zeolite were varied 1.83, 1.94 and 1.64 and molar ratio of Si/Al of hydrothermal zeolite was 2.07. The adsorption capacity of synthesized zeolite containing different molar ratios was studied by varying concentration of Cu ions (7, 15, 119, 195, 272 and 304 ppm), for 0.5 g of NaA zeolite at room temperature. The results showed that all molar ratios of NaA zeolite performed similar adsorption pattern. The equilibrium time of copper solution at 7 and 15 ppm was 1-3 minute and absorption capacity was 7 and 15 mg copper/g zeolite, The equilibrium time of copper solution at 119 ppm was 20 minute and absorption capacity was 118-119 mg copper/g zeolite, Moreover the equilibrium time of copper solution at 195 272 and 304 ppm was 40 minute and absorption capacity was 188-190 246-248 and 257-258 mg copper/g zeolite. It suggested that the molar ratios of NaA zeolite, i.e., 1.64, 1.84, 1.94 and 2.07, was not affected to Cu ions capacity. For isotherm determination, the adsorption can be described by Langmuir isotherm better than Freundlich isotherm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

ผศ.ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งช่วยชี้แนะแนวทางในงานวิจัย คอยให้คำปรึกษา และอีกทั้งยังช่วยแนะนำและแก้ไขข้อผิดพลาดทั้งในการทดลอง การหาข้อมูล และในการเขียนเล่มปริยญา นิพนธ์ฉบับนี้

คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่วิจัยทุกท่านในภาควิชากรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อบรม สั่งสอน และมอบวิชาความรู้

เจ้าหน้าที่วิจัยคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การ อบรมการใช้เครื่องมือตรวจวัด และเครื่องมือในการวิเคราะห์ รวมถึงให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องวิเคราะห์นั้นๆด้วย

บิดามารดา รวมไปถึงญาติพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการจัดทำปริยญา นิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นจนสำเร็จ

อธิพจน์ วุฒิจิตรสกล

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ซีโอไลต์ (Zeolite)	3
2.1.1 โครงสร้างซีโอไลต์	4
2.1.2 ชนิดของซีโอไลต์	4
2.1.3 ประโยชน์ของซีโอไลต์	5
2.2 ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA)	6
2.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ	6
2.4 ทฤษฎีการดูดซับ	9
2.4.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)	10
2.4.2 ไอโซเทอมแบบฟรอนด์ลิก (Freundlich isotherm)	11
2.5 โลหะทองแดง (copper)	12
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	14
3.1 สารเคมี	14
3.2 อุปกรณ์	14
3.3 วิธีการทดลอง	15
3.3.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ	15
3.3.2 การดูดซับคอปเปอร์	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	17
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์โซเดียมเอ	17
4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)	17
4.1.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในซีโอไลต์ ด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสี เอ็กซ์ (X-ray fluorescence, XRF)	21
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำ	22
4.2.1 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำ	22
4.2.2 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ	26
4.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับ โดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง	40
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ	64
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะ	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 องค์ประกอบของซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่สังเคราะห์ได้	21
4.2 ค่าคงที่จากการคำนวณตามสมการของ Langmuir และ Freundlich	34
ก.1 ตารางแสดงผลการตรวจค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายทองแดงที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐาน	40
ก.2 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	41
ก.3 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	42
ก.4 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	43
ก.5 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	44
ก.6 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	45
ก.7 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	46
ก.8 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	47
ก.9 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	48
ก.10 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	49
ก.11 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	50
ก.12 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	51
ก.13 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	52
ก.14 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	53

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.15 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	54
ก.16 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	55
ก.17 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	56
ก.18 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	57
ก.19 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	58
ก.20 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	59
ก.21 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	60
ก.22 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	61
ก.23 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	62
ก.24 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	63
ก.25 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	64
ข.1 ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไอออนของทองแดงที่ใช้ในการดูดซับโดยซีโอไลต์โซเดียมเอ	66
ข.2 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของผลึกซีโอไลต์ที่เกิดจากการตกผลึก	6
2.2 กระบวนการเกิดซีโอไลต์โซเดียมเอ	7
4.1 กราฟ XRD ของซีโอไลต์โซเดียมเอในเชิงพาณิชย์	18
4.2 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่สังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 1	19
4.3 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่สังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 2	19
4.4 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่สังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 3	20
4.5 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่สังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 4	20
4.6 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64)	22
4.7 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.83)	23
4.8 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.94)	24
4.9 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (H)	25
4.10 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.64)	26
4.11 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.83)	27
4.12 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.94)	27
4.13 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (H)	28
4.14 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่าง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
4.15 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Langmuir	30
4.16 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Freundlich	30
4.17 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.83) ด้วยสมการ Langmuir	31
4.18 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.83) ด้วยสมการ Freundlich	31
4.19 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.94) ด้วยสมการ Langmuir	32
4.20 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.94) ด้วยสมการ Freundlich	32
4.21 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (H) ด้วยสมการ Langmuir	33
4.22 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (H) ด้วยสมการ Freundlich	33
ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง	40
ก.2 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	41
ก.3 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
ก.4 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	43
ก.5 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 7 ppm	44
ก.6 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	45
ก.7 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	46
ก.8 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	47
ก.9 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 15 ppm	48
ก.10 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	49
ก.11 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	50
ก.12 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	51
ก.13 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 119 ppm	52
ก.14 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	53

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
ก.15 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	54
ก.16 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	55
ก.17 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 195 ppm	56
ก.18 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	57
ก.19 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	58
ก.20 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	59
ก.21 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 272 ppm	60
ก.22 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	61
ก.23 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	62
ก.24 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	63
ก.25 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 304 ppm	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
ข.1 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Langmuir	68
ข.2 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Freundlich	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันได้มีการนำโลหะทองแดงมาใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมไปถึงอุตสาหกรรมการชุบโลหะ ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีไอออนของทองแดงปนมากับของเสียที่โรงงานอุตสาหกรรมทิ้ง จึงต้องมีกระบวนการกำจัดไอออนของทองแดงนี้ออก ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนของโลหะหนักปนอยู่ มีด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น การแลกเปลี่ยนไอออน การเติมสารเพื่อทำให้ตกตะกอน การดูดซับ เป็นต้น สำหรับการดูดซับ ซีโอไลต์ (zeolite) เป็นวัสดุดูดซับประเภทหนึ่งที่กำลังมีความนิยมเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้าง การตกผลึก และคุณสมบัติของซีโอไลต์ ทำให้สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ และมีคุณสมบัติตรงกับความต้องการในการใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติทั่วไปของซีโอไลต์ ได้แก่ มีรูพรุนที่สม่ำเสมอ และเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มแคตไอออนเข้าไปในโมเลกุลของซีโอไลต์ ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ได้อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้จึงจัดทำเพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมแอมด้วยวิธีการทางไมโครเวฟ และศึกษาผลของอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมในการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยกระบวนการให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ ต่อการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการสังเคราะห์การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยการให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ
2. ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะทางเคมีของซีโอไลต์โซเดียมเอ ด้วยการตรวจสอบ X-ray Diffraction(XRD) และ X-ray Fluorescence(XRF)
3. ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ที่ส่งผลต่อการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซีโอไลต์(zeolite) [1],[2]

ชื่อ ซีโอไลต์ นั้น มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก zein แปลว่า to boil และ lithos แปลว่า stone รวมความหมายแล้วก็คือ boiling stone หรือ หินเดือด

ซีโอไลต์คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า(tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุน และช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบ ขนาดตั้งแต่ 2 ถึง 10 อังสตรอม

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

สูตรอย่างง่ายของซีโอไลต์



n = คือ วาเลนซ์ของแคตไอออน (M) โดยมากเท่ากับ 1 และ 2 ของโลหะอัลคาไล หรือ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ตามลำดับ

x = คือ จำนวนโมลของ SiO_2 โดยมากจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2

y = คือ จำนวนโมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างของผลึกซีโอไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างซีโอไลต์ แบ่งออกเป็น [1],[2]

1. โครงสร้างปฐมภูมิ SiO_4 และ AlO_4 แต่ละหน่วยจะจัดเรียงตัวในลักษณะรูปทรงสี่หน้า (tetrahedron) เชื่อมต่อกัน โดยอะตอมของซิลิกอนและอะลูมิเนียมอยู่ตรงกลาง ส่วนอะตอมของออกซิเจนอยู่ที่จุดยอดมุมสามเหลี่ยมทรงสี่หน้า

2. โครงสร้างทุติยภูมิ จะเกิดจากโครงสร้างปฐมภูมิแต่ละหน่วยมาเชื่อมต่อกัน โดยอาศัยจุดยอดมุมทั้งสี่เป็นจุดเชื่อมต่อ เพื่อให้ได้เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น โครงสร้างที่เกิดจากโครงสร้างขั้นปฐมภูมิมาเชื่อมต่อกันเป็นวงขนาดเล็กในรูปแบบต่างๆ กัน เช่น สี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม โดยเป็นวงเดี่ยว หรือวงซ้อนก็ได้ เรียกว่า โครงสร้างทุติยภูมิ

3. โครงสร้างรูปทรงหลายหน้า เมื่อนำโครงสร้างทุติยภูมิ มาเชื่อมต่อกันจะเกิดเป็นโพรงที่มีขนาดใหญ่ ซีโอไลต์ต่างชนิดกันจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันไป ทำให้คุณสมบัติของซีโอไลต์นั้นๆ มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปด้วย

2.1.2 ชนิดของซีโอไลต์ [2]

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, clinoptilolite เป็นต้น

2. ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี (synthetic zeolite) เกิดจากการทำปฏิกิริยาเบสิกออกไซด์ต่างๆ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O และ K_2O ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของ ซีโอไลต์ที่มีน้ำผลึก และการสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดได้ตั้งแต่เป็นเจล (gelatin) จนถึงรูปที่เป็นรูพรุน (porous) และลักษณะที่คล้ายผ่งแป้ง ได้แก่ Zeolite A, Zeolite Y, Zeolite F, Zeolite M เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ประโยชน์ของซีโอไลต์ [2],[3],[4],[7]

- ตัวแลกเปลี่ยนประจุ เนื่องจากประจุบวกของโลหะที่เกาะกับซีโอไลต์นั้นเกาะอยู่อย่างหลวมๆ จึงพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนประจุกับโลหะอื่น เมื่ออยู่ในสารละลายได้ด้วยหลักการนี้จึงสามารถประยุกต์ใช้กับการลดความกระด้างของน้ำ (น้ำที่ไม่กระด้าง หรือน้ำอ่อนนั้น เมื่อเติมสารซักฟอกลงไป ก็จะเกิดฟองมากมาย หรือจางๆ ว่า น้ำกระด้างฟอกสบู่ไม่เป็นฟองก็ได้ โดยโลหะอัลคาไลเช่น โซเดียม หรือ โพแทสเซียม ที่เกาะกับซีโอไลต์จะแลกเปลี่ยนประจุกับแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นประจุของโลหะในน้ำที่เป็นตัวการทำให้น้ำกระด้าง
- ตัวดูดซับ การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับนั้น ใช้ทั้งในกระบวนการทำให้แห้ง (dehydration) การทำให้บริสุทธิ์ (purification) และการแยกสาร (seperation) ซึ่งซีโอไลต์นั้นมีสมบัติในการเลือกทำปฏิกิริยาตามรูปร่างอัน เป็นหลักการพื้นฐานของกระบวนการดูดซับระดับโมเลกุล โดยสามารถเลือกให้มีการเลือกดูดซับเฉพาะบาง โมเลกุล ส่วนการทำให้แห้งนั้น เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีประจุบวกสามารถดูดซับน้ำได้ดีเป็นพิเศษและสามารถ เกิดปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้
- ประโยชน์อื่นๆ ยังมีการใช้งานซีโอไลต์ในประโยชน์ด้านอื่นๆ อีกเช่น ใช้ในการเกษตรลดการใช้ปุ๋ยสามารถกักเก็บปุ๋ยอยู่ในดินได้นาน พืชได้ใช้ประโยชน์จากปุ๋ยในดินได้อย่างเต็มที่ สามารถเก็บกักปุ๋ยได้มากกว่า 80% และสามารถดูดซับสารพิษตกค้างในดิน ลดความเป็นพิษให้ดินที่มีสาเหตุจากสารตกค้างของยาฆ่าหญ้าและยาฆ่าแมลง และช่วยทำให้ดินร่วนซุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

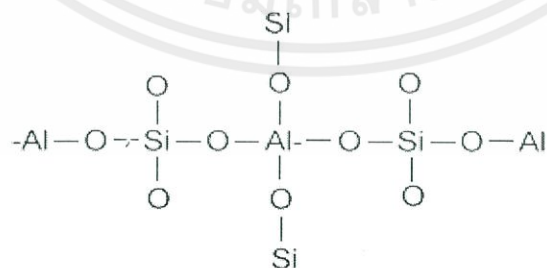
2.2 ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite Na-A) [1]

ซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมามีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนประมาณ 4 อังสตรอม สามารถเพิ่มหรือลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนให้เป็น 3 หรือ 5 อังสตรอมได้ โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออนกับเกลือของแคลเซียม หรือเกลือของโพแทสเซียม ในทางเศรษฐกิจมีนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากพยายามศึกษาโครงสร้างของผลึก และการก่อตัวของผลึกซีโอไลต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างที่มีผลต่อคุณสมบัติ จนสามารถเข้าใจกลไกการก่อตัวของผลึกซีโอไลต์ ทำให้สามารถสังเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของซีโอไลต์เพื่อที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

2.3 การสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ [3],[4],[5]

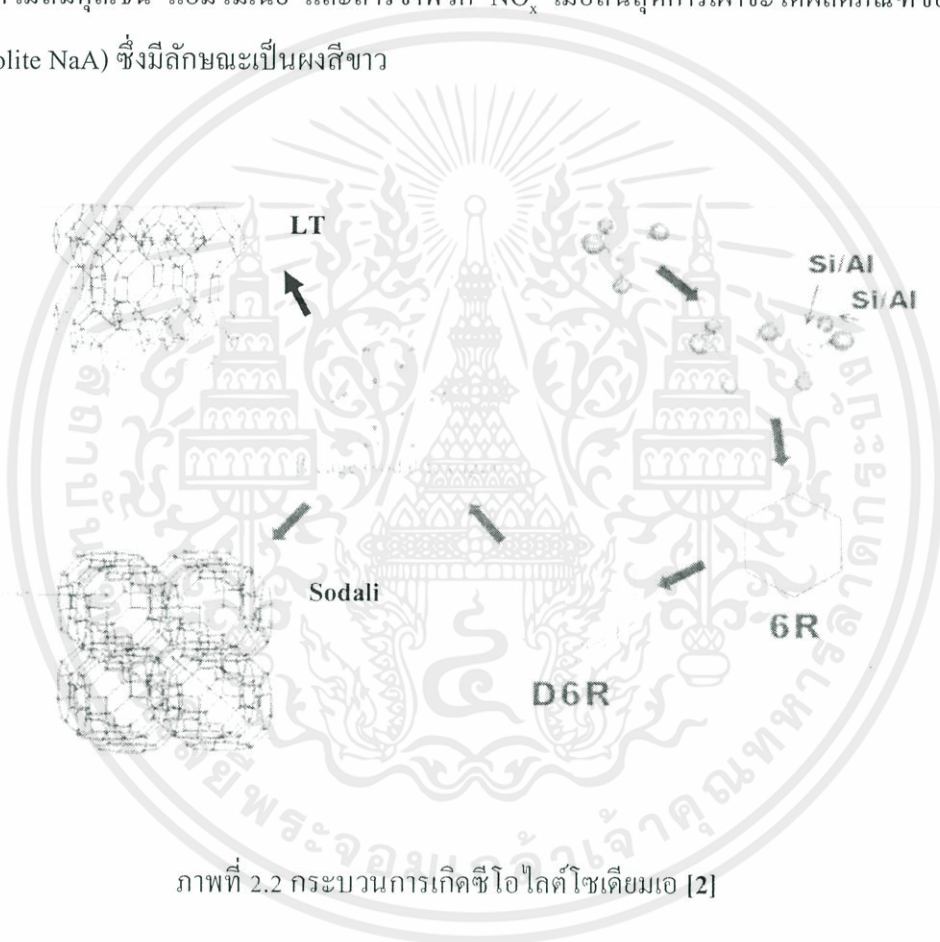
การสังเคราะห์ซีโอไลต์มีหลากหลายวิธี ที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีการไฮโดรเทอร์มอล(hydrothermal) การสังเคราะห์โดยวิธีนี้เป็นปฏิกิริยาตกผลึก โดยส่วนมากการสังเคราะห์ซีโอไลต์แต่ละชนิดจะมีขั้นตอนคล้ายๆกัน ต่างกันเพียงเงื่อนไข และสารที่เติมเพิ่มลงไปเท่านั้น ในปัจจุบันเราใช้ซีโอไลต์โซเดียมเอในการแยกไอออนของแคลเซียมแทนการใช้คาโอลิไนต์ เนื่องจากมีราคาต้นทุนที่ถูกกว่า

เริ่มโดยการนำสารที่เป็นแหล่งของซิลิกาและสารที่เป็นแหล่งของอลูมิเนียมมาผสมกัน ในอัตราส่วน Si/Al ตามที่ต้องการสังเคราะห์ ทำการปั่นกวนเพื่อผสมสารทั้งสองจนเป็นสารเนื้อเดียว จะเกิดเป็นผลึกของซีโอไลต์ขึ้นดังรูป



เอกสารรูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของผลึกซีโอไลต์ที่เกิดจากการตกผลึก ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นบรรจุสารผสมที่ได้ใส่ภาชนะเทปลอน สำหรับกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล(Hydrothermal) นำเข้าสู่อบ และทำการอบจะเกิดการก่อตัวของผลึกซีโอไลต์ สำหรับการบวนการโดยวิธีไมโครเวฟ ให้นำเข้าสู่อบ ไมโครเวฟ ทำการอบโดยปรับค่าพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ ผลึกของซีโอไลต์จะค่อยๆก่อตัวรวมกันเป็น ผลึกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามรูปที่ 2.2 ตามลำดับหลังจากนั้นให้ล้างด้วย น้ำปราศจากไอออน(Deionized water) จนมีค่า PH น้อยกว่า 9 แล้วจึงนำตะกอนที่ได้ไปทำการอบแห้ง เมื่อตะกอนผ่านการอบแห้งแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ เพื่อกำจัดสารที่ไม่สมดุลเช่น แอมโมเนีย และสารจำพวก NO_x เมื่อสิ้นสุดการเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์ โซเดียมเอ(Zeolite NaA) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์ซีโอไลต์ [1],[2]

1. องค์ประกอบของสารตั้งต้น
 - อัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออลูมิเนียม (Si/Al ratio) เป็นตัวกำหนดโครงสร้างของผลึกซีโอไลต์ ตัวอย่างเช่นสารละลายที่มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออลูมิเนียมสูงจะเกิดโครงสร้างแบบ channel ส่วนสารละลายที่มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนต่ออลูมิเนียมต่ำ จะเกิดโครงสร้างแบบ cage
 - สารเหนียวการเกิดผลึก (template) และชนิดของแคทไอออน
2. ความเป็นเบส (pH) หากสารละลายอลูมิโนซิลิเกตมีความเป็นเบสมากเกินไป เบสจะสลายพันธะของหมู่ silanol (Si-OH) ทำให้ซิลิกาละลายได้ดีเกินไป ทำให้ไม่เกิดการตกผลึก
3. อุณหภูมิ สารละลายอลูมิโนซิลิเกตจะละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นหากอุณหภูมิต่ำเกินไปจะไม่เกิดผลึกของซีโอไลต์ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป ผลึกของซีโอไลต์จะค่อยๆสลายตัว โดยทั่วไป อุณหภูมิการตกผลึกจะอยู่ในช่วง 80-180 องศาเซลเซียส
4. เวลาในการเกิดผลึก ในกรณีที่เกิดเป็นผลึกของซีโอไลต์ที่ไม่เสถียร ถ้าใช้เวลาในการเกิดผลึกน้อยเกินไป ผลึกของซีโอไลต์จะยังไม่ก่อตัว หากทิ้งไว้นานเกินไป จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น ผลึกซีโอไลต์ชนิด x พบว่าหากปล่อยไว้นานจะเปลี่ยนเป็น hydroxysodalite เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีการดูดซับ [10]

