

การปรับปรุงไดอะทอไมต์โดยวิธีทางเคมีสำหรับการ
บำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์

ชื่อเรื่อง

การปรับปรุงไดอะทอมไมต์โดยวิธีทางเคมีสำหรับใช้ในการ
บำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

โดย

พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ภูสิต ปุกมณี)

วันที่ 4 เดือน 8.ค. พ.ศ. 2551

กรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. ศักดิ์ชัย เสถียรพิระกุล)

วันที่ 4 เดือน ๓ พ.ศ. 2551

กรรมการที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. สุภาพร แสงศรีจันทร์)

วันที่ 4 เดือน 8.ค. พ.ศ. ๕1

กรรมการที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณี คงดี)

วันที่ 4 เดือน ๓ พ.ศ. 51

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

(อาจารย์ ดร. ศักดิ์ชัย เสถียรพิระกุล)

วันที่ 4 เดือน ๓ พ.ศ. 2551

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. เทพ พงษ์พานิช)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่ 4 เดือน ๘.ค. พ.ศ. 2551

ชื่อเรื่อง	การปรับปรุงไคอะทอไมด์โดยวิธีทางเคมีสำหรับใช้ในการ บำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี
ชื่อผู้เขียน	นายพงศ์เทพ จันทรสันเทียะ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ภูสิต ปุณณณ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูชัษสารละลายมาตรฐานโลหะหนักของไคอะทอไมด์ก่อนและหลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ โดยทำการปรับปรุงไคอะทอไมด์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล และทำการติดตามลักษณะเฉพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของไคอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด โดยการหาค่าประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี พบว่า องค์ประกอบหลักของไคอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ โดยมีค่าเท่ากับ 63.31, 56.79 และ 82.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการหาองค์ประกอบของธาตุ ด้วยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรสโกปี พบว่า ซิลิกอนและ ออกซิเจน มีค่าระดับพลังงาน เท่ากับ 1.739 และ 0.532 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ ทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคไคอะทอไมด์ ด้วยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า รูปร่างของอนุภาคไคอะทอไมด์ก่อนและหลังการปรับปรุงมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีรูพรุน ส่วนไคอะทอไมด์ชนิด เอ มีลักษณะเป็นจานกลมแบนมีรูพรุน และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 11.83, 15.82 และ 18.42 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยซึ่งศึกษา ด้วยเทคนิคการวัดขนาดอนุภาค และการหาพื้นที่ผิวของไคอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ด้วยเทคนิคการวัดพื้นที่ผิว มีค่าเท่ากับ 54.26, 55.67 และ 16.40 ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ ส่วนการศึกษาคูชัษสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี พบว่า ความจุของการดูดซับสารละลายมาตรฐาน แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และ สังกะสี ของไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุงมีมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.527, 0.856, 3.226 และ 6.097 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

Title	Chemical modification of diatomite for chemical laboratory wastewater treatment
Author	Mr. Pongthep Jansanthea
Degree of	Master of Science in Applied Chemistry
Advisory Committee Chairperson	Dr. Pusit Pookmanee

ABSTRACT

In this research, the adsorption of heavy metal standard solutions of natural diatomite, modified diatomite and diatomite A, were studied. Natural diatomite was modified with hydrochloric acid by hydrothermal method and the specific characteristics related to the effective adsorption of three diatomites were monitored by determining their chemical composition through X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). Results showed that silicon dioxide (SiO_2) was the main component of three diatomites and was equivalent to 63.31, 56.79 and 82.28 %, respectively. These corresponded with the element composition data through energy dispersive spectrometry (EDS) which showed that the characteristic energy level of silicon (Si) and oxygen (O) were 1.739 and 0.532 keV, respectively. The morphological investigation of diatomites was done by using the scanning electron microscopy (SEM). Results indicated that natural and modified diatomites were generally cylindrical in shape whereas diatomite A was generally round-shaped with average particle size of 11.83, 15.82 and 18.42 μm , respectively, which were in confirmation with the average particle size distribution. Surface area was determined by specific surface area analysis (BET) with values of 54.26, 55.67 and 16.40 m^2/g , respectively. The study on the adsorption of heavy metal standard solutions was determined by atomic absorption spectroscopy (AAS) and results showed that adsorption capacities of cadmium (Cd^{2+}), lead (Pb^{2+}), copper (Cu^{2+}) and zinc (Zn^{2+}) ions of modified diatomite were the highest at 2.527, 0.856, 3.226 and 6.097 mg/g, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อ.ดร.ภูสิต ปุภุมณี ซึ่งรับเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา ได้ให้คำแนะนำในการวางแผนดำเนินการวิจัย ตลอดจนช่วยสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์สำหรับการใช้ในการวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุคนธ์ พานิชพันธ์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำ และเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อ. ดร.ศักดิ์ชัย เสถียรพิระกุล อ.ดร.สุภาพร แสงศรีจันทร์ ผศ.ดร.อรุณิ คงดี กรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนของ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนสนับสนุนของ คณะวิทยาศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่าน และผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ Nanoscience Research Laboratory มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ชุดอุปกรณ์ไฮโดรเทอร์มอลจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณทุก ๆ คนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาการศึกษา

พงศ์เทพ จันทรสันเทียะ

ธันวาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี	1
โลหะหนัก	2
แคดเมียม	2
ตะกั่ว	3
ทองแดง	4
สังกะสี	5
ไดอะทอไมต์	6
หลักการประยุกต์ใช้ไดอะทอไมต์	8
เทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์	9
หลักการของเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรสโกปี	9
หลักการของเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	11
หลักการของเทคนิคการวัดการกระจายพลังงาน ทางสเปกโทรสโกปี	13
หลักการของเทคนิคการวัดขนาดอนุภาค	14
หลักการของเทคนิคการวัดพื้นที่ผิว	15
หลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี	20
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	21
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	21
ขอบเขตของการศึกษา	21
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	22

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
สถานที่ดำเนินการวิจัย	24
ขั้นตอนการทดลอง	24
วิธีการทดลอง	25
การเตรียมสารละลาย	25
การเตรียมไคอะทอไมด์	27
การศึกษาลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิดเอ	33
การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ	35
การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ของไคอะทอไมด์ ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ	38
การตรวจลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ หลังการดูดซับโลหะหนัก	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	40
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมด์	40
การศึกษาลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ	43
การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ	51
การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ของไคอะทอไมด์ ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ	65
การตรวจลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ หลังการดูดซับโลหะหนัก	73
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก การคำนวณ	86
ภาคผนวก ข ประวัติผู้วิจัย	95

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 ลักษณะทางกายภาพของแคดเมียม	2
2 ลักษณะทางกายภาพของตะกั่ว	4
3 ลักษณะทางกายภาพของทองแดง	5
4 ลักษณะทางกายภาพของสังกะสี	6
5 การดูดซับสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ปรับปรุง	40
6 การดูดซับสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ปรับปรุง	40
7 การดูดซับสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ปรับปรุง	41
8 การดูดซับสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ปรับปรุง	41
9 สภาวะที่ใช้ในการปรับปรุงไคอะทอไมต์	42
10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายเมื่อใช้ไคอะทอไมต์ดูดซับสารละลาย มาตรฐานโลหะหนักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	43
11 สภาวะการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์	43
12 องค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ	44
13 สภาวะการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	45
14 สภาวะการทำงานของเครื่องวัดการกระจายพลังงาน	46
15 สภาวะการทำงานของเครื่องวัดขนาดอนุภาค	48
16 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ ชนิด เอ	49
17 สภาวะการทำงานของเครื่องวัดพื้นที่ผิว	50
18 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ ชนิด เอ	50
19 สภาวะการทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์	51

ตาราง	หน้า
20 การดูดซับสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	53
21 การดูดซับสารละลายตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	53
22 การดูดซับสารละลายทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	54
23 การดูดซับสารละลายสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	54
24 การดูดซับสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	56
25 การดูดซับสารละลายตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	57
26 การดูดซับสารละลายทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	57
27 การดูดซับสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	58
28 ความเข้มข้นสารละลายแคลเซียมที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายแคลเซียมที่ถูกดูดซับ ของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายแคลเซียมความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ	60
29 ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายตะกั่วที่ถูกดูดซับ ของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายตะกั่วความเข้มข้นต่าง ๆ	61
30 ความเข้มข้นสารละลายทองแดงที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายทองแดงที่ถูกดูดซับ ของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายทองแดงความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ	61
31 ความเข้มข้นสารละลายสังกะสีที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายสังกะสีที่ถูกดูดซับ ของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายสังกะสีความเข้มข้นต่าง ๆ	62
32 แสดงร้อยละของอ็อกซิเจน โลหะหนัก 4 ชนิด	64
33 ค่าความจุของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก	65
34 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายแคลเซียม เข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	66

ตาราง	หน้า
35 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายตะกั่ว เข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	66
36 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายทองแดง เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	67
37 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายสังกะสี เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	67
38 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายแคลเซียม เข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	69
39 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายตะกั่ว เข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	70
40 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายทองแดง เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	70
41 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐาน สังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	71