2.4.1 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) หมายถึง การที่โมเลกุลของสารถูกดึงเข้ามาติดผิวของสารดูดซับหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ(adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวต่ำจะถูกดูดซับได้ แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ พลังงานอิสระที่ผิวของสารดูดซับจะมีความสัมพันธ์กับแรงตึงผิวและพื้นที่ผิว เมื่อความตึงผิว(surface tension) หรือพื้นที่ผิว(surface area) เปลี่ยนไป จะเป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพลังงานอิสระที่ผิว ปริมาณสารดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ความดันและพลังงานศักย์ของอันตรกิริยา(interaction potential energy) ระหว่างสารดูดซับ ซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ กับสารดูดซับซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือของแข็ง ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง การดูดซับบนผิวของแข็ง แบ่งออกได้ตามแรงที่ดูดซับระหว่างพื้นผิวโมเลกุลเป็น 2 ชนิด คือ

การดูดซับทางกายภาพ(physical adsorption หรือ physisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นแรง แวนเดอวาลส์(van der Waals) เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารดูดซับมีมากกว่าแรง ดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่ที่สารดูดซับแทน ตัวอย่างเช่น การดูดซับของถ่านกัมมันต์ซึ่งภายใน โครงสร้างของพื้นที่ผิวมีรูพรุนมาก ทำให้มีการดูดซับบนพื้นที่ผิวของสาร ดูดซับสูงขึ้น ดังนั้นรูพรุนของสารดูดซับจึงมีความสำคัญ

การดูดซับทางเคมี(chemical adsorption หรือ chemisorption) แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์ มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ โดยมีค่าพลังงานสูงมากในการเกิดพันธะและ การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ไอโซเทอมของการดูดซับ(adsorption isotherm) [1],[10]

ไอโซเทอมของการดูดซับ เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณสารที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวกับความดันของก๊าซ หรือความเข้มข้นของสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ สำหรับการดูดซับตัวถูกละลายบนผิวแข็งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายที่ภาวะสมดุลที่อุณหภูมิใดๆ ไอโซเทอมการดูดซับแบ่งออกได้เป็น

2.4.2.1 ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) [1],[10]

ในปีค.ศ.1916 เออร์วิง แลงเมียร์ (Irving Langmuir) ได้เสนอไอโซเทอมแบบง่ายที่สุด โดยมีสมมติฐานคือ

1. ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption)
2. โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งของการดูดซับที่แน่นอน
3. ในแต่ละโมเลกุลของสารดูดซับจะดูดซับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น

ในแต่ละตำแหน่งค่าความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน จากการศึกษาไอโซเทอมของแลงเมียร์ที่สภาวะสมดุล สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับสารละลายได้ดังสมการ

$$q_e = \frac{q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots (1)$$

- เมื่อ q_e ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับบนสารดูดซับหนักหนึ่งกรัม
- C_e ความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุล
- q_0 ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับอิ่มตัวแบบชั้นเดียว
- K_L ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

หรือ $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_0} + \frac{C_e}{q_0}$ เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{C_e}{q_e}$ กับ C_e จะได้กราฟเส้นตรง มีจุดตัด

แกน y เป็น $\frac{1}{K_L q_0}$ และมีความชันเท่ากับ $\frac{1}{q_0}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ไอโซเทอมแบบฟรอยด์ลิค (Freundlich isotherm) [1],[10]

ในปีค.ศ. 1880-1941 นักฟิสิกส์-เคมีชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich ได้ เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของสารละลายดัง สมการ

$$q_e = \frac{X}{m} = K_F C_e^{\frac{1}{n_F}} \dots\dots\dots (2)$$

- เมื่อ C_e ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับที่สมดุล
- $\frac{X}{m}$ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
- K_F, n_F ค่าคงที่ที่อุณหภูมิต่างๆ จากสมการฟรอยด์ลิค

เมื่อใส่ลอการิทึม (logarithm) จะได้สมการ

$$\log q_e = \log \frac{X}{m} = \log K_F + \frac{1}{n_F} \log C_e \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $\log \frac{X}{m}$ กับ $\log C_e$ ที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้กราฟเส้นตรงจุดตัดแกนสามารถนำมาหาค่า K_F ได้ และความชันของกราฟเป็น $\frac{1}{n_F}$ บางกรณีทีพล็อตกราฟระหว่าง $\log \frac{X}{m}$ กับ $\log C_e$ แล้วไม่ได้เส้นตรงแสดงว่าเกิดการเบี่ยงเบนไปจากสมการของฟรอยด์ลิค เช่น การดูดซับสารละลายที่ไม่ได้วัดจากน้ำหนักจริงของสารดูดซับ แต่ค่าจากสารถูกดูดซับในตัวทำละลายปริมาณมาก ทำให้สารถูกดูดซับที่เหลือที่ความเข้มข้นสูงจึงมีปริมาณลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โลหะทองแดง (copper) [11]

ทองแดง (Copper) คือธาตุที่มีเลขอะตอม 29 และสัญลักษณ์คือ Cu ทองแดง อยู่ในตารางธาตุหมู่ 29 เป็นที่ทราบกันว่ามนุษย์ใช้ประโยชน์จากทองแดงมาไม่น้อยกว่า 10,000 ปี พบหลักฐานว่ามนุษย์สามารถหลอมสกัดทองแดงให้บริสุทธิ์ได้เมื่อประมาณ 5000 ปีก่อนคริสตกาล ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่มนุษย์จะรู้จักกับทองคำ โดยมนุษย์รู้จักทองคำ เมื่อประมาณ 4000 ปีก่อนคริสตกาล

แร่ทองแดงที่พบตามธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด ซึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตโลหะทองแดงส่วนมากจะเป็นแร่ประเภทซัลไฟด์ มีสองชนิดคือ แร่ทองแดงคาลโคไพไรต์ (chalcocite) (Cu_2S) มี Cu ประมาณ 79.8% และแร่ทองแดงคาลโคไพไรต์ (chalcopyrite) (Cu FeS_2) มี Cu ประมาณ 34.5% นอกจากนี้แร่ซัลไฟด์แล้วยังมีแร่ทองแดงออกไซด์ (Cu_2O) แต่ปริมาณที่พบบีน้อย แร่ทองแดงอีกชนิดหนึ่งที่เป็นแร่ทองแดงคาร์บอเนต $\text{CuCO}_3 \cdot (\text{OH})_2$ เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า Malachite มีสีเขียวสวยงามมาก สำหรับประเทศไทยนั้นแร่ทองแดงพบที่จังหวัดเลย หนองคาย ขอนแก่น นครราชสีมา ตาก อุดรดิตถ์ แพร่ น่าน ลำปาง ลำพูน เพชรบูรณ์ ลพบุรี ฉะเชิงเทรา และกาญจนบุรี แต่ยังไม่มีการผลิต

ทองแดงที่ผลิตขึ้นได้มากกว่า 2.5 ล้านปอนด์ต่อปีในสหรัฐอเมริกา นั้น ส่วนใหญ่ถูกลุงมาจากแร่คาลโคไพไรต์ ซึ่งเป็นของผสมระหว่าง CuS กับ FeS ที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยมวล เพื่อที่จะถูกลุงเอาทองแดงที่มีอยู่ในปริมาณน้อยออกจากแร่คาลโคไพไรต์ จึงต้องอาศัยวิธีโลหะวิทยาหลายขั้นตอน รวมถึงขั้นตอนที่ทำให้ได้ทองแดงบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติและประโยชน์ของทองแดง [11]

1. โลหะทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ 99.95%ขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าได้ดีมาก จึงถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
2. ใช้โลหะทองแดงทำท่อในอุปกรณ์ตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ
3. ใช้ทำอุปกรณ์เกี่ยวกับรถยนต์ อากาศ เหยี่ยูกษาปณ์ และตราต่างๆ
4. ใช้เป็นส่วนประกอบในโลหะหลายชนิด เช่น
 - โลหะผสมระหว่างทองแดงกับนิกเกิล มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะในน้ำ ทะเลจึงใช้ทำท่อในระบบกลั่น อุปกรณ์ภายในเรือ
 - โลหะผสมระหว่างทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หรือเรียกว่า เงินนิกเกิลหรือเงินเยอรมัน ใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เช่น ช้อน ส้อม เครื่องมือแพทย์
 - ทองบรอนซ์ หรือบรอนซ์ หรือทองสัมฤทธิ์ หรือทองดำริด โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ถ้ามีดีบุกผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.8-10 โดยมวล และมีการเติมฟอสฟอรัสเล็กน้อย เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(oxidation) จะมีความแข็งกว่าทองแดงเมื่อเย็นตัวมีความแข็งแรง มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี และไม่ถูกกัดกร่อน
 - ทองเหลือง โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก มีสังกะสีผสมอยู่ร้อยละ 20-45โดยมวล ทองเหลืองจะมีความแข็ง และความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมของสังกะสีเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการตีแผ่ให้เป็นแผ่น ขึ้นรูปง่าย ทองเหลืองจึงถูกนำมาใช้ในการทำท่อ ลื่นปิด-เปิด และตัวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี

1. น้ำปราศจากไอออน (deionized water)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodiumhydroxide,NaOH)
3. ลูคอกซ์ (Ludox)
4. โซเดียมอลูมิเนต (sodiumaluminate)
5. คอปเปอร์ไนเตรท

3.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (beaker)
2. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
3. ช้อนตักสาร (spatula)
4. กระจกนาฬิกา (watch glass)
5. เครื่องกวนสาร (hotplate stirrer)
6. ตู้อบ (oven)
7. เตาเผา (furnaces)
8. เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal)
9. แท่งแม่เหล็กคนสาร (magnetic bar)
10. เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของออดอม (Atomic absorption spectrophotometer)
11. เครื่อง XRD (x-ray diffraction)
12. เครื่อง XRF (x-ray fluorescence)
13. เครื่องชั่งสาร
14. เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง [1],[3],[4],[5]

3.3.1 การเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

สารผสม A

- ตวงน้ำกลั่นปราศจากไอออน(Deionized Water) 75 มิลลิลิตรใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปั่นกวนให้เกิดการผสม
- เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์(Sodium hydroxide , NaOH) 1.88 กรัม และลูคอกซ์(Ludox) ปริมาณ 2.4 มิลลิลิตร ตามลำดับปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

สารผสม B

- ตวงน้ำกลั่นปราศจากไอออน(Deionized Water) 25 มิลลิลิตรใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปั่นกวนให้เกิดการผสม
 - เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์(Sodium hydroxide , NaOH) 5.64 กรัม และโซเดียมอลูมินต 7.2 กรัม ตามลำดับ ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที
 -

3.3.2 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

1. นำสารผสม A และ B ที่ได้ข้างต้นใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. บรรจุสารผสมที่ได้ใส่ภาชนะเทปตอน
 - สำหรับกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล(Hydrothermal) นำเข้าสู่อบ และทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
 - สำหรับการบวนการโดยวิธีไมโครเวฟให้นำเข้าสู่อบไมโครเวฟ ทำการอบโดยใช้พลังงาน 500 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน(Deionized water) จนมีค่า PH น้อยกว่า 9
4. นำตะกอนที่ได้ไปทำการอบแห้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
5. นำไปเผาที่ตู้เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ(Zeolite NaA) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณโซเดียมอลูมินตในขั้นตอนการเตรียมสารผสม B เป็น 4.97 และ 3.71 เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน Si/Al ของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การดูดซับไอออนทองแดง

3.3.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ตวงสารละลายทองแดง 1000 ppm มา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายทองแดง 100 ppm
3. ปิเปิดสารละลายข้างต้นมา 1 5 10 15 20 และ 25 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้สารละลายทองแดง 1 5 10 15 20 และ 25 ppm ตามลำดับ
5. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปตรวจวัดโดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic absorption spectrophotometer) เพื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน

3.3.2.2 การดูดซับไอออนทองแดง

1. ชั่งสารคอปเปอร์ไนเตรทมา 250 มิลลิกรัม เทใส่บีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายคอปเปอร์ไนเตรท 500 ppm
3. ใส่ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ 0.5 กรัม ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องและเริ่มจับเวลา
4. คูดสารในบีกเกอร์ 10 ml ที่เวลา 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 และ 60 นาที และรีบนำไปทำการแยกตะกอนโดยใช้เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
5. คูดสารละลายใสออกจากตะกอนและนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงของอะตอมโดยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม นำผลที่ได้ไปคำนวณและวิเคราะห์
6. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณสารคอปเปอร์ไนเตรทในข้อแรกเป็น 30, 60, 500, 800, 1000 และ 1200 มิลลิกรัม เพื่อปรับความเข้มข้นของสารเริ่มต้นให้มีความเข้มข้นที่ต่างกัน และเปลี่ยนตัวดูดซับเป็นซีโอไลต์ตัวอย่างที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ
7. นำผลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์และสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

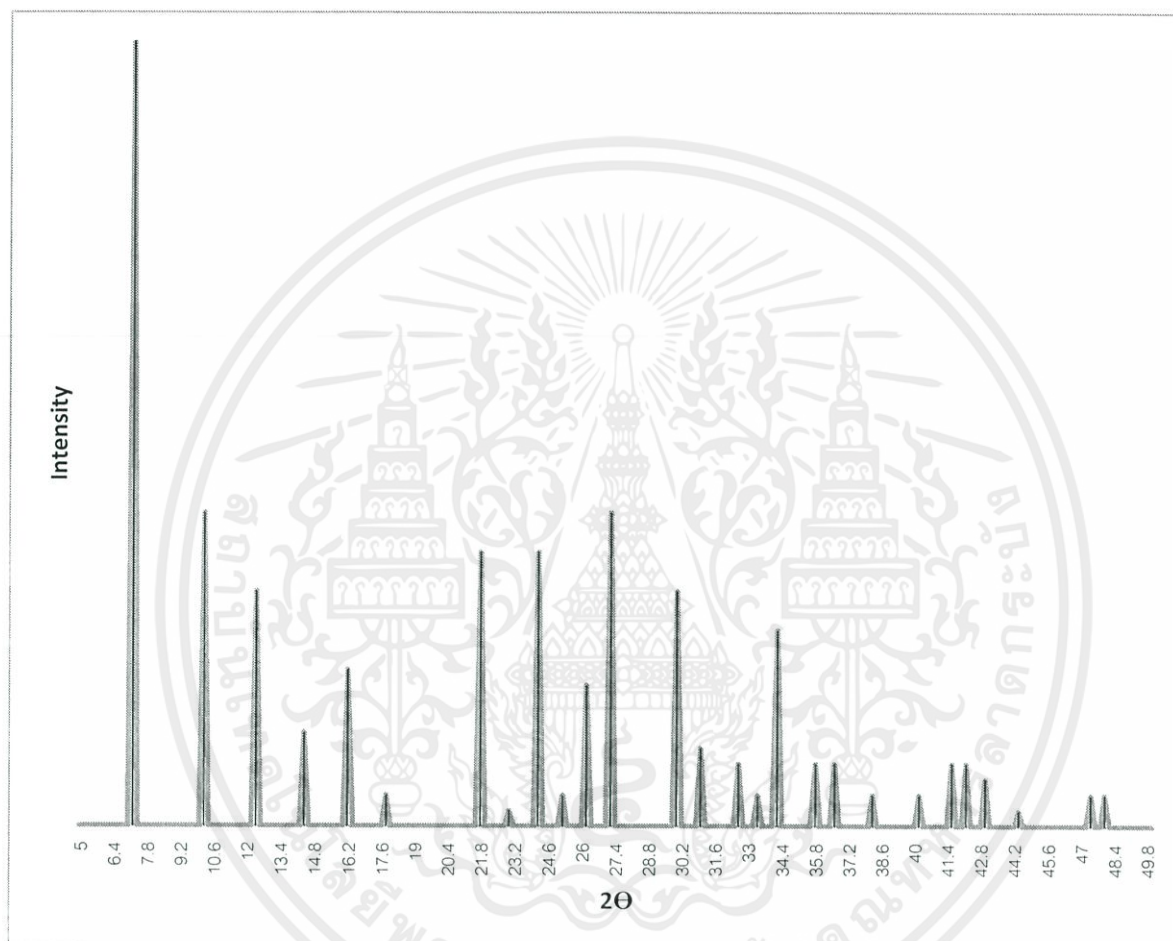
ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอที่เตรียมจาก Ludox HS-40 และโซเดียมอลูมินेट โดยสังเคราะห์ด้วยพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ทำการตกผลึกเป็นเวลา 15 นาที โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของโซเดียมอลูมินेटในปริมาณที่ต่างกัน 3 ตัวอย่าง และเปรียบเทียบซีโอไลต์โซเดียมเอที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ซีโอไลต์ที่เตรียมได้ทั้ง 4 ตัวอย่าง นำไปศึกษาการดูดซับไอออนทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์โซเดียมเอ

4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

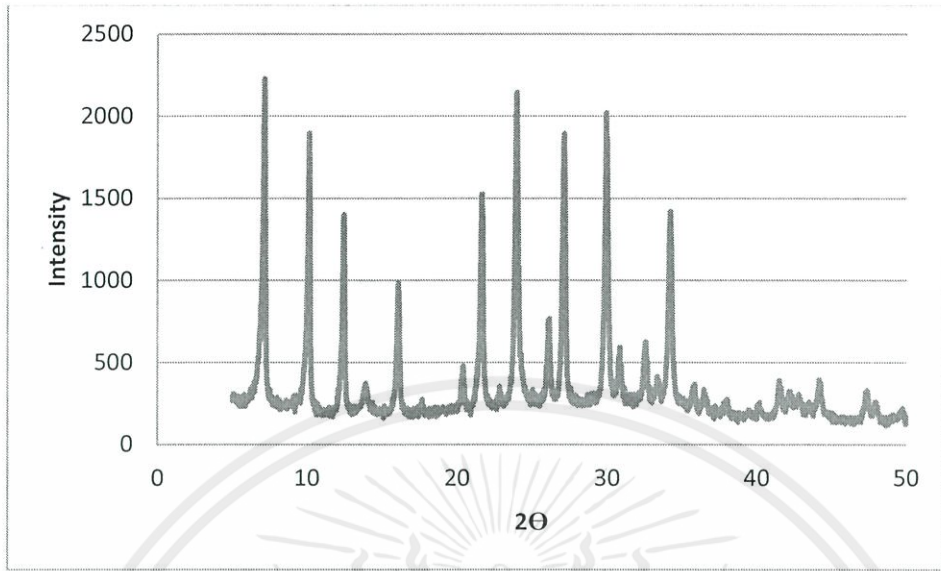
การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยเทคนิค XRD นั้น จะทำการวิเคราะห์ที่มุม 2θ ที่อยู่ในช่วง 5-50 องศา จะปรากฏพีคหลักที่ตำแหน่งมุม 7.2, 10.2, 12.5, 16.6, 21.7, 24, 27.1, 30 และ 34.2 องศา ซึ่งพบว่าซีโอไลต์ทั้ง 4 ตัวนั้นปรากฏพีคหลักที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 7.2, 10.2, 12.5, 16.6, 21.7, 24, 27.1, 30 และ 34.2 องศา จึงสรุปได้ว่า ซีโอไลต์ทั้ง 4 ตัวอย่าง ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นเป็นซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