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	(ก) ลักษณะสัณฐานวิทยาของไคอะทอม	7
	(ข) ลักษณะของไคอะทอไมต์จากธรรมชาติ	7
	(ค) ลักษณะของไคอะทอไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงเพื่อใช้เป็นตัวช่วยกรอง	7
2	ลักษณะโครงสร้างที่ผิวของไคอะทอไมต์	9
3	ชุดไฮโดรเทอร์มอล	9
4	การเกิดรังสีเอ็กซ์จากการระดมยิงวัตถุด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง	10
5	ส่วนประกอบของ XRF	10
6	การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	12
7	ส่วนประกอบของ EDS	13
8	การเกิดฟลักในการหาขนาดอนุภาคโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของแสง	15
9	ส่วนประกอบของเครื่องวัดขนาดอนุภาค	15
10	ไอโซเทอร์มการดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของอนุภาค	16
11	การดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของอนุภาคตามทฤษฎี ของ BET	17
12	กราฟที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET	18
13	ส่วนประกอบของเครื่องวัดพื้นที่ผิว	19
14	ส่วนประกอบของ AAS	20
15	ส่วนประกอบของหลอด Hollow Cathode Lamp	20
16	SEM และ EDS ของเกล็ดลอยที่มีส่วนประกอบเป็นอะลูมิเนียม-ซิลิเกต	23
17	แผนผังการเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก	27
18	แผนผังการปรับปรุงไคอะทอไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก	30
19	แผนผังการสร้างกราฟมาตรฐานด้วยเทคนิค AAS	31
20	แผนผังการวัดค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิค AAS	32
21	แผนผังการเตรียมไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงและไคอะทอไมต์ชนิด เอ	32
22	แผนผังการเตรียมไคอะทอไมต์เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมี	33
23	แผนผังการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค	34
24	แผนผังการหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาค	34
25	แผนผังการหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน	35

ภาพ	หน้า
26	แผนผังการเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก
27	แผนผังการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับโลหะหนัก
28	แผนผังการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก
29	แผนผังการเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์
30	แผนผังการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์
31	SEM ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
32	SEM ของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
33	SEM ของไคอะทอไมต์ชนิด เอ ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
34	EDS ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
35	EDS ของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
36	EDS ของไคอะทอไมต์ชนิด เอ ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก
37	การกระจายขนาดอนุภาคของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ
38	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม จากเครื่อง AAS
39	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว จากเครื่อง AAS
40	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานทองแดง จากเครื่อง AAS
41	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสังกะสี จากเครื่อง AAS
42	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ
43	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ
44	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ
45	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ
46	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ
47	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

ภาพ		หน้า
48	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	59
49	กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	59
50	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 40-160 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด	62
51	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 10-60 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด	63
52	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 80-200 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด	63
53	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100-600 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ ทั้ง 3 ชนิด	63
54	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	67
55	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	68
56	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	68
57	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ	68
58	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	71
59	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	72
60	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	72
61	กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ	72

ภาพ		หน้า
62	SEM ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการดูดซับสารละลายโลหะหนัก	73
63	SEM ของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง หลังการดูดซับสารละลายโลหะหนัก	73
64	SEM ของไคอะทอไมต์ชนิด เอ หลังการดูดซับสารละลายโลหะหนัก	74
65	EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคลเซียม	74
66	EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว	75
67	EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง	75
68	EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี	76

บทที่ 1

บทนำ

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

ในปัจจุบันการพัฒนาด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมของประเทศไทย มีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ส่วนหนึ่งของความเจริญก้าวหน้าเป็นผลมาจากการทดลองค้นคว้าในห้องปฏิบัติการ การทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมีและชีววิทยา จำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายชนิด ก่อให้เกิดของเสียอันตราย นอกจากนี้การเรียนการสอนการวิจัยค้นคว้าหาวิธีการใหม่ ๆ ต่างก่อให้เกิดของเสียจากห้องปฏิบัติการ ของเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการของสถานศึกษานั้นเกิดจากการปฏิบัติการซึ่งถือเป็นประสบการณ์การเรียนรู้ที่สำคัญของผู้เรียนในสายวิทยาศาสตร์ทุกสาขา ในการทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จะต้องใช้สารเคมี ซึ่งมีปริมาณการใช้สารเคมีค่อนข้างมากและมีความหลากหลายในการใช้สารเคมี กากของเสียจากห้องปฏิบัติการประกอบด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่มีสารพิษอันตราย ของเสียจากห้องปฏิบัติการที่เป็นของเหลวมักจะถูกปล่อยไปยังบ่อเกรอะของระบบบำบัดน้ำเสียและลงสู่บ่อพัก หรือปล่อยลงสู่รางระบายน้ำโดยตรง ส่วนของเสียที่เป็นของแข็งมักถูกทิ้งรวมกับขยะอื่น ๆ และนำไปทิ้งรวมกับขยะมูลฝอยของชุมชน เมื่อฝนตกจะเกิดการชะหรือละลายสารพิษเหล่านี้กระจายไปบนผิวดินลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินและแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งจะเป็นอันตราย ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเกิดการกระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบการกำจัดของเสียทางเคมีที่เป็นอันตราย (เขาวลัทธิ, 2547) จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า ของเสียจากห้องปฏิบัติการมีมากและเป็นอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเสียที่เป็นโลหะหนัก (พรพรรณ, 2549) ซึ่งคำนิยามของโลหะหนักคือโลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมปรอท นิกเกิล สังกะสี และทองแดง เป็นต้น โลหะหนักนับวันยิ่งจะมีอัตราการถ่ายเทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น โลหะเหล่านี้บางชนิดร่างกายไม่ต้องการ ในขณะที่บางชนิดจำเป็นต่อร่างกาย แต่ถ้าหากร่างกายได้รับโลหะหนักเหล่านี้ในปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดสารพวกนี้เพื่อไม่ให้สารพวกนี้ออกสู่สภาวะแวดล้อม (วิรัช , 2548)

แนวทางในการบำบัดของเสียจากแหล่งต่าง ๆ ที่กล่าวมามีหลายวิธีด้วยกัน (สันทนต์, 2543) ยกตัวอย่าง เช่น การตกตะกอนทางเคมี การกรอง การแยกโดยการแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซับด้วยตัวดูดซับ เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจศึกษา คือ การดูดซับโลหะหนักปริมาณน้อย ๆ ด้วยตัวดูดซับ

และกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ (ดาร์แรตน์, 2547) หลักการก็คือ การใช้ตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง โครงสร้างมีรูพรุน มีพื้นที่ผิวมาก ตัวอย่าง เช่น ถ่านกัมมันต์ ดิน เหล็กออกไซด์ ซีโอไลต์ และแอคติเวทคาร์บอน เป็นต้น โดยสมบัติสำคัญจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางเคมี สภาพขั้ว และพื้นที่ผิว แอคติเวทคาร์บอนเป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันเพราะมีคุณภาพดีแต่มีราคาแพง การเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูกจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษา ในการวิจัยนี้ได้นำไดอะทอมไมต์ (diatomite) ซึ่งมีราคาถูกมาปรับปรุงเพื่อการดูดซับโลหะหนัก

โลหะหนัก

แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว สูตรเคมีของตะกั่วคือ Cd โดยมีหมายเลขอะตอม 48 และน้ำหนักอะตอม 112.411 กรัม/โมล มีคุณสมบัติ เบา อ่อน ดัดโค้งได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน (ชัยวัฒน์, 2525) มีค่า LD₅₀ 225 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (รพีพร, 2548) แคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริก (HNO₃) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจาง โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น แคดเมียมซัลเฟต (CdSO₄) แคดเมียมไนเตรด (Cd(NO₃)₂) แคดเมียมคลอไรด์ (CdCl₂) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ

ตาราง 1 ลักษณะทางกายภาพของแคดเมียม

คุณสมบัติ	ลักษณะทางกายภาพ
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	8.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของของเหลว	7.996 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	594.22 องศาเซลเซียส (321.07 องศาเซลเซียส)
จุดเดือด	1,040 องศาเซลเซียส (767 องศาเซลเซียส)
ความร้อนของการหลอมเหลว	6.21 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	99.87 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 องศาเซลเซียส) 26.020 จูล/(โมล·เคลวิน)

ประโยชน์ของแคดเมียม

- ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน
- ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม
- ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา ที่ใช้ในการเกษตร
- ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ เป็นต้น
- ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แพลตถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็ก ๆ เป็นต้น

ความเป็นพิษของแคดเมียม

เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระเพาะอาหาร แล้วแพร่กระจายไปที่ตับ ม้ามและลำไส้ แม้ได้รับปริมาณน้อยแต่ต่อเนื่องแคดเมียมจะถูกสะสมไว้ที่ไต จากการให้หนูบริโภคอาหารที่มีแคดเมียมพบว่าการลดระดับของอินซูลินในตับอ่อน ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ กรณีของคนการบริโภคอาหารหรือฝุ่นที่ปนเปื้อนแคดเมียมปริมาณสูงจะทำให้หายใจติดขัด เชื้อปอดถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย เจ็บหน้าอก โลหิตจางเรื้อรัง ไตพิการ ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจเสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิตา-อิตา (Itai Itai disease)

ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะหนัก สีเทาวาว สีจะจางลงเมื่อถูกอากาศขึ้น สูตรเคมีของตะกั่วคือ Pb โดยมีหมายเลขอะตอม 82 และน้ำหนักอะตอม 207.2 กรัม/โมล มีค่า LD_{50} 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อบริโภคตะกั่วจะอ่อนจนใช้เล็บขูดเข้า สามารถทำให้โค้งงอและตีเป็นแผ่นได้ มีความเหนียว (malleability) และความลื่น (lubricity) ดี ชัดกระดากติดเป็นสีเทา และมีความคงทนต่อการกัดกร่อนตามธรรมชาติ และการกัดกร่อนของกรดได้ดี

ประโยชน์ของตะกั่ว

เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โลหะบัดกรีใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์และแผงวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้

โลหะตะกั่วในโรงชุบเคลือบเหล็กด้วยสังกะสี กระดาษตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระสุนปืน สะพานไฟฟ้า ทำผนังกันรังสีในเครื่องหรือห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปฏิกิริยาปรมาณู

ตาราง 2 ลักษณะทางกายภาพของตะกั่ว

คุณสมบัติ	ลักษณะทางกายภาพ
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	11.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของของเหลว	10.66 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	600.61 องศาเซลเซียส (327.46 องศาเซลเซียส)
จุดเดือด	2,022 องศาเซลเซียส (1,749 องศาเซลเซียส)
ความร้อนของการหลอมเหลว	4.77 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	179.5 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 องศาเซลเซียส) 26.650 จูล/(โมล·เคลวิน)

ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่มักจะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดง หมุนเวียนไปกับกระแสเลือดกระจายไปทั่วร่างกายสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ โดยสะสมมากที่สุดที่ไต โดยตะกั่วรวมตัวกับโปรตีนของเซลล์ภายในไต ทำให้หลอดไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ ตะกั่วยังมีผลต่อดับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ ไคโรโมโซม และเป็นสารชักนำให้เกิดมะเร็งและความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย (ณรงค์ศักดิ์, 2542)

ทองแดง (Cu)

ธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 29 สัญลักษณ์คือ Cu มีน้ำหนักอะตอม 63.546 กรัม/โมล มีค่า LD₅₀ 472 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทองแดงเป็นโลหะที่ใช้ประโยชน์และมีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรมเป็นที่สองรองจากเหล็ก ปริมาณทองแดงจำนวนมากครั้งหนึ่งที่ผลิตได้ในโลกใช้ในกิจการอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่น ทำสายไฟฟ้า ลวดที่ใช้ในกิจการไฟฟ้าและใช้เป็นสื่อนำความร้อน ทองแดงเป็นโลหะที่ทนต่อการสึกกร่อนตามธรรมชาติได้ดีมาก (schoolnet, no date)

ประโยชน์ของทองแดง

1. ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ

2. ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
3. ใช้ในการผลิตหม้อต้ม น้ำ กาน้ำ ถังน้ำ ท่อน้ำ และขดลวด กัดมันน้ำร้อน ฯลฯ
4. ใช้เคลือบผิวของโลหะ
5. ใช้ทำโลหะเจือทองเหลือง (brass) คือโลหะเจือของทองแดง (70 %) และสังกะสี (30 %)

ตาราง 3 ลักษณะทางกายภาพของทองแดง

คุณสมบัติ	ลักษณะทางกายภาพ
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น	8.96 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของของเหลว	8.02 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1,357.77 องศาเซลเซียส (1,084.62 องศาเซลเซียส)
จุดเดือด	2,835 องศาเซลเซียส (2,562 องศาเซลเซียส)
ความร้อนของการหลอมเหลว	13.26 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	300.4 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 องศาเซลเซียส) 24.440 จูล/(โมล·เคลวิน)

ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายเราต้องการในปริมาณเล็กน้อย เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัม/วัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100 – 150 มิลลิกรัม ซึ่งทองแดงจำนวนนี้ มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเราก็มีทองแดงอยู่ด้วย นอกจากนี้การสังเคราะห์เอนไซม์หลายชนิดต้องอาศัยทองแดงด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะให้โทษและเป็นพิษได้ เช่น คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 27 กรัม ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้ จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชา และต่ำลัก

สังกะสี (Zn)

คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 30 สัญลักษณ์คือ Zn และน้ำหนักอะตอม 65.409 กรัม/โมล มีค่า LD_{50} 267 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ชื่อในภาษาอังกฤษมาจากภาษาเยอรมันว่า Zink เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเป็นโลหะที่มีความสำคัญเป็นลำดับ 4 รองจากเหล็กกล้า อะลูมิเนียมและทองแดง

ประโยชน์ของสังกะสี

1. ใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะเจือ เช่นกับทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al)
2. ใช้เคลือบผิว (galvanizing) เหล็กกล้าเพื่อป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า
3. ใช้เติมในยางและสี
4. ใช้เป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ ไฟล์ไฟฟ้า อะไหล่ของเซลล์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย

ตาราง 4 ลักษณะทางกายภาพของสังกะสี

คุณสมบัติ	ลักษณะทางกายภาพ
เฟส	ของแข็ง
ความหนาแน่น	7.14 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของของเหลว	6.57 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	692.68 องศาเซลเซียส (419.53 องศาเซลเซียส)
จุดเดือด	1,180 องศาเซลเซียส (907 องศาเซลเซียส)
ความร้อนของการหลอมเหลว	7.32 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	123.6 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 องศาเซลเซียส) 25.390 จูล/(โมล·เคลวิน)

ความเป็นพิษของสังกะสี

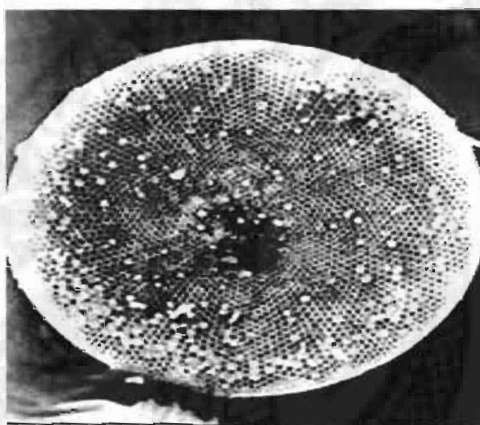
สังกะสีในรูปธาตุไม่ปรากฏเป็นพิษ และตามความเป็นจริงแล้ว สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคนและสัตว์ แต่สารประกอบหลายชนิดอาจเป็นพิษ แต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว สังกะสีในรูปผงอาจติดไฟโดยตนเองและเกิดการระเบิดได้ (พรรณนา, 2526)