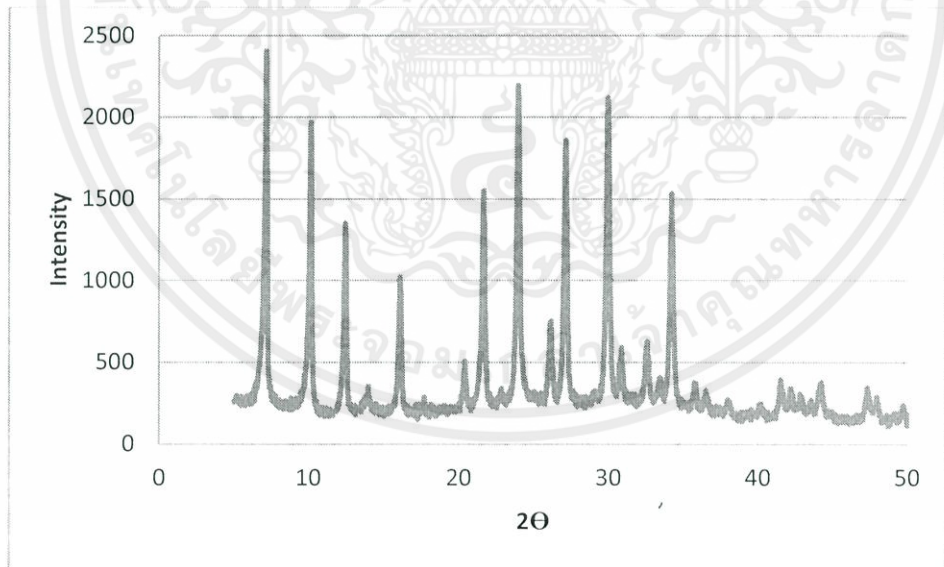


รูปที่ 4.1 กราฟ XRD ของซีโอไซด์โซเดียมไฮดรอกไซด์ในเชิงพาณิชย์ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

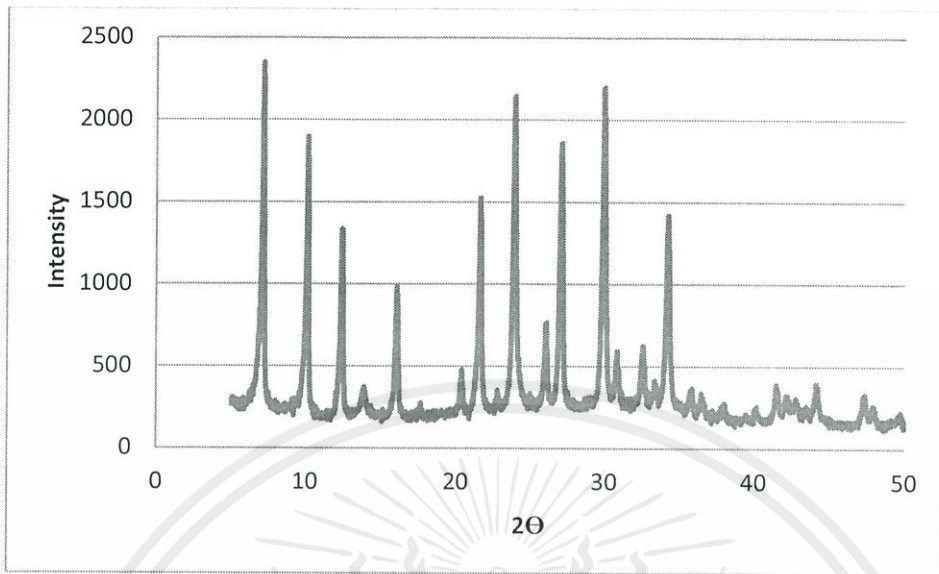


รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอทีสังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 1

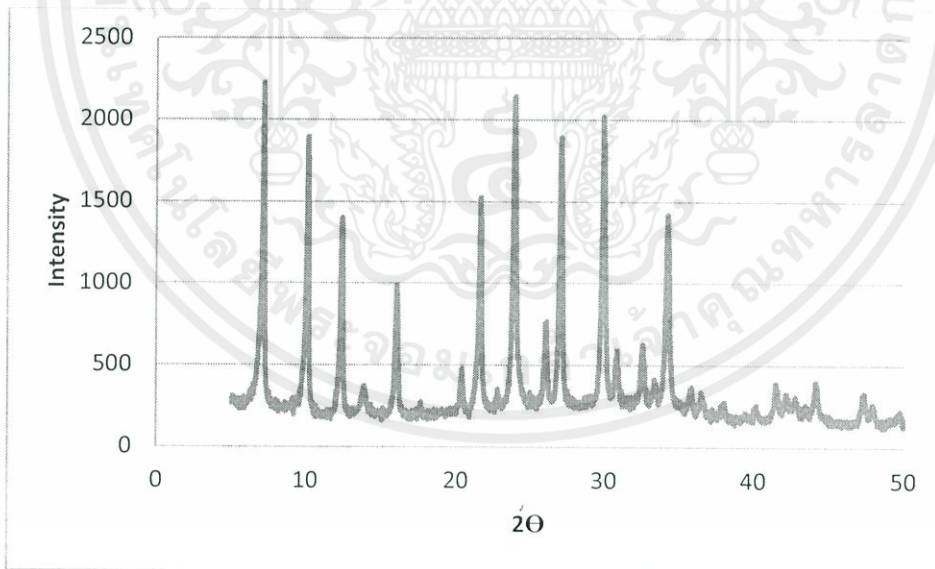


รูปที่ 4.3 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอทีสังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอทีสังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 3



รูปที่ 4.5 กราฟ XRD ของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอทีสังเคราะห์โดยกระบวนการไมโครเวฟตัวอย่างที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในซีโอไลต์ด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์

(X-ray fluorescence, XRF)

ซีโอไลต์โซเดียมเอตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 3 สังเคราะห์ด้วยพลังงานไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ เวลาในการตกผลึก 15 นาที โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของโซเดียมอลูมิเนตในปริมาณต่างกัน คือ 7.20, 4.71 และ 3.91 กรัมตามลำดับ และตัวอย่างที่ 4 เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ตกผลึกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลาในการตกผลึก 4 ชั่วโมง ปริมาณโซเดียมอลูมิเนตที่ใช้คือ 7.20 กรัม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่สังเคราะห์ได้

ตัวอย่าง	SiO ₂ (%wt)	Al ₂ O ₃ (%wt)	Na ₂ O (%wt)	อื่นๆ (%wt)	อัตราส่วนโดยโมล Si/Al	ชื่อย่อ
ตัวอย่างที่ 1	37.2	34.5	28.1	0.2	1.83	NaA (1.83)
ตัวอย่างที่ 2	38.6	33.7	27.6	0.1	1.94	NaA (1.94)
ตัวอย่างที่ 3	34.5	35.6	29.8	0.1	1.64	NaA (1.64)
ตัวอย่างที่ 4	43.3	35.6	21	0.1	2.07	NaA (H)

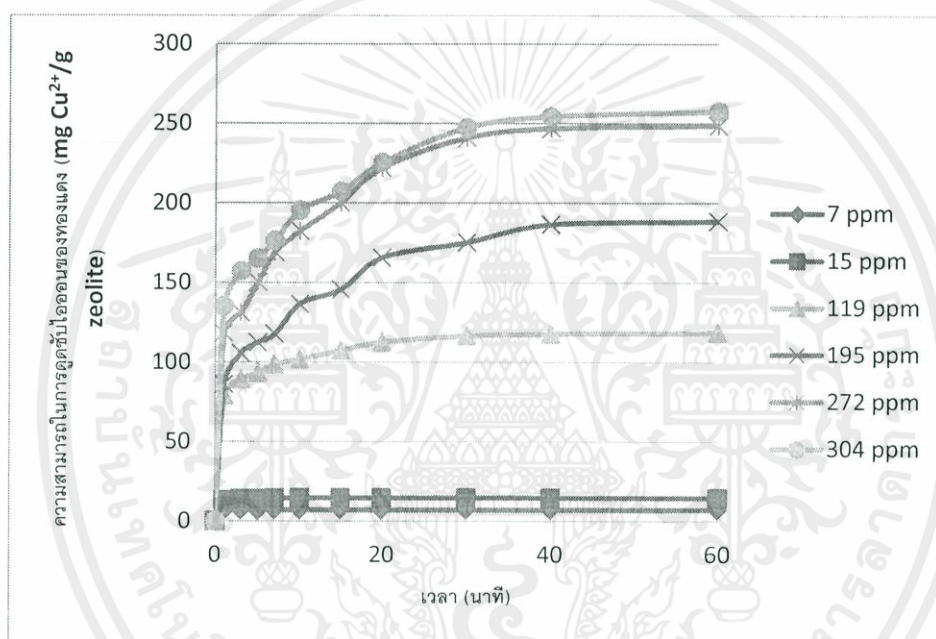
จากตารางที่ 4.1 พบว่า ซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ด้วยพลังงานไมโครเวฟตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 มีอัตราส่วนของโดยโมลของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมเท่ากับ 1.83, 1.94 และ 1.64 ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมของซีโอไลต์โซเดียมเอตัวอย่างที่ 4 มีค่าเท่ากับ 2.07 สำหรับซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากไฮโดรเทอร์มอล อัตราส่วนโดยโมลของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมของซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ได้ มีค่าต่างกันไม่มากนัก จากงานวิจัยของ Supaporn Douglas และ คณะ [3] พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมของซีโอไลต์โซเดียมเอ มีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 ดังนั้นการเตรียมซีโอไลต์เอให้มีอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมให้แตกต่างกัน จึงทำได้ค่อนข้างยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกำจัดไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำ

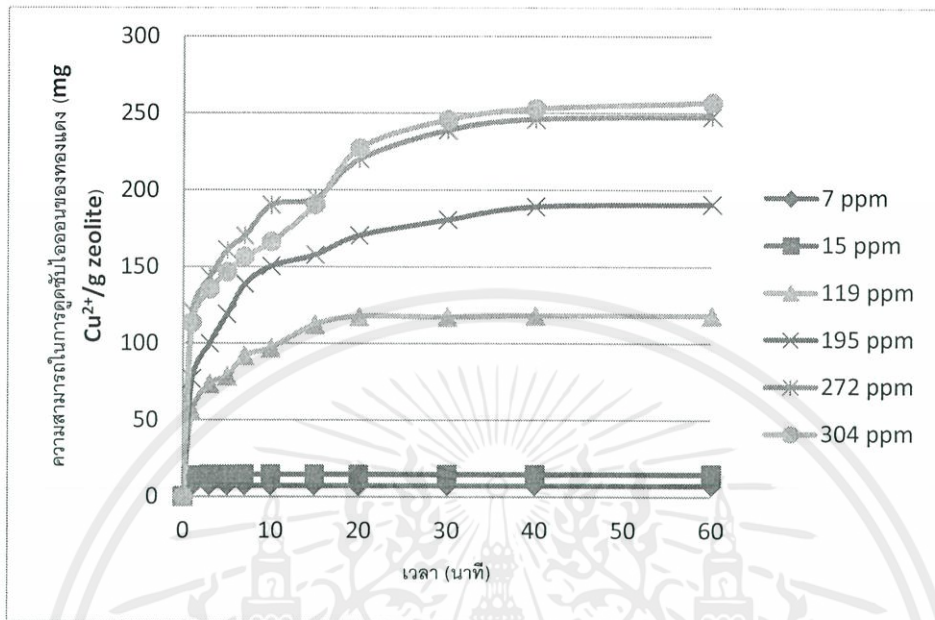
4.2.1 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำ

การศึกษากการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ในน้ำที่ความเข้มข้น 7, 15, 119, 195, 272 และ 304 ppm โดยมีซีโอไลต์โซเดียมเอเป็นตัดูดซับ ปริมาณ 0.5 กรัม ทำการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40 และ 60 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6-4.9



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64)

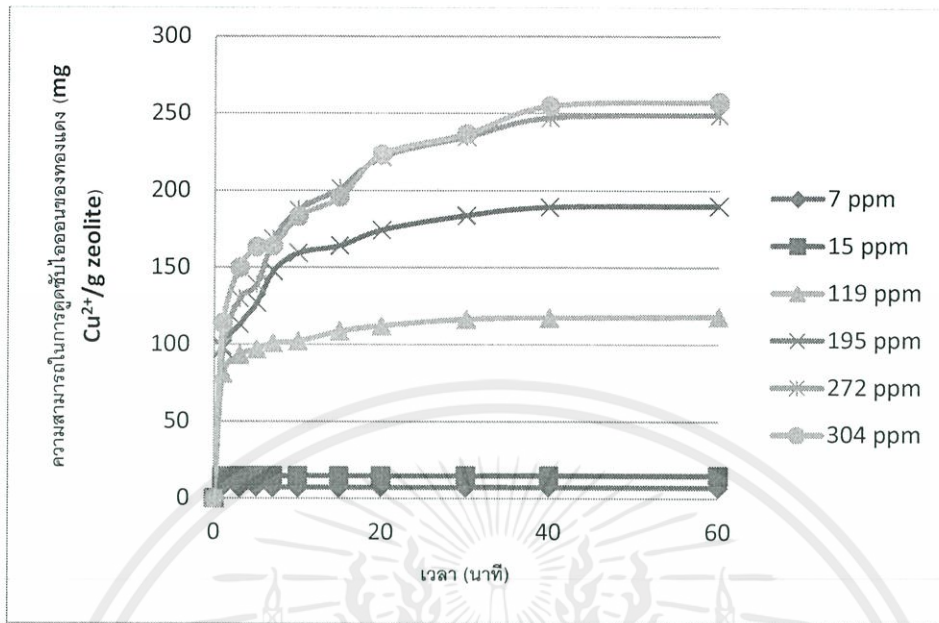
จากผลการทดลองของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้แก่ 7 และ 15 ppm มีสมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 1-3 นาที ที่ความเข้มข้น 119 มีสมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 20 นาที ส่วนที่ความเข้มข้น 195 278 และ 304 สมดุลของการดูดซับจะอยู่ที่เวลา 40 นาที และมีปริมาณการดูดซับไอออนของทองแดงต่อเอ็กสารเป็นเอ็กสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนูยาให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กรัมของซีโอไลต์เท่ากับ 7, 14, 118, 188, 248 และ 257 mg/g zeolite ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.83)

จากผลการทดลองของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.83) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้แก่ 7 และ 15 ppm มีสมมูลของการดูดซับอยู่ที่ 1-3 นาที ที่ความเข้มข้น 119 มีสมมูลของการดูดซับอยู่ที่ 20 นาที ส่วนที่ความเข้มข้น 195, 278 และ 304 สมมูลของการดูดซับจะอยู่ที่เวลา 40 นาที และมีปริมาณการดูดซับไอออนของทองแดงต่อกรัมของซีโอไลต์เท่ากับ 7, 15, 118, 191, 248 และ 257 mg/g zeolite ตามลำดับ

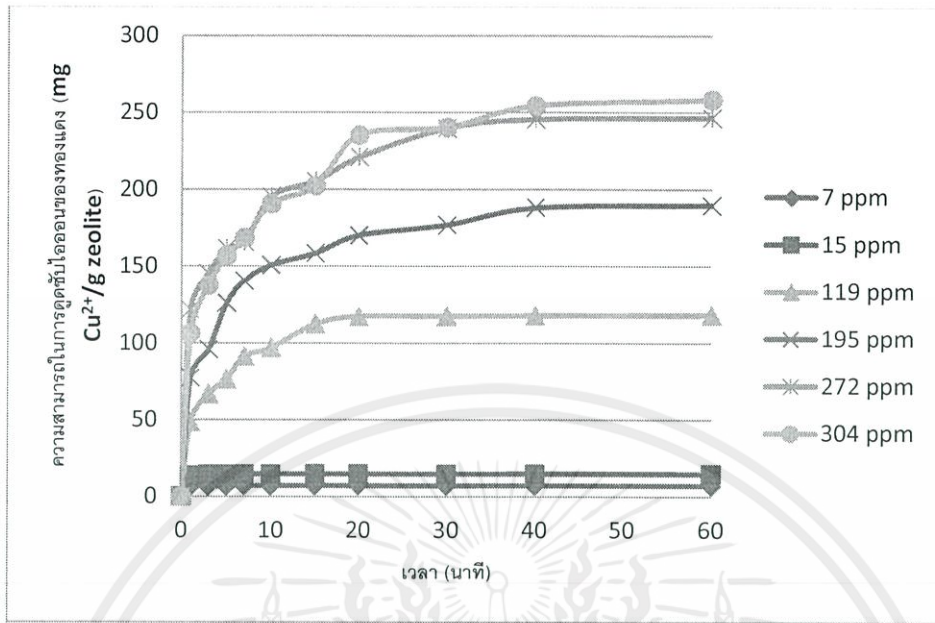
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.94)

จากผลการทดลองของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.94) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้แก่ 7 และ 15 ppm มีสมมูลของการดูดซับอยู่ที่ 1-3 นาที ที่ความเข้มข้น 119 มีสมมูลของการดูดซับอยู่ที่ 20 นาที ส่วนที่ความเข้มข้น 195, 278 และ 304 สมมูลของการดูดซับจะอยู่ที่เวลา 40 นาที และมีปริมาณการดูดซับไอออนของทองแดงต่อกรัมของซีโอไลต์เท่ากับ 7, 15, 118, 190, 249 และ 257 mg/g zeolite ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (H)

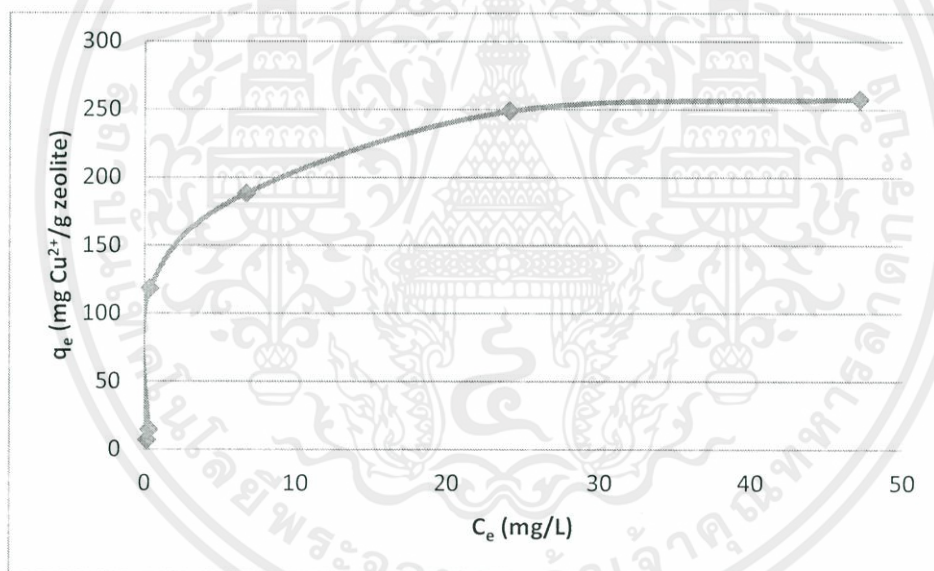
จากผลการทดลองของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (H) พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้แก่ 7 และ 15 ppm มีสมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 1-3 นาที ที่ความเข้มข้น 119 มีสมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 20 นาที ส่วนที่ความเข้มข้น 195, 278 และ 304 สมดุลของการดูดซับจะอยู่ที่เวลา 40 นาที และมีปริมาณการดูดซับไอออนของทองแดงต่อกรัมของซีโอไลต์เท่ากับ 7, 15, 118, 189, 247, และ 258 mg/g zeolite ตามลำดับ

จากการทดลองการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำของซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวพบว่า เวลาในการเข้าสู่สมดุลมีค่าเท่ากัน คือ ที่ความเข้มข้น 7 และ 15 ppm สมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 1-3 นาที ที่ความเข้มข้น 119 ppm สมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 20 นาที และที่ความเข้มข้น 195, 278 และ 304 ppm สมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 40 นาที ส่วนปริมาณการดูดซับไอออนของทองแดงต่อกรัมของซีโอไลต์มีค่าใกล้เคียงกันมากได้แก่ 7, 14, 118, 189, 247 และ 257 mg/g zeolite ตามลำดับ แสดงว่าผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ไม่มีผลต่อการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจาก ซีโอไลต์โซเดียมเอที่เตรียมได้มีช่วงอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ค่อนข้างแคบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

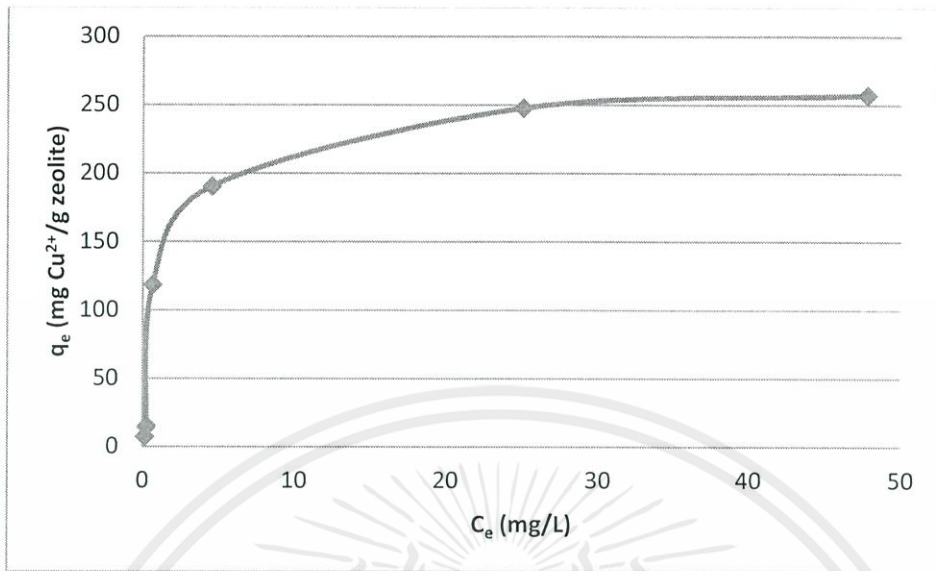
4.2.2 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวดูดซับต่อกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e mg/g ตัวดูดซับ) และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือ ณ สภาวะสมดุล (C_e mg/L) แสดงดังรูปที่ 4.10-4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอออนของทองแดง จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนของทองแดงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอออนของทองแดงที่ผิวหน้าของซีโอไลต์กับในสารละลายเพิ่มมากขึ้น เป็นเหตุให้เกิดแรงขับเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับของซีโอไลต์เพิ่มสูงขึ้น

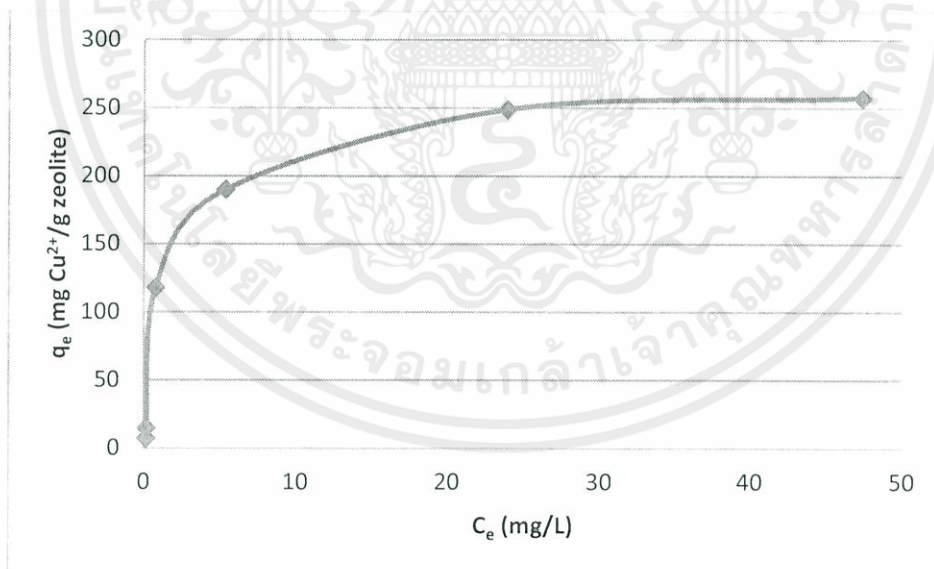


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.64)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

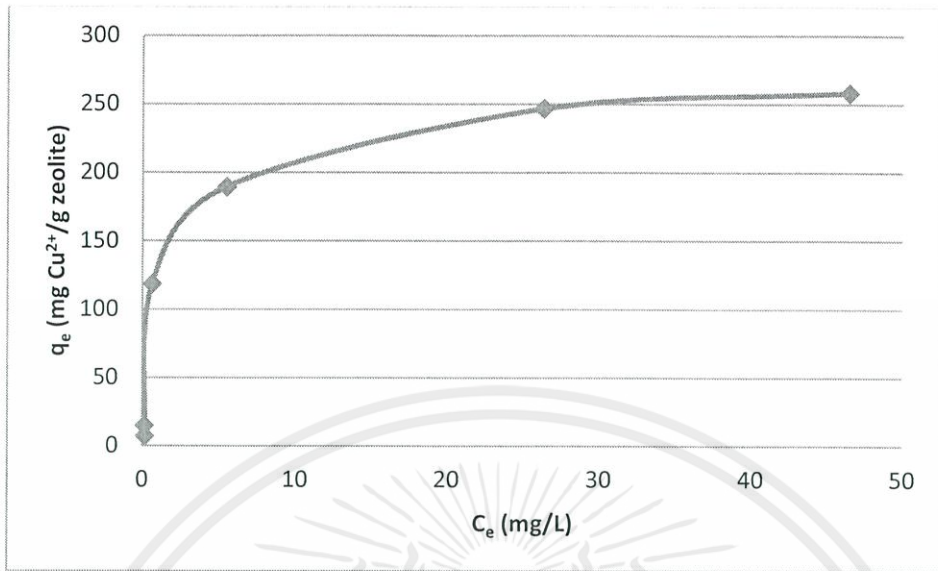


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.83)

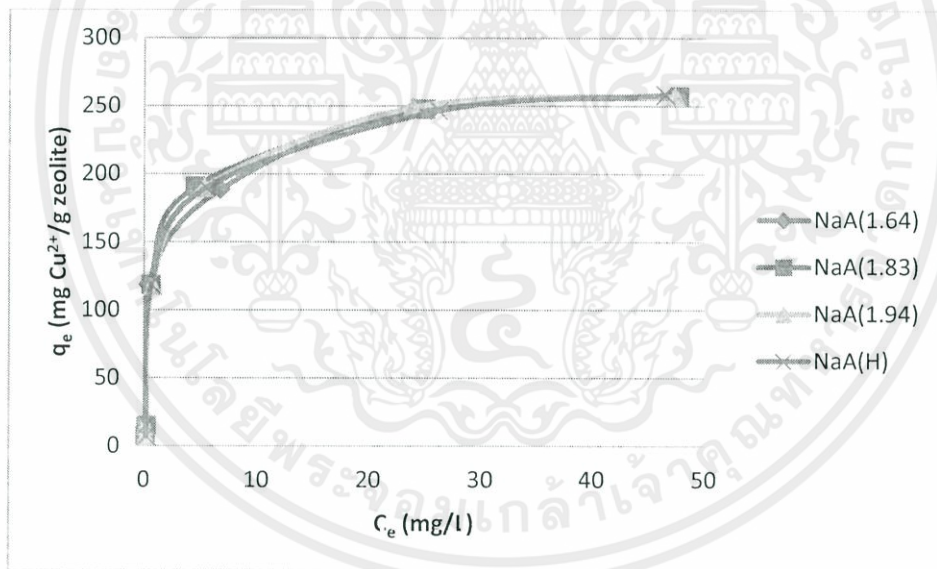


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (1.94)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอ Na (H)



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงไอโซเทอมการดูดซับ ของซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่าง

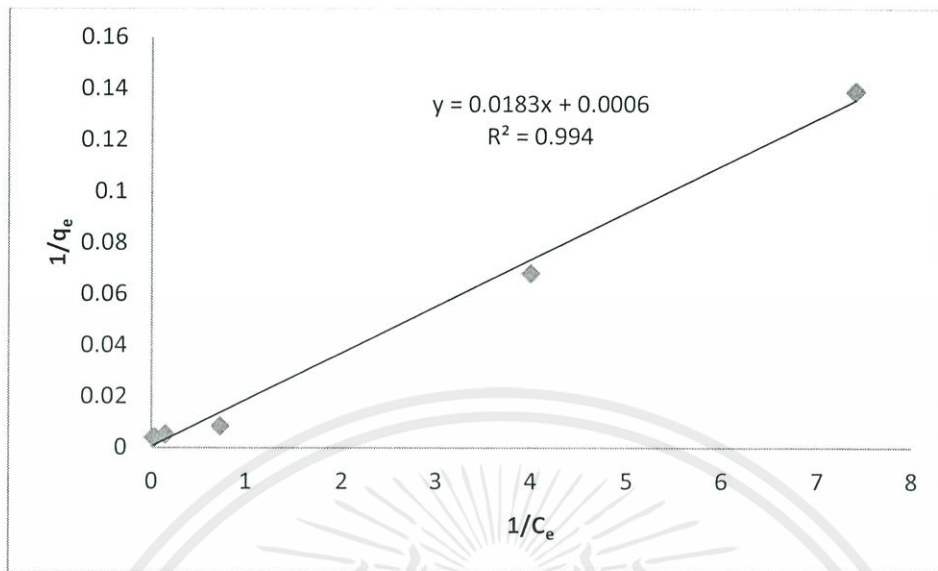
จากรูปที่ 4.14 พบว่า กราฟทั้ง 4 มีลักษณะคล้ายกันคือจะชันมากที่สุดในช่วงแรกจากนั้นจะค่อยๆลดลงจนคงที่ ซึ่งหมายความว่า หากปริมาณไอออนของทองแดงมีมาก จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับไอออนของซีโอไลต์เพิ่มมากขึ้นในช่วงต้น แล้วจะเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอออนทองแดงที่สมดุลมีค่าตั้งแต่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich

สมการของ Langmuir และ Freundlich ใช้อธิบายลักษณะการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ ได้โดยการนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวถูกดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ที่สภาวะสมดุล แสดงดังรูปที่ 4.15-4.22 จากกราฟหาค่าความชันและจุดตัดแกน y เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณสูงสุดที่สามารถดูดซับ (q_0) ค่าคงที่ของสมการ Langmuir (K_L) และค่าคงที่ของสมการ Freundlich (K_F และ n_F)

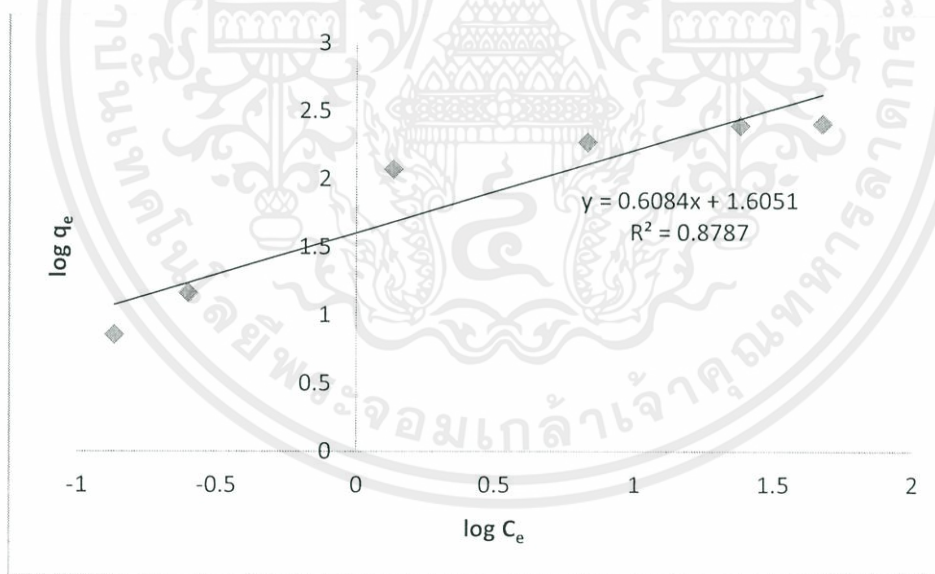


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ

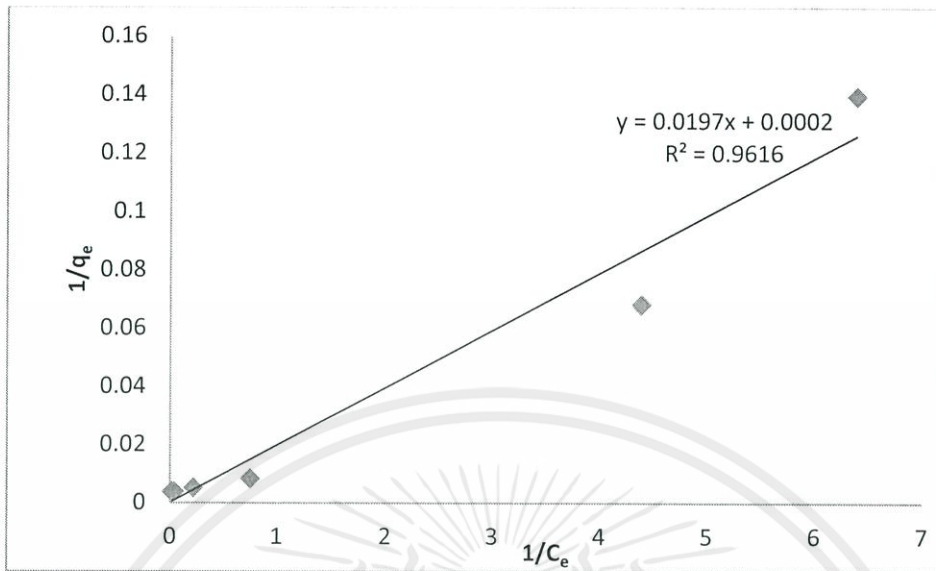
NaA (1.64) ด้วยสมการ Langmuir



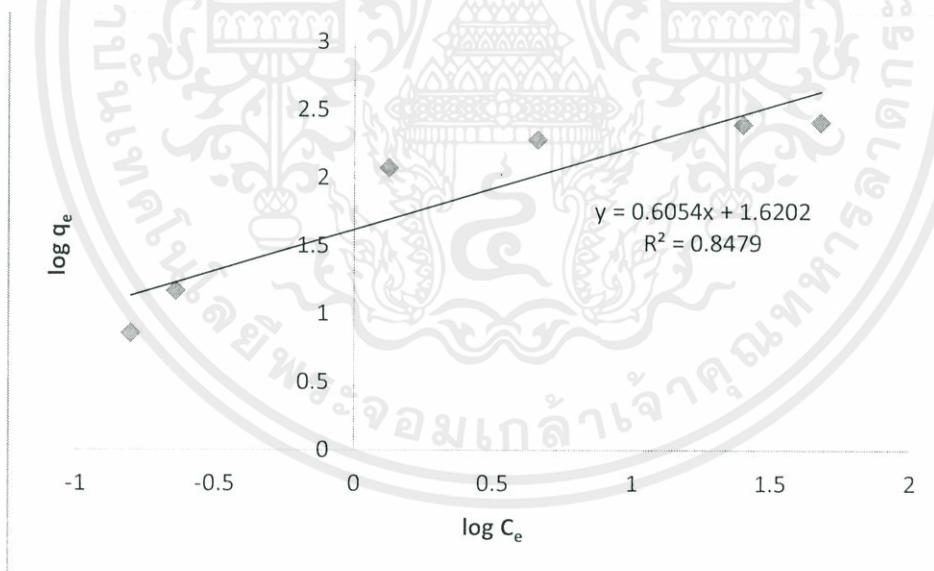
รูปที่ 4.16 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ

NaA (1.64) ด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

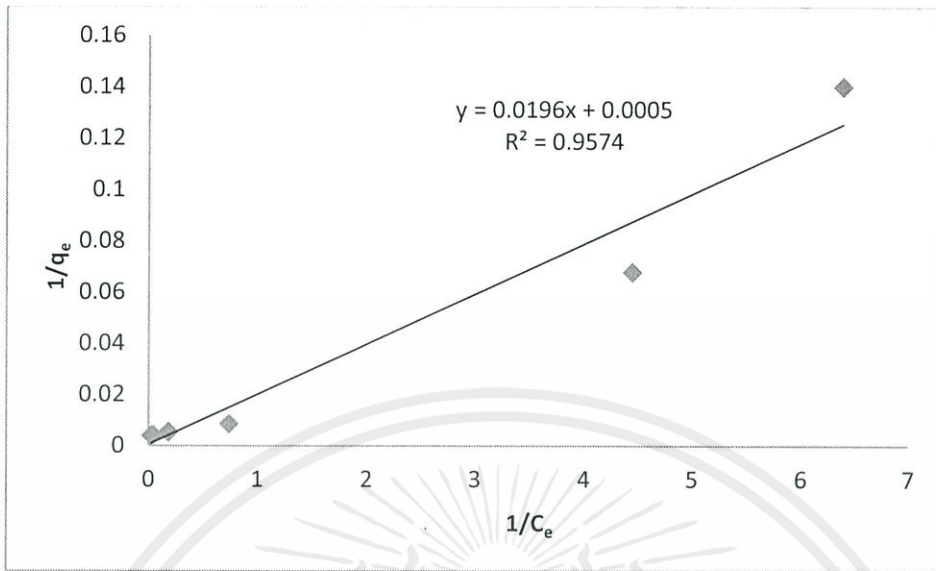


รูปที่ 4.17 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (1.83) ด้วยสมการ Langmuir

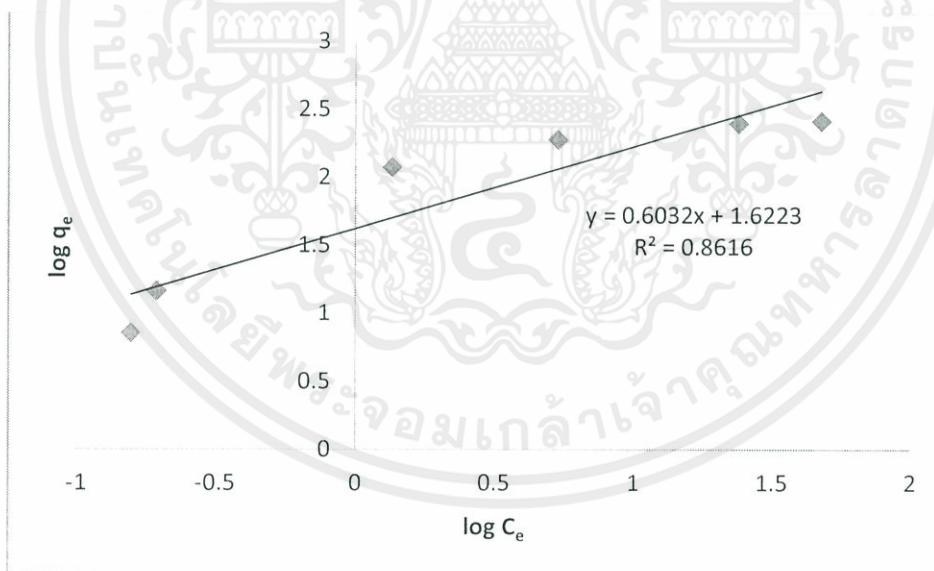


รูปที่ 4.18 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (1.83) ด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

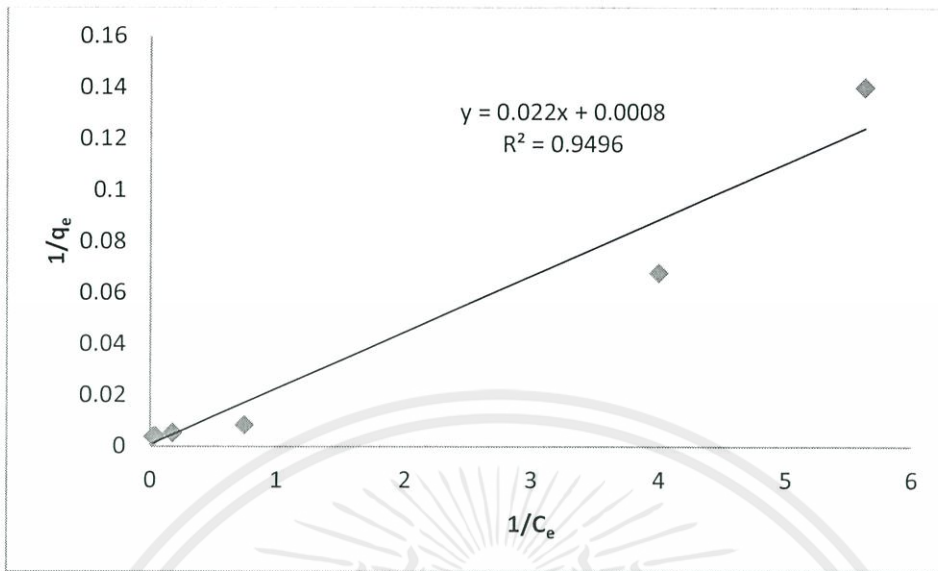


รูปที่ 4.19 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (1.94) ด้วยสมการ Langmuir