ไดอะทอมไมต์ (Diatomite)

มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ดินเบา (กรมทรัพยากรธรณี, ม.ป.ป.) มีต้นกำเนิดจากสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมาก เรียกว่า ไดอะทอม (diatom) พวกแบคทีเรีย (bacillaria) ที่ลอยตัวอยู่อย่างมากมายทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ม.ป.ป.) ซึ่งตัวไดอะทอมขณะที่ยังมีชีวิตอยู่สามารถแยกซิลิกาออกจากของเหลว แล้วนำมาสร้างเปลือกแข็งหุ้มตัวซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกาที่มีรูพรุน (amorphous opaline silica) มีสูตรเคมีเป็น $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ มีโครงสร้างแข็งแต่เปราะ มีรูพรุน เมื่อไดอะทอมตายจะตกสู่ท้องน้ำสะสมทับถมกัน

ส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุจะสลายไป คงเหลือแต่เปลือกที่เป็นซิลิกาสะสมจับตัวกันแน่นเข้าและมีปริมาณมากๆ กลายเป็นแหล่งดินเบาหรือที่เรียกว่า ไคอะทอมาเซียสเอิร์ธ (diatomaceous earth)

ไคอะทอไมด์มีลักษณะเป็นดินซุย เบา เนื้อพรุน รูปร่างและขนาดต่างกันตั้งแต่ 5 ถึง 1000 ไมครอน คล้ายขอล็ก มีปฏิกิริยาทางเคมีเฉื่อยช้า ละลายได้ในด่างแก่และกรดกัดแก้ว แต่ไม่ละลายในกรดชนิดอื่น เป็นตัวนำความร้อนที่เลว มีคุณสมบัติที่ยอมให้ของไหลซึมผ่านได้ ซึ่งสมบัติส่วนใหญ่จะแตกต่างกันตามแหล่งที่พบ นอกจากนี้ในแหล่งเดียวกันก็ยังอาจแตกต่างกันตามระดับความลึกอีกด้วย (ปวิตรา, ม.ป.ป.)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 1 (ก) ลักษณะสัณฐานวิทยาของไคอะทอม

(ข) ลักษณะของไคอะทอไมด์จากธรรมชาติ

(ค) ลักษณะของไคอะทอไมด์ที่ผ่านการปรับปรุงเพื่อใช้เป็นตัวช่วยกรอง

ที่มา: Karadeniz Gunes Mining Co, Ltd. (2006)

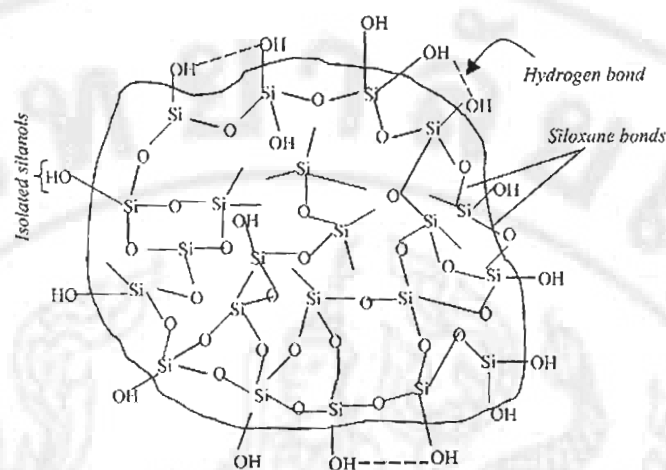
ไคอะทอไมด์ผลิตมากที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกา โรมาเนีย รัสเซีย ฝรั่งเศส และประเทศอื่นๆ แหล่งไคอะทอไมด์ในประเทศไทยเท่าที่พบจะจำกัดอยู่ในจังหวัดลำปางเท่านั้น โดย

จะพบเป็นแหล่งเล็กใหญ่กระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในแอ่งลำปางและแอ่งเล็ก ๆ ใกล้เคียง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตอำเภอเมืองลำปาง อำเภอแม่ทะ อำเภอกะคา บ้านแม่กัว อำเภอสบปราบ และบ้านทุ่งตุ่น ตำบลวอแก้ว อำเภอห้างฉัตร เป็นต้น (กาญจนะ, 2545) ประโยชน์ของไคอะทอไมต์ คือ ใช้เป็นส่วนผสมในการทำกระดาสาเพื่อให้เนื้อกระดาแน่นเนียน เป็นฉนวน เป็นสารที่ใช้ในการกรองได้ดี เช่น ตัวกรองในอุตสาหกรรมต้มกลั่น กรองน้ำตาลและสารกรองอื่น ๆ ทำปูนขาว ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ใช้ขัดภาชนะโลหะได้ดีเพราะมีซิลิกาขนาดเล็กละเอียดอยู่ในเนื้อ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวดูดซับ หรือฉนวนในการทำระเบิดไคนาไมต์ด้วย