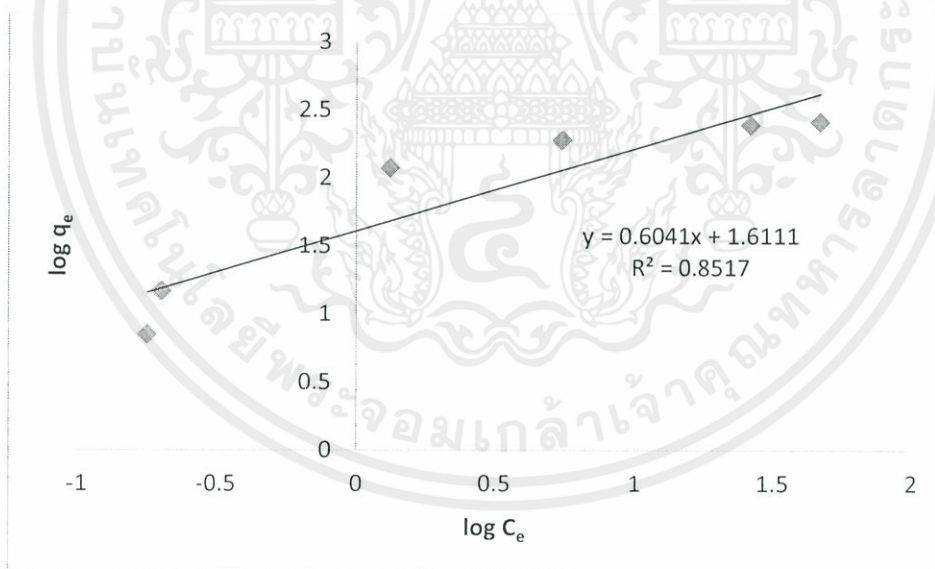


รูปที่ 4.20 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (1.94) ด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (H) ด้วยสมการ Langmuir



รูปที่ 4.22 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ
NaA (H) ด้วยสมการ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่จากการคำนวณตามสมการของ Langmuir และ Freundlich

ตัวอย่าง	Langmuir			Freundlich		
	q_0	K_L	R^2	K_F	n_F	R^2
NaA (1.64)	1667	0.0328	0.9940	40.2810	1.6437	0.8787
NaA (1.83)	5000	0.0102	0.9619	41.7061	1.6518	0.8479
NaA (1.94)	2000	0.0255	0.9586	41.9083	1.6578	0.8618
NaA (H)	1250	0.0364	0.9508	40.8413	1.6554	0.8517

จากตารางที่ 4.2 พบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) NaA(1.83) NaA(1.94) และ NaA(H) มีค่าการดูดซับไอออนของทองแดงปริมาณสูงสุด 1667, 5000, 2000, และ 1250 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการ Langmuir มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่าสมการของ Freundlich จึงสรุปได้ว่าการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยซีโอไลต์โซเดียมเอมีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir มากกว่า แสดงให้เห็นว่า การดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน และมีตำแหน่งการดูดซับที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ จากสารตั้งต้น Ludox HS-40 และ sodium aluminate โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของ sodium aluminate เพื่อให้ได้ซีโอไลต์ที่มีอัตราส่วน โดยโมลของ Si/Al ที่ต่างกัน ในที่นี้ กำหนดให้ใช้ปริมาณ sodium aluminate ที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็น 7.20 4.97 และ 3.71 กรัม พบว่าในการสังเคราะห์โดยพลังงานไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ เวลาในการตกผลึก 15 นาที ได้ซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al เป็น 1.83 1.94 และ 1.64 ตามลำดับ ในส่วนของวิธี hydrothermal ใช้ sodium aluminate 7.2 กรัม ตกผลึกในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al เป็น 2.07

การทดสอบการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของไอออนของทองแดง 7, 15, 119, 195, 272 และ 304 ppm พบว่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลของซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่างเท่ากันคือ ที่ความเข้มข้น 7 และ 15 ppm ใช้เวลาประมาณ 1-3 นาที ในการเข้าสู่สมดุล สามารถดูดซับไอออนของทองแดงได้ ประมาณ 7 และ 15 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ที่ความเข้มข้น 119 ppm เวลาในการเข้าสู่สมดุลอยู่ที่ 20 นาที สามารถดูดซับไอออนของทองแดงได้ อยู่ในช่วง 118-119 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ที่ความเข้มข้น 195, 272 และ 304 ppm เวลาในการเข้าสู่สมดุลคือ 40 นาที ความสามารถในการดูดซับไอออนของทองแดงมีค่าอยู่ในช่วง 188-190, 246-248 และ 257-258 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ตามลำดับ อัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ของซีโอไลต์โซเดียมเอในช่วง 1.64-2.07 ไม่มีผลต่อการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เนื่องจากค่าของอัตราส่วนโดยโมลของซีโอไลต์โซเดียมเอมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่างมีความคล้ายคลึงกัน โดยซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) NaA(1.83) NaA(1.94) และ NaA(H) มีค่าการดูดซับไอออนทองแดงปริมาณสูงสุดประมาณ 260 มิลลิกรัมต่อกรัมซีโอไลต์ ซีโอไลต์โซเดียมเอทั้ง 4 ตัวอย่างมีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir มากกว่าสมการ Freundlich เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการ Langmuir มีค่าใกล้เคียง 1 มากกว่า แสดงให้เห็นว่าการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอนและมีตำแหน่งการดูดซับที่แน่นอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้ให้พลังงานคลื่นไมโครเวฟจากตู้อบไมโครเวฟ ซึ่งให้ค่าคลื่นพลังงานที่ไม่แน่นอน ถ้าอยากได้ผลที่ถูกต้องยิ่งขึ้นควรใช้เครื่องมือที่สามารถกำหนดคลื่นพลังงานไมโครเวฟได้โดยตรง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

2. การศึกษานี้ศึกษาเพียงผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al ของซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์เท่านั้น อาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลมากกว่าตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ความดัน และความเร็วรอบในการกวนสาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรประภา อัสวบุญมี,ภัศรา วัฒนวิกุลพร, ”การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Na-A โดยการให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเพื่อใช้ในการกำจัดเหล็กไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์”, ปรินญาณีพนวิชะศาสตร์ บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [2] นางสาวจุฬารัตน์ อุปชาย, นางสาวนตยา วัฒนพจน์, “Zeolite”, [online].Available: <http://chem.flas.kps.ku.ac.th/01403443/01403443-REPORT-SYNTHESIS-ZEOLITE.pdf> (accesses: May 15, 2015)
- [3] Supaporn Douglas I, Noppadon Cheamsawat, Kanokorn Hussaro. “**Synthesis of Zeolite A from Aluminium Etching By-product**”. The 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006).
- [4] Thiago F. Chaves, Heloise O. Pastore, Peter Hammer, Dilson Cardoso. ” **As-synthesized TEA-BEA zeolite: Effect of Si/Al ratio on the Knoevenagel condensation**”. Microporous and Mesoporous Materials Volume 202, 15 January 2015, Pages 198–207.
- [5] Xu Zhang, Dingxing Tang, Guojun Jiang. “**Synthesis of zeolite NaA at room temperature: The effect of synthesis parameters on crystal size and its size distribution**”. Advanced Powder Technology Volume 24, Issue 3, May 2013, Pages 689–696.
- [6] El Hadj Mekatel, Samira Amokrane, Asma Aid a, Djamel Nibou, Mohamed Trari. “**Adsorption of methyl orange on nanoparticles of a synthetic zeolite NaA/CuO**”. Comptes Rendus Chimie Volume 18, Issue 3, March 2015, Pages 336–344.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [7] P. Worathanakul, P. Kongkachuichay, “New SUZ-4 Zeolite Membrane from Sol-Gel Technique”. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 2, 2008-11-21.
- [8] H. Robson, Editor K.P.Lillerud, XRD patterns, “Verified Synthesis of Zeolitic Materials”, Second Revised Edition 2001, Pages 265.
- [10] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, “การดูดซับ”, [online]. Available http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2551/chem0451sk_ch1.pdf (accessed: May 1, 2015)
- [11] winding wire-LP Industry, “Copper”, [online]. Available <http://www.madehow.com/Volume-4/Copper.html> (Accesses: May 25, 2015)
- [12] ศูนย์เครื่องมือวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “X-ray Diffraction (XRD)”, ชั้น 6 ตึกภาควิชาวิศวกรรมเคมี.
- [13] ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “X-ray fluorescence (XRF)”, [online]. Available http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStartOf_XRD1.thm (accesses: June 6, 2015).
- [14] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, “Atomic absorption spectrophotometer (AAS)”, [online]. Available <http://www.kmitl.ac.th/~klsurin> (accessed: June 10, 2015).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

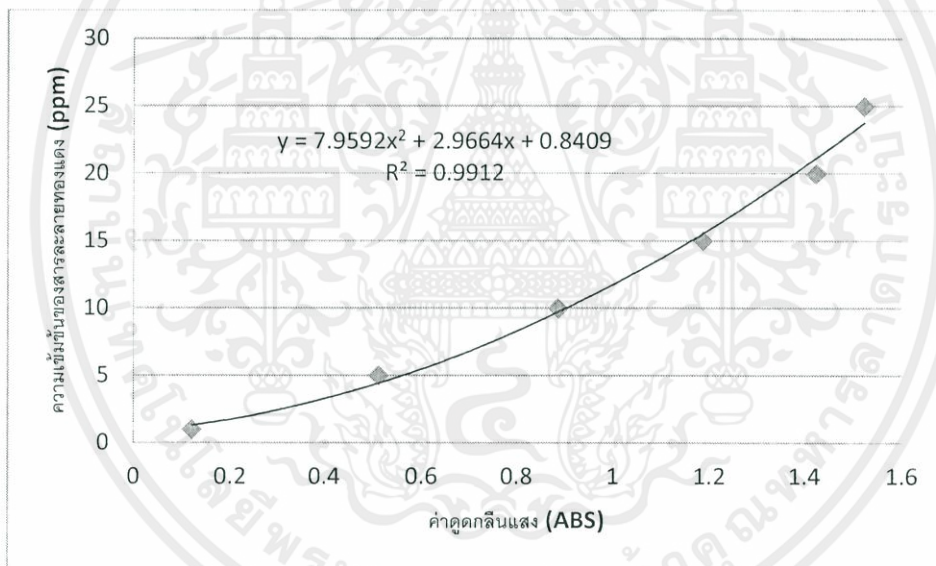
ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ก.1 กราฟมาตรฐาน(calibration curve)

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงผลการตรวจค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายทองแดงที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐาน

	ความเข้มข้นของสารละลายทองแดง (ppm)					
	1	5	10	15	20	25
ค่าดูดกลืนแสง	0.121	0.51	0.887	1.187	1.4221	1.522



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายทองแดง

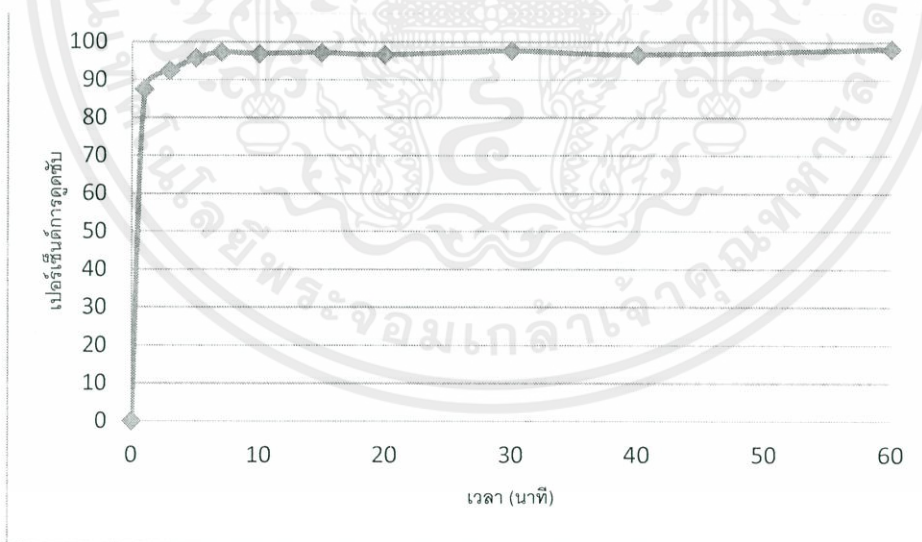
หมายเหตุ กราฟนี้ได้เป็นเส้นโค้งเนื่องจากใช้สมการของเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของอะตอมที่คำนวณให้โดยยึดตามคำแนะนำของอาจารย์ที่คุมเครื่องตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 ผลการดูดซับไอออนทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.451	3.666	2	7.332	0	0
1	0.150	0.910	1	0.910	87.59	6.422
3	0.097	0.555	1	0.555	92.43	7.014
5	0.057	0.313	1	0.313	95.73	7.019
7	0.037	0.200	1	0.200	97.27	7.132
10	0.041	0.222	1	0.222	96.97	7.110
15	0.038	0.206	1	0.206	97.19	7.126
20	0.045	0.245	1	0.245	96.66	7.088
30	0.032	0.173	1	0.173	97.64	7.159
40	0.045	0.245	1	0.245	96.66	7.088
60	0.025	0.135	1	0.135	98.15	7.197

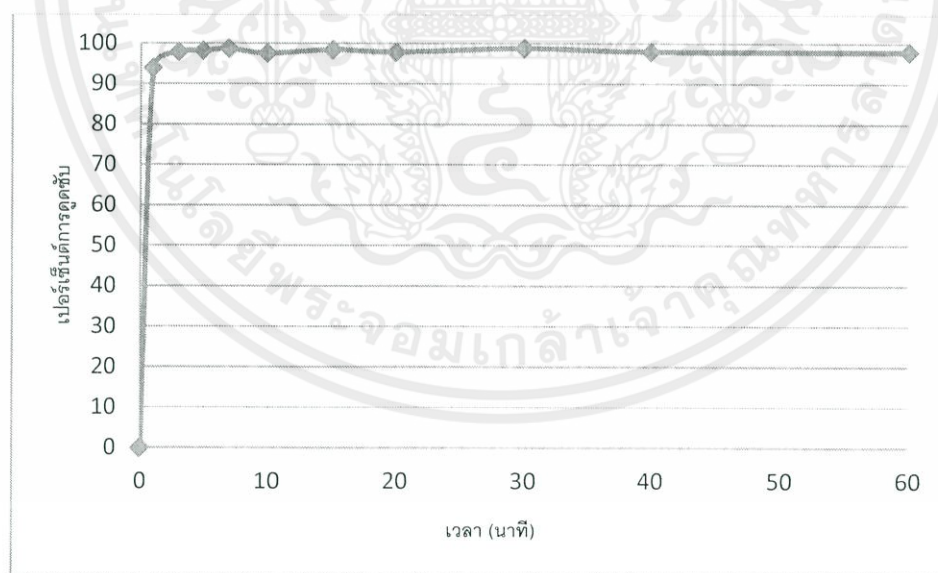


รูปที่ ก.2 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

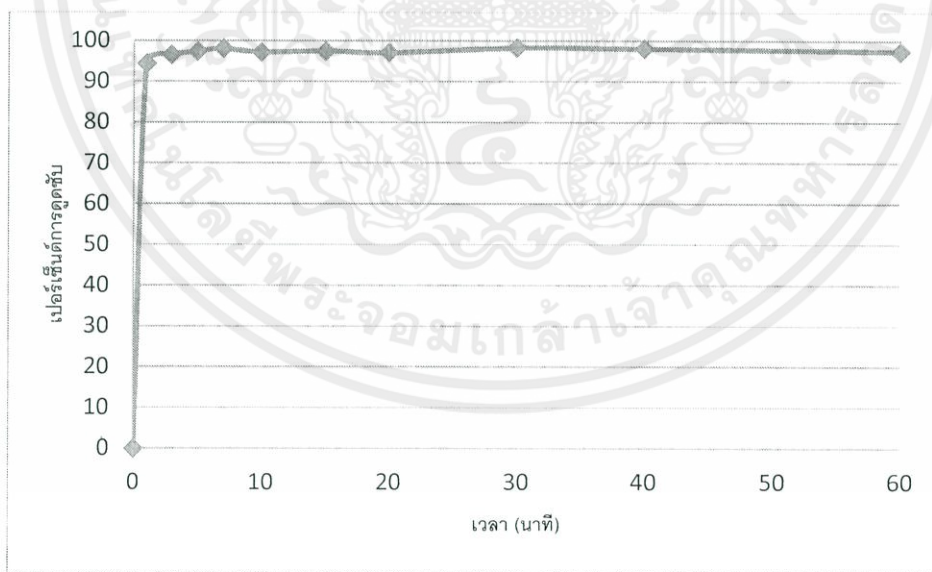
เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื้อมจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.451	3.666	2	7.332	0	0
1	0.080	0.449	1	0.449	93.87	6.883
3	0.029	0.157	1	0.157	97.86	7.055
5	0.024	0.130	1	0.130	98.23	7.202
7	0.018	0.098	1	0.098	98.66	7.234
10	0.033	0.178	1	0.178	97.57	7.154
15	0.021	0.114	1	0.114	98.44	7.218
20	0.029	0.157	1	0.157	97.86	7.175
30	0.016	0.088	1	0.088	98.80	7.244
40	0.028	0.151	1	0.151	97.94	7.181
60	0.029	0.157	1	0.157	97.86	7.175



รูปที่ ก.3 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 7 ppm เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

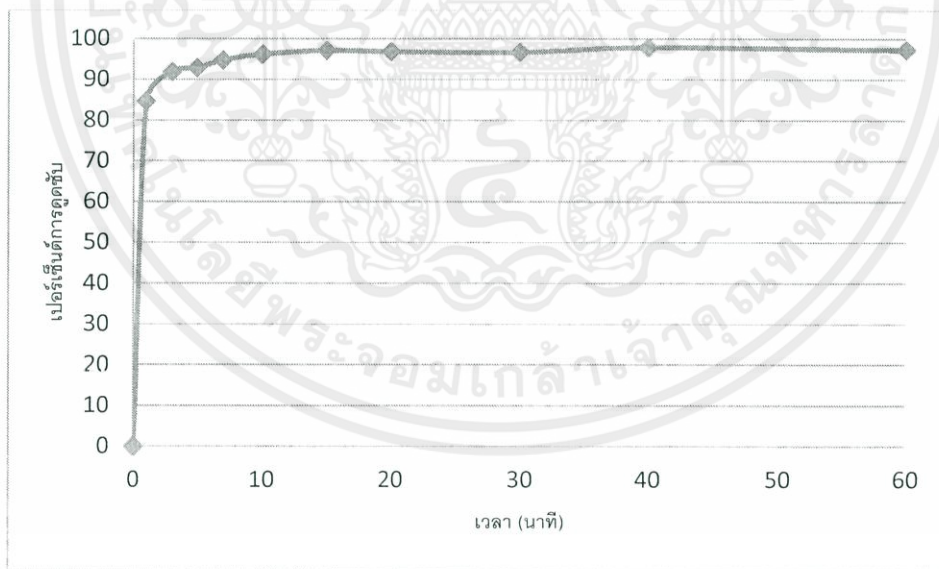
เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.451	3.666	2	7.332	0	0
1	0.073	0.407	1	0.407	94.45	6.925
3	0.046	0.250	1	0.250	96.59	7.051
5	0.035	0.189	1	0.189	97.42	7.143
7	0.026	0.141	1	0.141	98.08	7.192
10	0.038	0.206	1	0.206	97.19	7.126
15	0.034	0.184	1	0.184	97.49	7.148
20	0.040	0.217	1	0.217	97.04	7.115
30	0.024	0.130	1	0.130	98.23	7.202
40	0.027	0.146	1	0.146	98.01	7.186
60	0.035	0.189	1	0.189	97.42	7.143



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 7 ppm เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.451	3.666	2	7.332	0	0
1	0.179	1.121	1	1.121	84.71	6.211
3	0.103	0.593	1	0.593	91.91	6.471
5	0.092	0.524	1	0.524	92.86	6.809
7	0.069	0.383	1	0.383	94.77	6.949
10	0.051	0.279	1	0.279	96.20	7.054
15	0.039	0.211	1	0.211	97.12	7.121
20	0.043	0.233	1	0.233	96.82	7.099
30	0.045	0.245	1	0.245	96.66	7.088
40	0.029	0.157	1	0.157	97.86	7.175
60	0.037	0.200	1	0.200	97.27	7.132

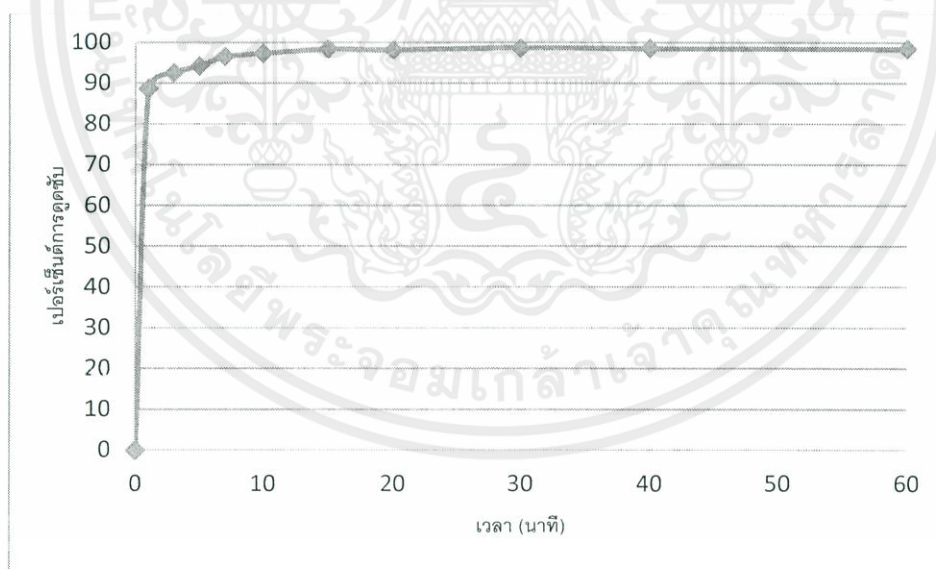


รูปที่ ก.5 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.457	3.734	4	14.935	0	0
1	0.249	1.678	1	1.678	88.77	13.258
3	0.178	1.113	1	1.113	92.55	13.979
5	0.142	0.854	1	0.854	94.28	14.081
7	0.093	0.530	1	0.530	96.45	14.406
10	0.072	0.401	1	0.401	97.31	14.534
15	0.046	0.250	1	0.250	98.32	14.685
20	0.050	0.273	1	0.273	98.17	14.662
30	0.035	0.189	1	0.189	98.73	14.746
40	0.042	0.228	1	0.228	98.47	14.707
60	0.046	0.250	1	0.250	98.32	14.685

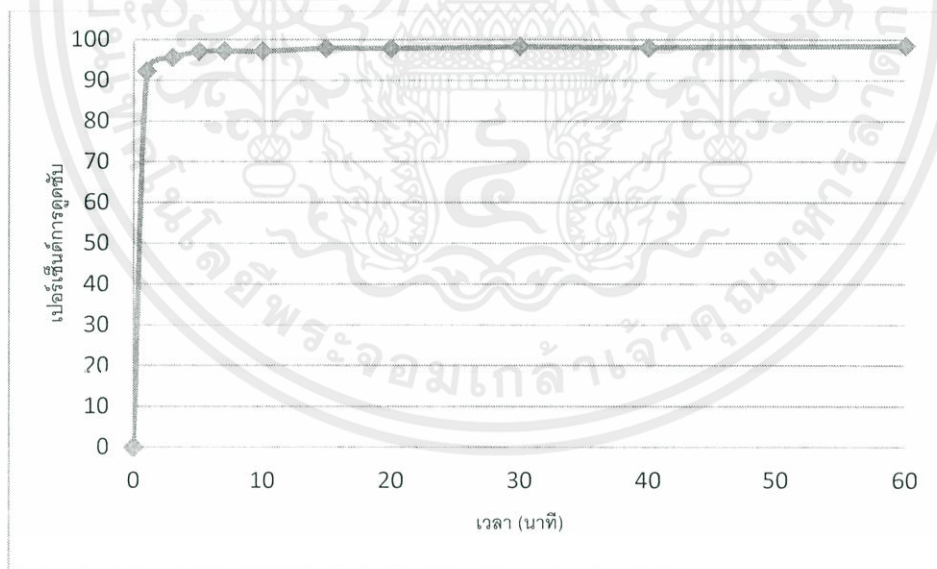


รูปที่ ก.6 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.457	3.734	4	14.935	0	0
1	0.182	1.143	1	1.143	92.35	13.792
3	0.112	0.652	1	0.652	95.64	14.428
5	0.080	0.449	1	0.449	96.99	14.486
7	0.073	0.407	1	0.407	97.27	14.528
10	0.076	0.425	1	0.425	97.15	14.510
15	0.057	0.313	1	0.313	97.90	14.622
20	0.058	0.319	1	0.319	97.87	14.617
30	0.049	0.267	1	0.267	98.21	14.668
40	0.052	0.284	1	0.284	98.10	14.651
60	0.042	0.228	1	0.228	98.47	14.707

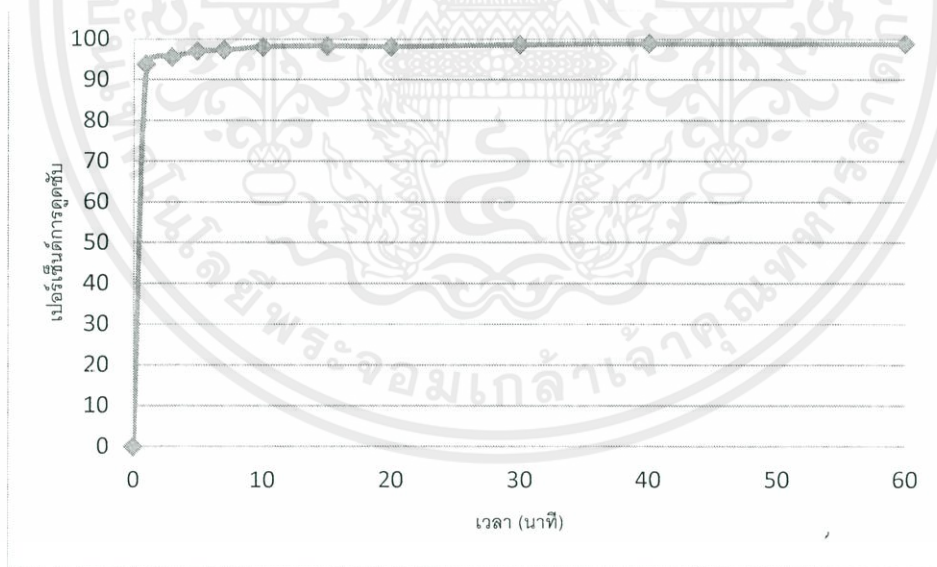


รูปที่ ก.7 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.457	3.734	4	14.935	0	0
1	0.153	0.931	1	0.931	93.76	14.004
3	0.112	0.652	1	0.652	95.64	14.428
5	0.080	0.449	1	0.449	96.99	14.486
7	0.074	0.413	1	0.413	97.23	14.522
10	0.052	0.284	1	0.284	98.10	14.651
15	0.046	0.250	1	0.250	98.32	14.685
20	0.050	0.273	1	0.273	98.17	14.662
30	0.039	0.211	1	0.211	98.59	14.724
40	0.032	0.173	1	0.173	98.84	14.762
60	0.036	0.195	1	0.195	98.70	14.741

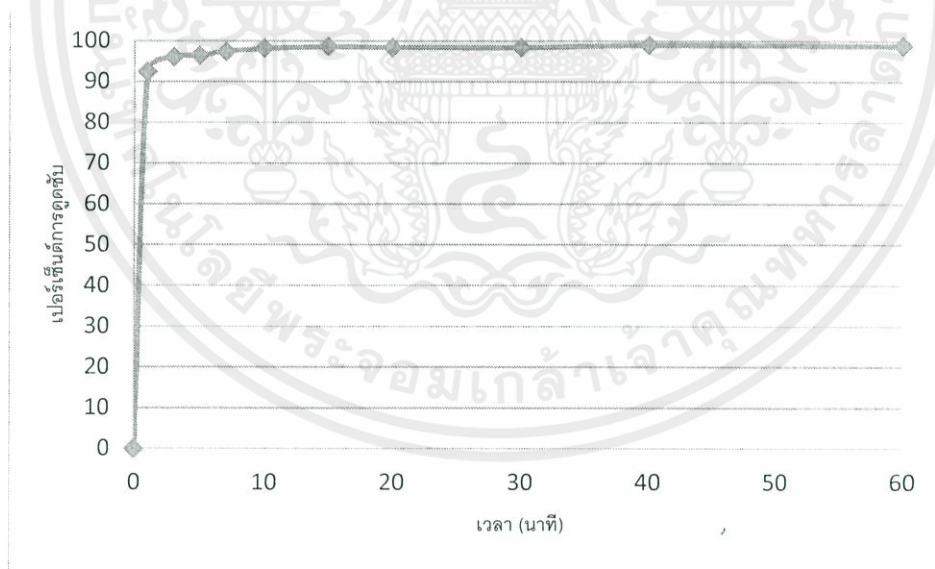


รูปที่ ก.8 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.457	3.734	4	14.9353	0	0
1	0.179	1.121	1	1.121	92.50	13.815
3	0.103	0.593	1	0.593	96.03	14.392
5	0.092	0.524	1	0.524	96.49	14.412
7	0.069	0.383	1	0.383	97.43	14.552
10	0.051	0.279	1	0.279	98.13	14.657
15	0.039	0.211	1	0.211	98.59	14.724
20	0.043	0.233	1	0.233	98.44	14.702
30	0.045	0.245	1	0.245	98.36	14.691
40	0.029	0.157	1	0.157	98.95	14.779
60	0.033	0.178	1	0.178	98.81	14.757

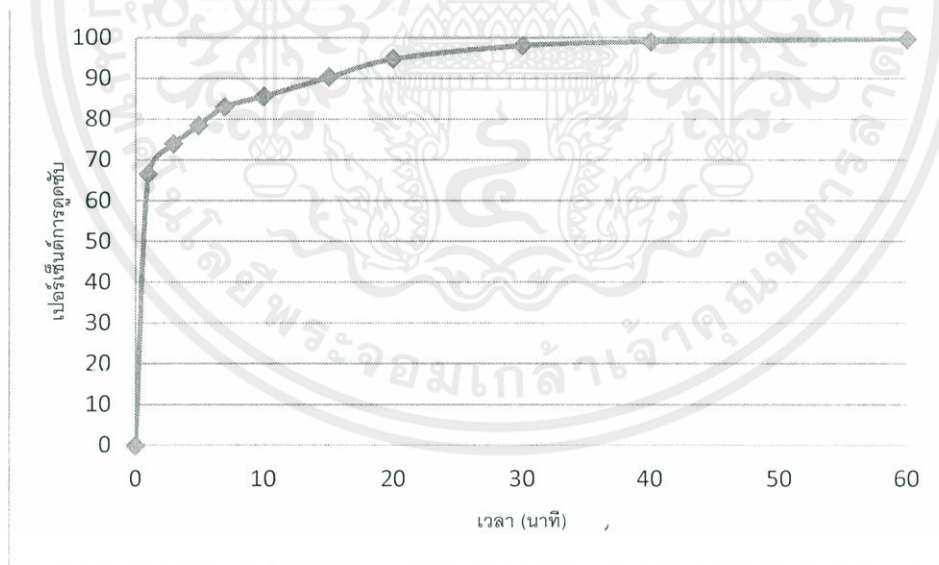


รูปที่ ก.9 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 15 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.327	2.378	50	118.912	0	0
1	0.770	7.961	5	39.804	66.53	79.108
3	0.652	6.207	5	31.037	73.90	89.422
5	0.571	5.116	5	25.579	78.49	93.333
7	0.483	4.033	5	20.166	83.04	98.746
10	0.429	3.422	5	17.110	85.61	101.802
15	0.978	11.523	1	11.523	90.31	107.390
20	0.652	6.207	1	6.207	94.78	112.705
30	0.321	2.321	1	2.321	98.05	116.591
40	0.189	1.196	1	1.196	98.99	117.716
60	0.065	0.360	1	0.360	99.70	118.552

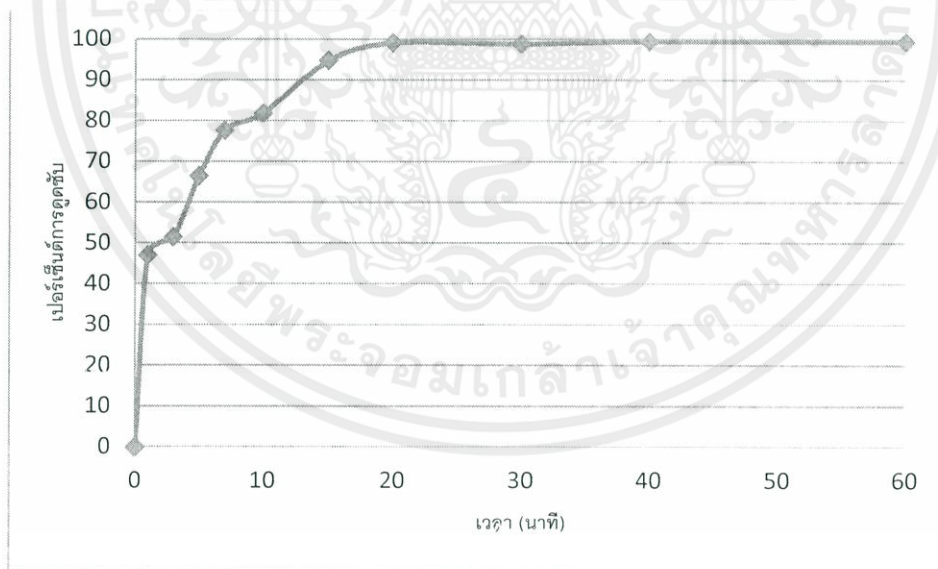


รูปที่ ก.10 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.457	3.734	4	14.9353	0	0
1	0.179	1.121	1	1.121	92.50	55.798
3	0.103	0.593	1	0.593	96.03	73.730
5	0.092	0.524	1	0.524	96.49	78.951
7	0.069	0.383	1	0.383	97.43	92.225
10	0.051	0.279	1	0.279	98.13	97.323
15	0.039	0.211	1	0.211	98.59	112.592
20	0.043	0.233	1	0.233	98.44	117.791
30	0.045	0.245	1	0.245	98.36	117.521
40	0.029	0.157	1	0.157	98.95	118.274
60	0.033	0.178	1	0.178	98.81	118.287

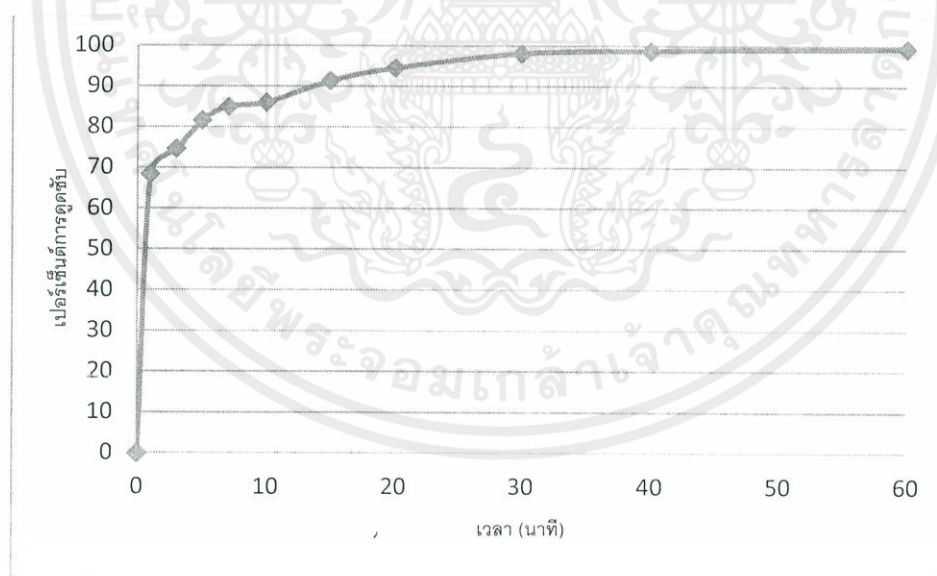


รูปที่ ก.11 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.327	2.378	50	118.912	0	0
1	0.741	7.512	5	37.560	68.41	81.352
3	0.642	6.068	5	30.339	74.49	93.433
5	0.512	4.378	5	21.890	81.59	97.022
7	0.443	3.577	5	17.883	84.96	101.029
10	0.419	3.313	5	16.567	86.07	102.346
15	0.912	10.327	1	10.327	91.32	108.585
20	0.679	6.592	1	6.592	94.46	112.320
30	0.316	2.274	1	2.274	98.09	116.638
40	0.219	1.431	1	1.431	98.80	117.481
60	0.127	0.751	1	0.751	99.37	118.161

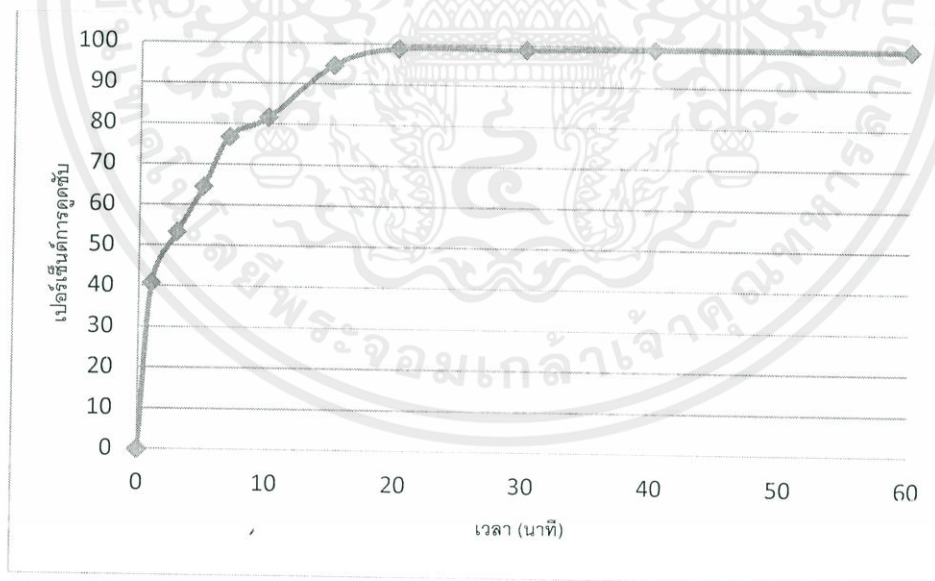


รูปที่ ก.12 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.327	2.378	50	118.912	0	0
1	1.109	14.074	5	70.371	40.82	48.541
3	0.956	11.117	5	55.587	53.25	66.827
5	0.802	8.470	5	42.348	64.39	76.564
7	0.601	5.509	5	27.547	76.83	91.365
10	0.512	4.378	5	21.890	81.59	97.022
15	0.667	6.420	1	6.420	94.60	112.492
20	0.216	1.407	1	1.407	98.82	117.505
30	0.214	1.391	1	1.391	98.83	117.521
40	0.150	0.910	1	0.910	99.23	118.002
60	0.108	0.625	1	0.625	99.47	118.287

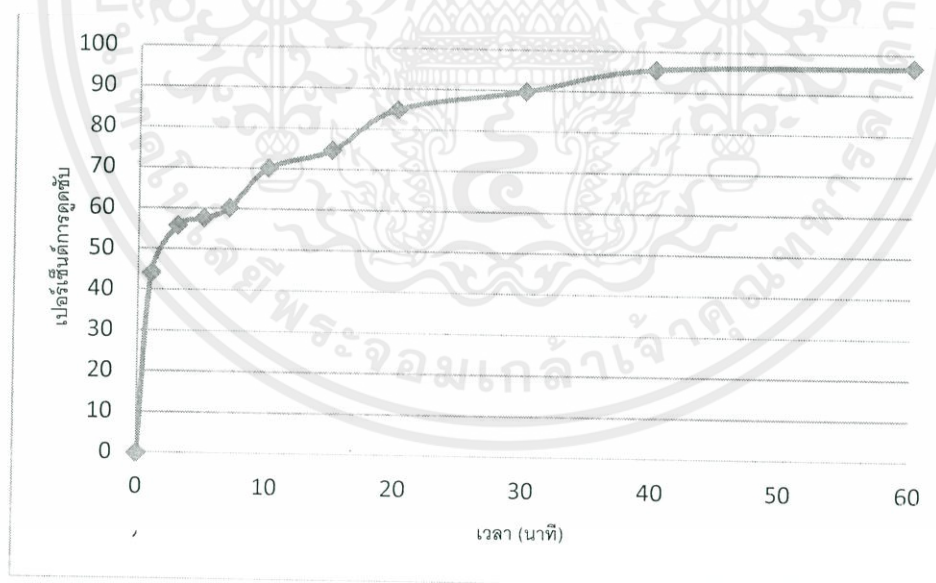


รูปที่ ก.13 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 119 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.472	3.905	50	195.268	0	0
1	0.945	10.917	10	109.173	44.09	86.095
3	0.813	8.648	10	86.479	55.71	105.763
5	0.790	8.277	10	82.772	57.61	112.496
7	0.757	7.758	10	77.582	60.27	117.686
10	0.627	5.861	10	58.608	69.99	136.660
15	0.887	9.890	5	49.452	74.67	145.816
20	0.629	5.888	5	29.441	84.92	165.827
30	0.479	3.986	5	19.932	89.79	175.336
40	0.257	1.746	5	8.728	95.53	186.540
60	0.209	1.351	5	6.755	96.54	188.513

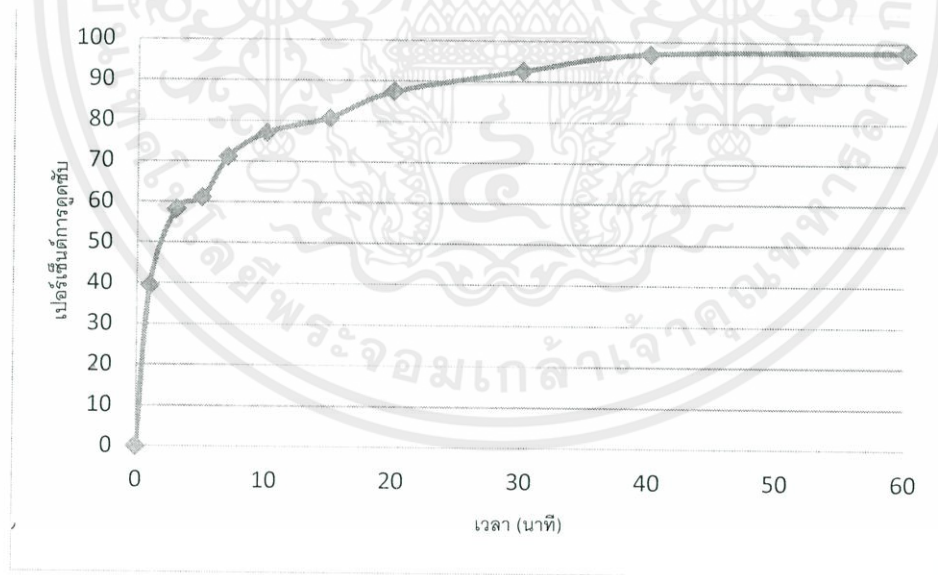


รูปที่ ก.14 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.472	3.905	50	195.268	0	0
1	0.994	11.821	10	118.214	39.46	77.054
3	0.784	8.182	10	81.817	58.10	100.181
5	0.747	7.604	10	76.039	61.06	119.229
7	0.612	5.657	10	56.570	71.03	138.698
10	0.520	4.475	10	44.752	77.08	150.516
15	0.738	7.466	5	37.331	80.88	157.937
20	0.558	4.949	5	24.745	87.33	170.523
30	0.380	2.903	5	14.513	92.57	180.755
40	0.189	1.196	5	5.981	96.94	189.287
60	0.150	0.910	5	4.550	97.67	190.718

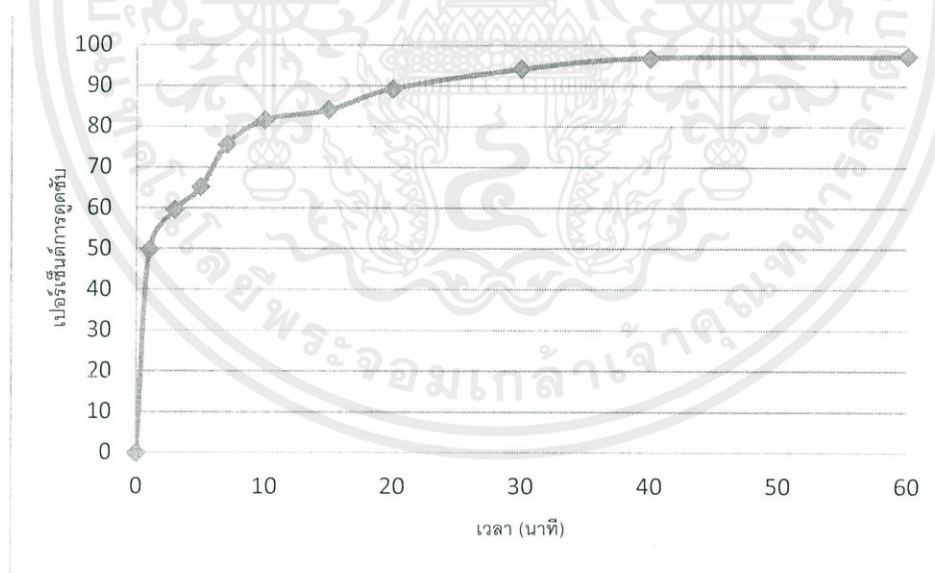


รูปที่ ก.15 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.472	3.905	50	195.268	0	0
1	0.882	9.804	10	98.040	49.79	97.228
3	0.765	7.883	10	78.826	59.63	113.350
5	0.695	6.824	10	68.240	65.05	127.028
7	0.544	4.772	10	47.722	75.56	147.546
10	0.444	3.588	10	35.877	81.63	159.391
15	0.652	6.207	5	31.037	84.11	164.231
20	0.495	4.174	5	20.872	89.31	174.396
30	0.317	2.284	5	11.418	94.15	183.850
40	0.192	1.219	5	6.095	96.88	189.173
60	0.172	1.069	5	5.344	97.26	189.924

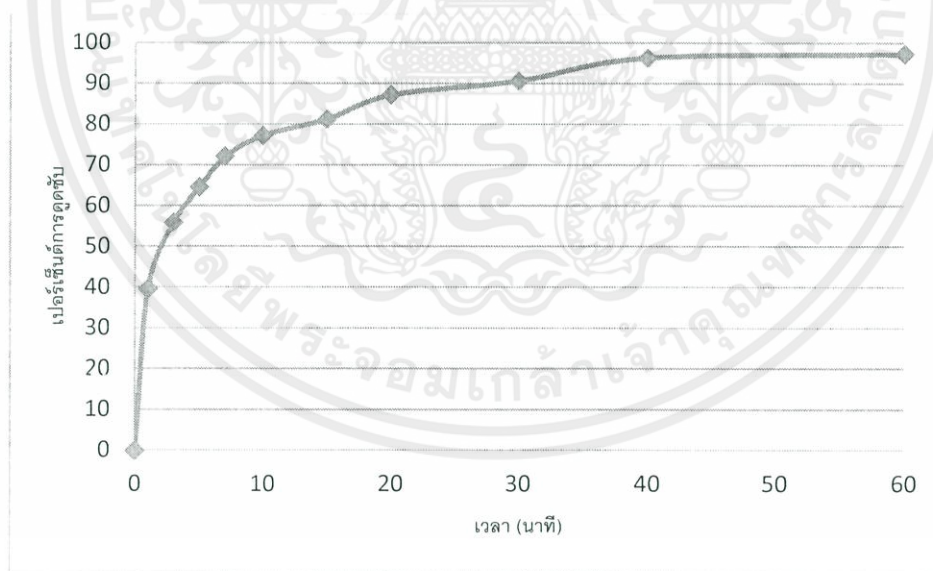


รูปที่ ก.16 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เวลา (นาทีก)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.472	3.905	50	195.268	0	0
1	0.992	11.784	10	117.839	39.65	77.429
3	0.810	8.599	10	85.991	55.96	95.760
5	0.702	6.927	10	69.268	64.53	126.000
7	0.597	5.456	10	54.563	72.06	140.705
10	0.518	4.451	10	44.509	77.21	150.759
15	0.729	7.330	5	36.648	81.23	158.620
20	0.563	5.013	5	25.065	87.16	170.203
30	0.450	3.655	5	18.274	90.64	176.994
40	0.221	1.447	5	7.233	96.30	188.035
60	0.176	1.098	5	5.492	97.19	189.776

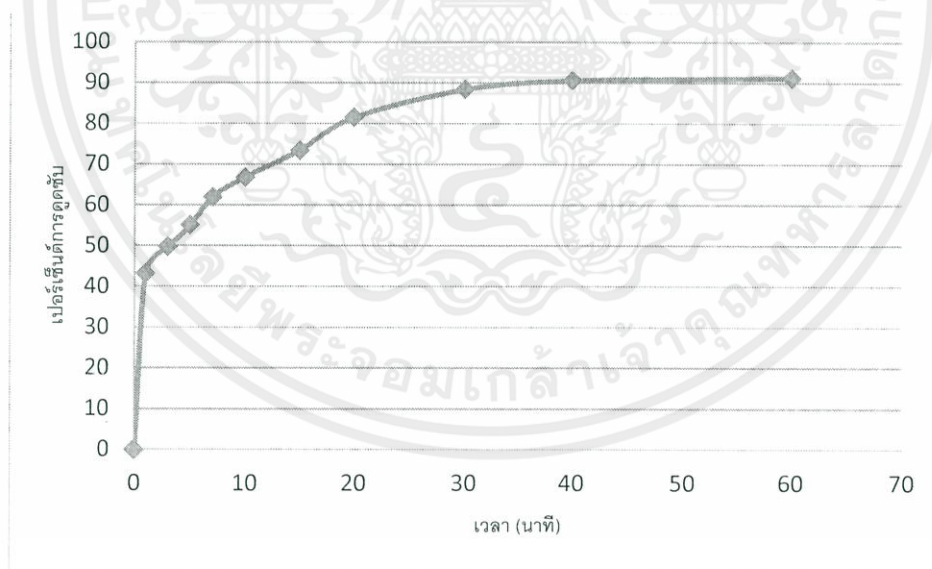


รูปที่ ก.17 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 195 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เวลา (นาทีก)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.597	5.456	50	272.813	0	0
1	1.176	15.471	10	154.714	43.29	118.100
3	1.090	13.689	10	136.893	49.82	131.244
5	1.017	12.257	10	122.573	55.07	150.241
7	0.915	10.380	10	103.803	61.95	169.011
10	0.837	9.042	10	90.425	66.85	182.389
15	1.129	14.485	5	72.424	73.45	200.390
20	0.899	10.099	5	50.495	81.49	222.319
30	0.663	6.363	5	31.814	88.34	241.000
40	0.576	5.181	5	25.903	90.51	246.911
60	0.547	4.810	5	24.049	91.18	248.764

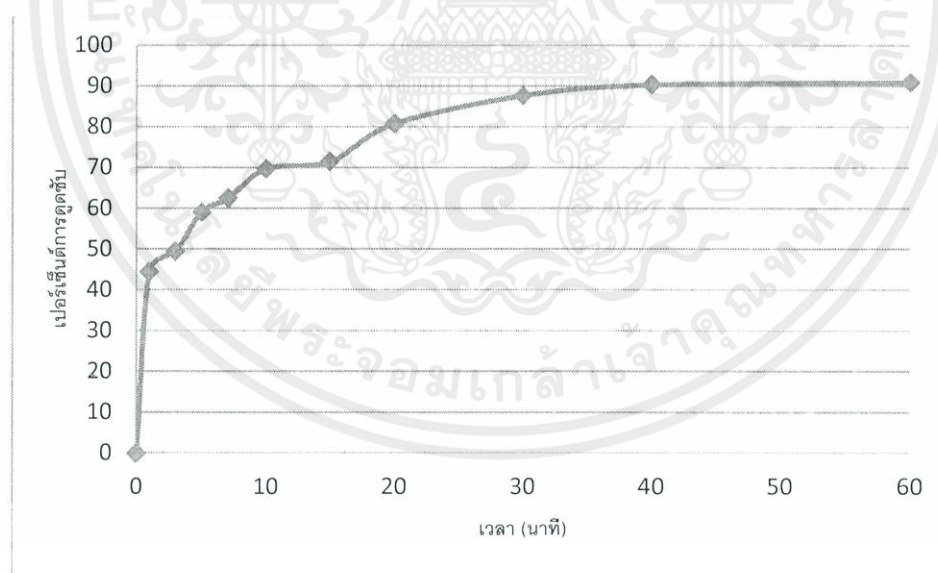


รูปที่ ก.18 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.19 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.597	5.456	50	272.813	0	0
1	1.163	15.195	10	151.954	44.30	120.859
3	1.094	13.770	10	137.699	49.53	143.161
5	0.958	11.154	10	111.539	59.12	161.274
7	0.907	10.239	10	102.392	62.47	170.422
10	0.789	8.261	10	82.612	69.72	190.201
15	1.182	15.600	5	77.998	71.41	194.816
20	0.923	10.522	5	52.611	80.72	220.202
30	0.690	6.751	5	33.755	87.63	239.059
40	0.587	5.324	5	26.621	90.24	246.192
60	0.563	5.013	5	25.065	90.81	247.749

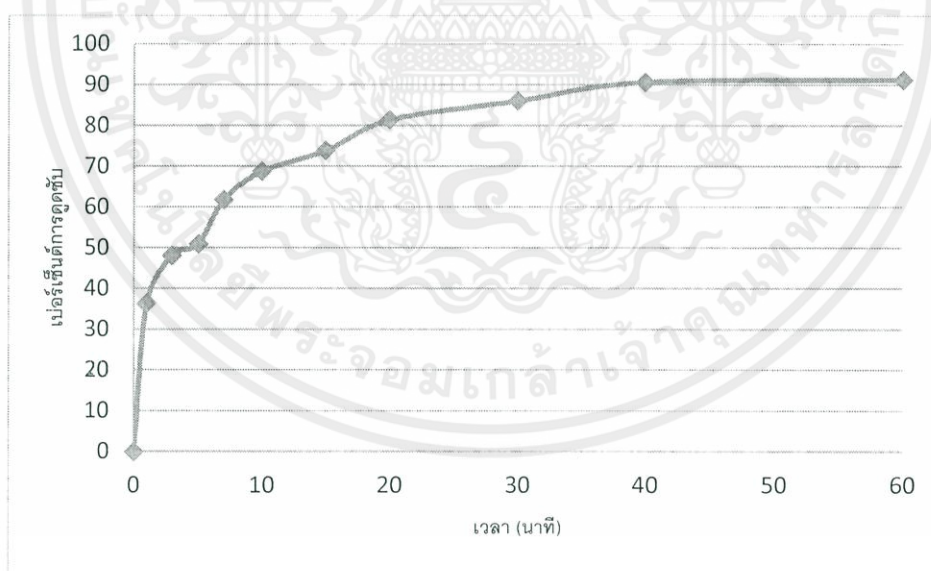


รูปที่ ก.19 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.20 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.597	5.456	50	272.813	0	0
1	1.263	17.379	10	173.787	36.30	99.026
3	1.113	14.156	10	141.559	48.11	129.929
5	1.075	13.389	10	133.890	50.92	138.923
7	0.918	10.433	10	104.334	61.76	168.479
10	0.806	8.534	10	85.343	68.72	187.471
15	1.119	14.279	5	71.394	73.83	201.420
20	0.904	10.187	5	50.933	81.33	221.881
30	0.748	7.619	5	38.096	86.04	234.717
40	0.572	5.129	5	25.644	90.60	247.170
60	0.545	4.785	5	23.924	91.23	248.890

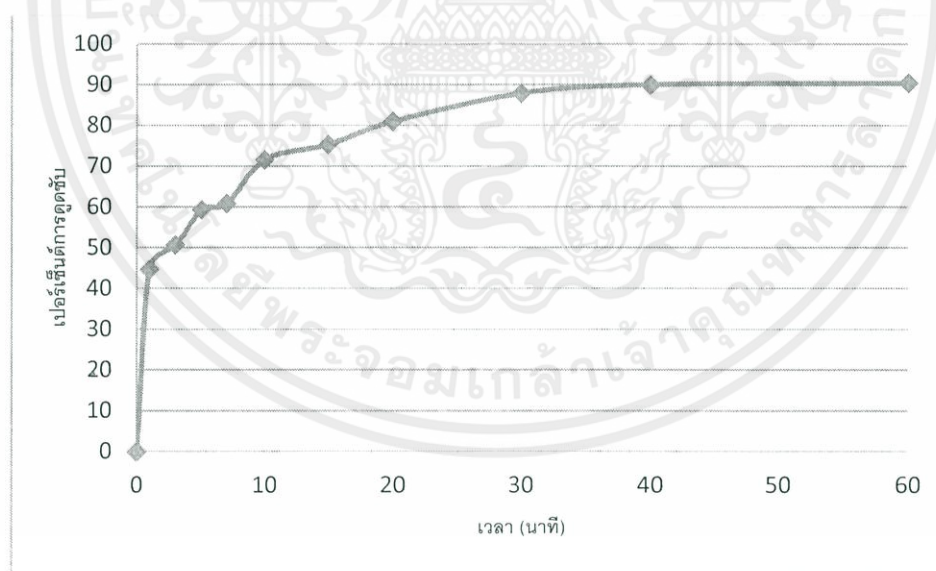


รูปที่ ก.20 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.21 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.597	5.456	50	272.813	0	0
1	1.158	15.090	10	150.899	44.69	121.915
3	1.080	13.489	10	134.888	50.56	145.516
5	0.956	11.117	10	111.174	59.25	161.640
7	0.932	10.683	10	106.831	60.84	165.983
10	0.756	7.743	10	77.427	71.62	195.387
15	1.079	13.469	5	67.344	75.32	205.469
20	0.915	10.380	5	51.901	80.98	220.912
30	0.679	6.592	5	32.958	87.92	239.856
40	0.597	5.456	5	27.281	90.00	245.532
60	0.582	5.259	5	26.293	90.36	246.520

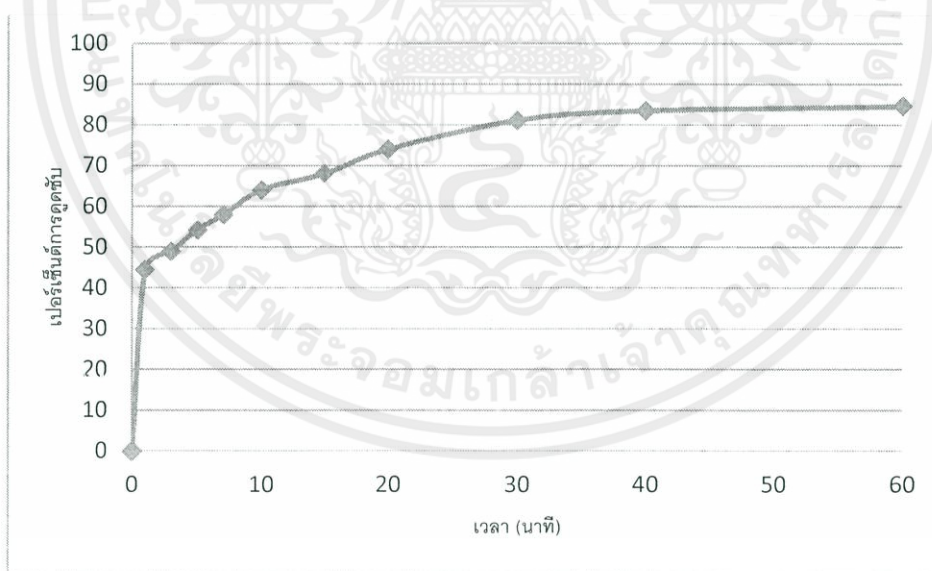


รูปที่ ก.21 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 272 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.22 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เวลา (นาทีก)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.394	3.048	100	304.758	0	0
1	1.244	16.953	10	169.532	44.37	135.226
3	1.178	15.514	10	155.140	49.09	157.243
5	1.103	13.952	10	139.521	54.22	165.236
7	1.046	12.817	10	128.173	57.94	176.585
10	0.946	10.935	10	109.355	64.12	195.403
15	0.878	9.735	10	97.352	68.06	207.406
20	0.767	7.914	10	79.138	74.03	225.619
30	0.618	5.738	10	57.381	81.17	247.376
40	0.565	5.039	10	50.386	83.47	254.372
60	0.539	4.710	10	47.097	84.55	257.661

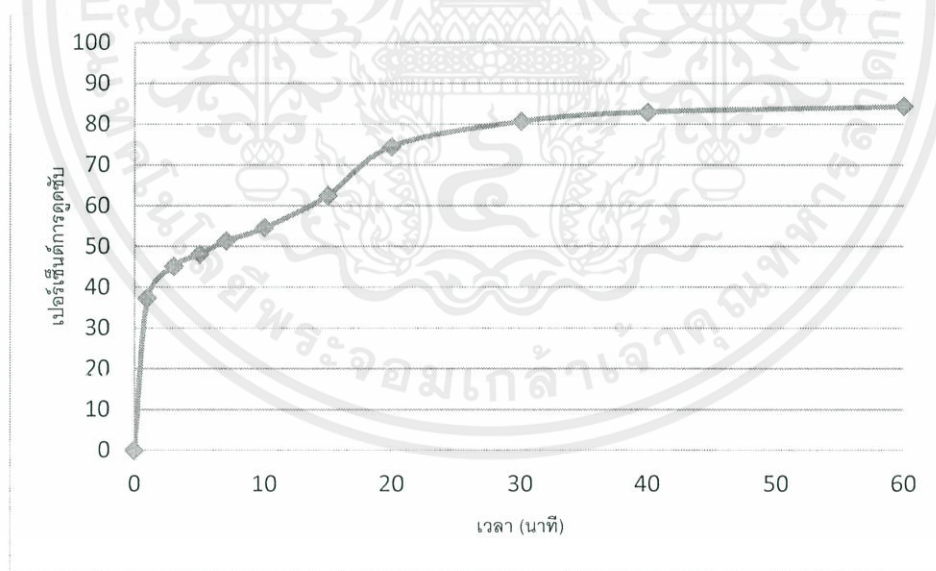


รูปที่ ก.22 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.23 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เวลา (นาทีก)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.597	5.456	50	272.813	0	0
1	1.158	15.090	10	150.899	44.69	113.684
3	1.080	13.489	10	134.888	50.56	135.552
5	0.956	11.117	10	111.174	59.25	146.615
7	0.932	10.683	10	106.831	60.84	156.586
10	0.756	7.743	10	77.427	71.62	166.452
15	1.079	13.469	5	67.344	75.32	190.644
20	0.915	10.380	5	51.901	80.98	227.331
30	0.679	6.592	5	32.958	87.92	245.876
40	0.597	5.456	5	27.281	90.00	252.952
60	0.582	5.259	5	26.293	90.36	257.036

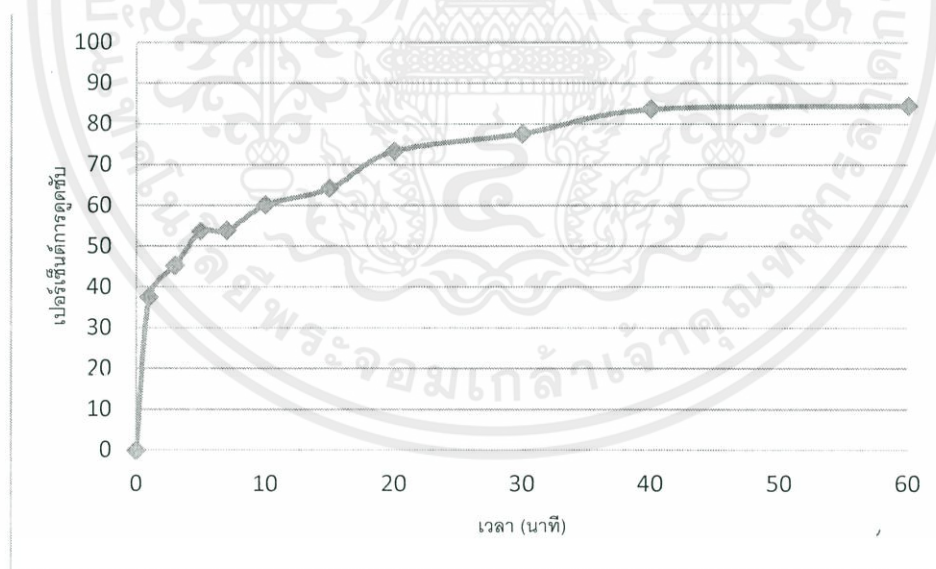


รูปที่ ก.23 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.83) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.24 ค่าการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เวลา (นาทื)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เจือจาง (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.394	3.048	100	304.758	0	0
1	1.337	19.084	10	190.838	37.38	113.920
3	1.231	16.665	10	166.649	45.32	149.979
5	1.112	14.135	10	141.354	53.62	163.403
7	1.109	14.074	10	140.742	53.82	164.016
10	1.012	12.162	10	121.619	60.09	183.139
15	0.944	10.899	10	108.992	64.24	195.765
20	0.781	8.134	10	81.341	73.31	223.416
30	0.694	6.809	10	68.093	77.66	236.664
40	0.562	5.000	10	50.001	83.59	254.756
60	0.541	4.735	10	47.346	84.46	257.411

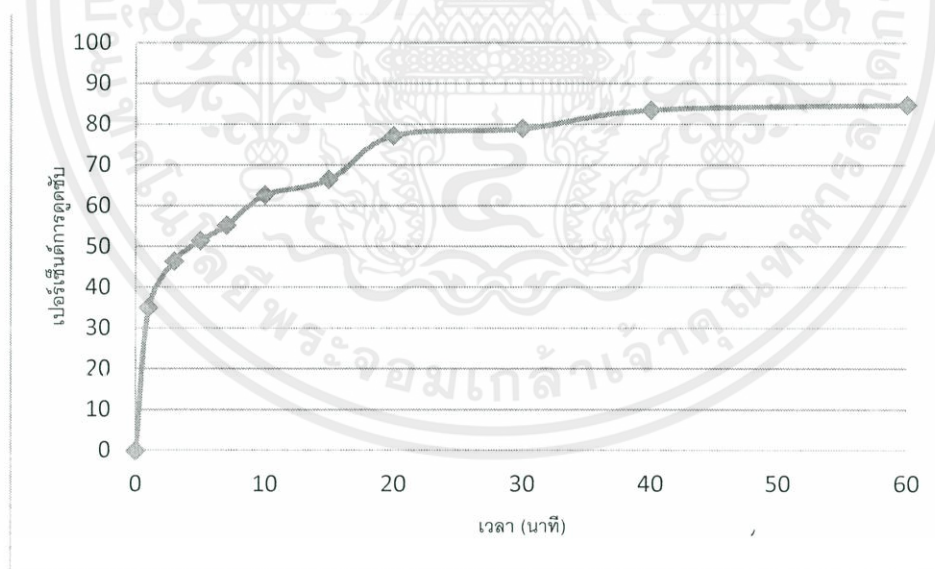


รูปที่ ก.24 กราฟแสดงผลการดูดซับ ไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.94) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.25 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เวลา (นาท)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัดได้ (ppm)	เงื่อนงำ (เท่า)	ความเข้มข้นจริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.394	3.048	100	304.758	0	0
1	1.369	19.845	10	198.447	34.88	106.311
3	1.215	16.313	10	163.134	46.47	137.782
5	1.144	14.796	10	147.963	51.45	156.795
7	1.087	13.629	10	136.290	55.28	168.467
10	0.971	11.393	10	113.929	62.62	190.829
15	0.907	10.239	10	102.392	66.40	202.366
20	0.703	6.942	10	69.415	77.22	235.342
30	0.668	6.434	10	64.338	78.89	240.419
40	0.565	5.039	10	50.386	83.47	254.372
60	0.534	4.647	10	46.475	84.75	258.283



รูปที่ ก.25 กราฟแสดงผลการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(H) ที่ความเข้มข้น 304 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณ

ข.1 วิธีการคำนวณการเตรียมสารละลายไอออนของทองแดงจาก copper nitrate trihydrate ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)

ข.1.1 หาจากการคำนวณ

copper nitrate trihydrate มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 241.60

ไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 63.546

เทียบหาปริมาณไอออนของทองแดงในสารละลาย copper nitrate trihydrate

ตัวอย่างเช่น

ที่ความเข้มข้น 30 ppm ชั่งสาร $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 30 มิลลิกรัม เตรียมในขวดวัดปริมาตร 1 ลิตร

จะได้สารละลายที่มีไอออนของทองแดงเท่ากับ

$$\frac{30 \text{ มิลลิกรัม } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}}{1 \text{ ลิตรสารละลาย}} \times \frac{63.546 \text{ มิลลิกรัม } \text{Cu}^{2+}}{241.6 \text{ มิลลิกรัม } 30 \text{ มิลลิกรัม } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}} = 7.89 \text{ ppm}$$

ข.1.2 หาจากการเทียบกราฟมาตรฐาน

นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงโดยเครื่อง เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของตอม

(Atomic absorption spectrophotometer, AAS) จากนั้นนำผลมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน ได้ผลดังตาราง ข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.1 ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไอออนของทองแดงที่ใช้ในการดูดซับ โดยซีโอไลท์โซเดียมเอ

ปริมาณ Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O (mg)	ความเข้มข้นของ Cu ²⁺ (ppm)	
	จากการคำนวณ	จากการตรวจวัดค่าดูดกลืนแสงอตอม
30	8	7
60	16	15
500	132	119
800	210	195
1000	263	273
1200	316	305

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 วิธีการคำนวณหาความสามารถในการดูดซับไอออนทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดซับไอออนของทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA(1.64) ที่ความเข้มข้น 7 ppm

เวลา (นาที)	ค่าดูดกลืนแสง (ABS)	ความเข้มข้นที่วัด ได้ (ppm)	เงื้อมจาง (เท่า)	ความเข้มข้น จริง (ppm)	เปอร์เซ็นต์ การดูดซับ	q (mg/g)
0	0.451	3.666	2	7.332	0	0
1	0.150	0.910	1	0.910	87.59	12.844

จากตารางที่ ข.2

ที่เวลาเริ่มต้นมีปริมาณไอออนทองแดง 7.332 ppm

สารละลายปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีปริมาณไอออนทองแดง

$$\frac{7.332 \text{ mg Cu}}{1000 \text{ ml soln}} \times 500 \text{ ml soln} = 3.666 \text{ mg Cu}$$

ที่เวลา 1 นาที เหลือไอออนทองแดงในสารละลาย 0.910 ppm

สารละลายปริมาตร 500 มิลลิลิตร มีปริมาณไอออนทองแดงเหลืออยู่

$$\frac{0.910 \text{ mg Cu}}{1000 \text{ ml soln}} \times 500 \text{ ml soln} = 0.455 \text{ mg Cu}$$

ปริมาณไอออนทองแดงที่ดูดซับได้คือ $3.666 - 0.455 = 3.211 \text{ mg Cu}$

ซีโอไลต์โซเดียมเอที่ใช้ในการดูดซับมีปริมาณ 0.5 g

ความสามารถในการดูดซับไอออนทองแดงของซีโอไลต์โซเดียมเอคือ

$$\frac{3.211 \text{ mg Cu}}{0.5 \text{ g zeolite}} = \frac{6.422 \text{ mg Cu}}{\text{g zeolite}}$$

คิดเป็น

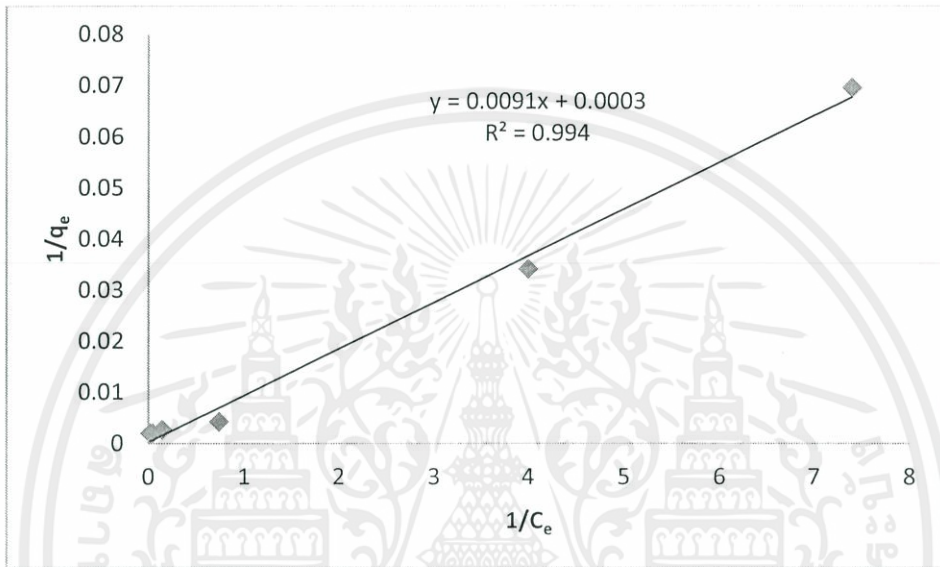
$$\frac{6.422 \text{ mg Cu}}{7.322 \text{ mg Cu}} \times 100 = 87.59 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 7.322 mg Cu วิชาการ ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 การหาค่าคงที่ของสมการ Langmuir และ Freundlich

ข.2.1 การหาค่าคงที่ของสมการ Langmuir

นำข้อมูลที่ได้อามาหาความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ แล้วนำมาพลอตกราฟ ดังตัวอย่างกราฟรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอดีโซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Langmuir

ได้สมการเส้นตรง

$$y = 0.0091x + 0.0003$$

จากสมการ Langmuir

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_0} + \frac{1}{K_L q_0} \frac{1}{C_e}$$

จะได้

$$\frac{1}{q_0} = 0.0003$$

$$q_0 = 3333$$

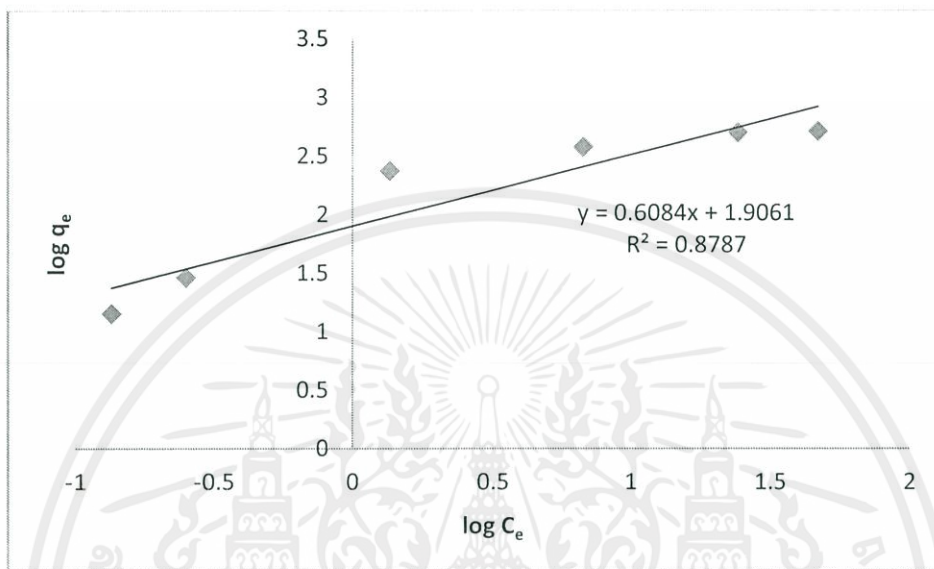
$$\frac{1}{K_L q_0} = 0.0091$$

$$K_L = 0.033$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.1 การหาค่าคงที่ของสมการ Freundlich

นำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่าง $1/q_e$ กับ $1/C_e$ แล้วนำมาพลอตกราฟ ดังตัวอย่างกราฟรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับไอออนของทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ NaA (1.64) ด้วยสมการ Freundlich

ได้สมการเส้นตรง

$$y = 0.6084x + 1.9061$$

จากสมการ Freundlich

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n_F} \log C_e$$

จะได้

$$\log K_F = 1.9061$$

$$K_F = 80.556$$

$$\frac{1}{n_F} = 0.6084$$

$$n_F = 1.6437$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะ(characterization)

ก.1 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD, x-ray diffraction) [12]

การตรวจสอบซีโอไลต์มีด้วยกันหลายวิธี วิธีที่สะดวกและนิยมทำกันมากที่สุดคือตรวจสอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวิญญากาศองค์ประกอบของสารตัวอย่าง ภายในเครื่องวิเคราะห์ รังสีเอ็กซ์ถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ในสถานะสุญญากาศ โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวด ฟิลาเมนต์(filament) ที่อยู่ในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ซึ่งจะช่วยให้ลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูงทำให้เคลื่อนที่ จากขั้วแคโทดซึ่งเป็นลวดฟิลาเมนต์เข้าชนขั้วแอโนดด้วยความเร็วสูง ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชน จะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดของทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ วงนอกถัดมาเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมา นอกจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่างๆในสารตัวอย่างแล้ว ยังสามารถวัดขนาดอนุภาคของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าระดับนาโนเมตรโดยใช้สมการเชอร์เรอร์ (Scherrer equation) ดังนี้

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta}$$

เมื่อ	t	คือขนาดของอนุภาค
	λ	คือค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ เช่นถ้าใช้คอปเปอร์จะมีค่า 0.154นาโนเมตร
	β	คือความกว้างที่ความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุดของกราฟพระฆัง
	θ	คือมุมของแบร็ก (Bragg's angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF, x-ray fluorescence) [13]

X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์, ธรณีวิทยา, สิ่งแวดล้อม, ทางการแพทย์ รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ของเครื่อง XRF จะอาศัยหลักการเรืองรังสีเอกซ์ ของตัวอย่าง โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่าง ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คาย หรือ Fluorescence ออกมานั้น จะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่งนั้นๆ ทำให้เราสามารถแยกได้ว่า ในตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ Detector วัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวอย่าง

เครื่อง XRF แม้ว่าจะสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในหลายรูปแบบ แต่ตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด ก็คือ ตัวอย่างที่อยู่ในรูปของแข็ง และสามารถทนต่อสภาพ Low Pressure หรือ Vacuum ได้ ดังนั้น ในกรณีตัวอย่างที่เป็น Powder ต้องทำการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ด โดยต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 20mm (ด้านกว้าง - ยาว หรือ เส้นผ่าศูนย์กลาง) และต้องมีขนาดไม่เกิน 15cm หนาไม่เกิน 7.5cm (สำหรับตัวอย่างที่เป็นทรงกระบอกกะครับ) ในกรณีที่ ตัวอย่างอยู่ในรูปของแข็ง ด้านที่ต้องการทดสอบ ต้องขัด หรือ ทำให้เรียบ

ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลว แล้วต้องการทดสอบด้วยเครื่อง XRF ควรทำให้ตัวอย่งนั้น มีความหนืดมากขึ้น โดยการระเหยน้ำที่เป็นส่วนผสมทิ้งไปก่อน การทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. 3 การวิเคราะห์โดยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) [14]

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ(metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ(free atom) ของธาตุ ดูดกลืน(absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดีกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น(ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state)

ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสารละลายหรือตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้เป็นอะตอมอิสระ จากนั้นอะตอมอิสระจะดูดกลืน พลังงานที่ระดับพลังงานจำเพาะ ยังมีอะตอมอิสระมากก็ยังมีค่าการดูดกลืน(absorbance) มาก จึงใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุนั้นๆ ได้

ส่วนประกอบของเครื่อง AAS จึงต้องประกอบไปด้วย ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ ส่วนที่ทำให้เกิดพลังงานแสงที่อะตอมอิสระจะสามารถดูดกลืนได้ ส่วนที่ใช้ในการแยกความยาวคลื่นของแสง ส่วนที่ต้องตรวจจับค่าการดูดกลืน(absorbance) รวมทั้งส่วนประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้