หลักการประยุกต์ใช้ไคอะทอไมต์

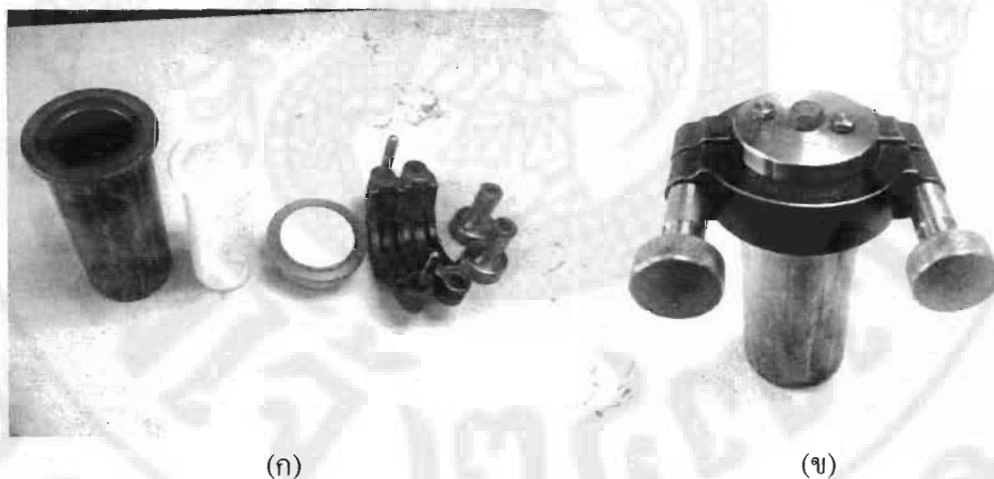
แนวความคิดในการนำเอาไคอะทอไมต์ ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศ มาพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย นับได้ว่าเป็นการช่วยรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรอีกทางหนึ่ง ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวดูดซับของไคอะทอไมต์ สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ (นภัสต์, 2548)

การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ สามารถทำได้โดยการปรับปรุงผิวของไคอะทอไมต์ ให้เหมาะสำหรับการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียห้องปฏิบัติการ ตามธรรมชาติไคอะทอไมต์ ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มีประจุที่ผิวเป็นลบ (Al-Ghouti, M.A. et al., 2003) (มีทั้งประจุบวกและลบ แต่มีประจุลบมากกว่าจึงมีประจุมรวมเป็นลบ) จึงสามารถดูดซับประจุบวกของโลหะหนักทั้งหลายได้ (Tsalakanido, 2006) ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับสมบัติเฉพาะตัวของไคอะทอไมต์แต่ละแหล่ง เช่น ความพรุน ความบริสุทธิ์ และความแรงของประจุ เป็นต้น ในการศึกษาจะทำการเพิ่มความบริสุทธิ์ของไคอะทอไมต์ โดยการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง (สุคนธ์, 2549) ด้วยชุดไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) จากนั้นจะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยคำนึงถึงผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) เปรียบเทียบกับไคอะทอไมต์ที่ยังไม่ได้ปรับปรุง



ภาพ 2 ลักษณะ โครงสร้างที่ผิวของไดอะทอมไมต์

ที่มา: Al-Ghouti et al. (2003)



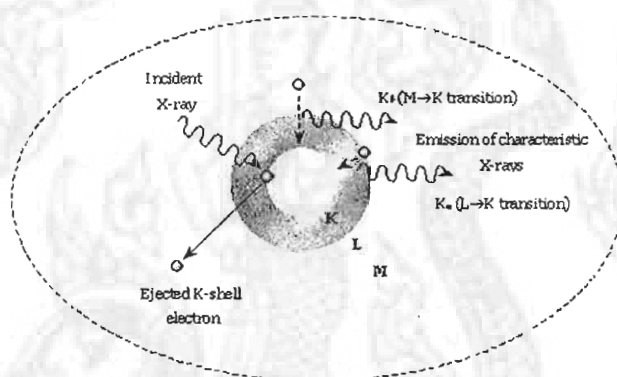
ภาพ 3 ชุดไฮโดรเทอร์มอล (ก) แยกส่วนประกอบ (ข) สภาพใช้งาน

เทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

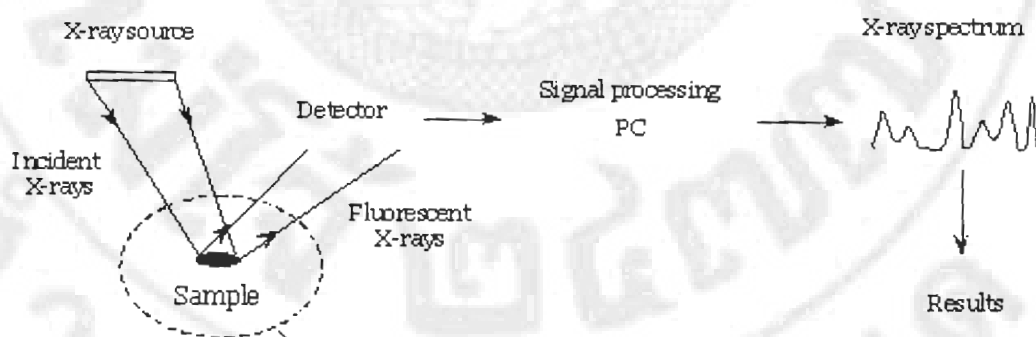
หลักการของเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโกปี (Principle of X-Ray Fluorescence Spectroscopy, XRF)

(แม่น และ อมร, 2539) รังสีเอ็กซ์เกิดจากการระดมยิงวัตถุ เช่น โลหะ ด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง เช่น อิเล็กตรอน โปรตรอน หรือโฟตอน อิเล็กตรอนของอะตอมที่ถูกกระทบจะหลุดออกจากเชลล์ (shell) เมื่อเกิดที่ว่างขึ้นอิเล็กตรอนที่อยู่เชลล์นอกที่มีพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ และจะทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์ขึ้น ดังแสดงในภาพ 4 (XRF Laboratory, no date)

เมื่อนำรังสีนี้ไปทำอันตรกิริยากับสารทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น เกิดการเปล่งแสง (emission) การดูดกลืน (absorption) การกระเจิง (scattering) และการเลี้ยวเบน (diffraction) เป็นต้น ปรากฏการณ์เหล่านี้เป็นสมบัติเฉพาะของสารที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ทางเคมี เช่น การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุ การศึกษาโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างผลึกหรือโมเลกุล ส่วนประกอบของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ ดังแสดงในภาพ 5



ภาพ 4 การเกิดรังสีเอกซ์จากการกระตุ้นด้วยอนุภาคที่มีพลังงานสูง



ภาพ 5 ส่วนประกอบของ XRF

ส่วนประกอบของ XRF ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 5 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray source)
 - ใช้หลอดรังสีเอกซ์
 - รังสีเอกซ์ได้จากธาตุกัมมันตรังสี (radioactive source)
2. คอลลิมิเตอร์ (collimator)

ทำหน้าที่บังคับให้ลำรังสีเอกซ์เป็นลำขนาน และทำให้โฟกัสไปในทิศทางที่

ต้องการ

3. บริเวณที่ใส่สารตัวอย่าง (sample chamber)

เทคนิคนี้มีข้อได้เปรียบกว่าเทคนิคอื่นตรงที่สามารถทำการวิเคราะห์โดยตรงกับสารตัวอย่างประเภทต่าง ๆ ทั้งของแข็งและของเหลว

4. ตัวตรวจวัด (detector)

- ก๊าซไอออนไนเซชัน ดีเทคเตอร์ (gas ionization detector)
- ซินทิลเลชัน ดีเทคเตอร์ (scintillation detector)
- เซมิคอนดักเตอร์ ดีเทคเตอร์ (semiconductor detector)

5. มัลติเชนเนล อะนาไลเซอร์ (multichannel analyzer)

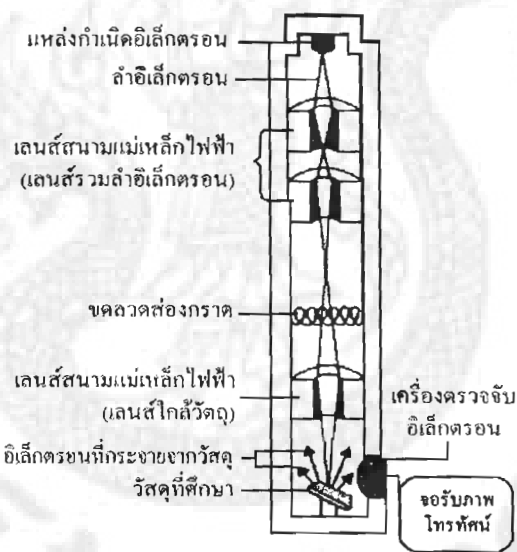
ทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณที่ได้จากดีเทคเตอร์และเขียนเป็นกราฟ จะได้เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม

หลักการของเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Principle of Scanning Electron Microscopy, SEM)

(อิทธิพล, 2550) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวมแสง (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอนซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสโดยเลนส์วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาและกราดในระนาบ x และ y หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพต่อไป

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) เมื่อลำอิเล็กตรอนพุ่งเข้าชนชิ้นงานจะถ่ายเทพลังงานให้อะตอมในสารตัวอย่าง ซึ่งหากพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอม อิเล็กตรอนก็จะหลุดออกจากอะตอมกลายเป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ซึ่งสัญญาณชนิดนี้มีความสำคัญมากในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากโอกาสการเกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะขึ้นอยู่กับความลึกที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิที่พุ่งชนสามารถเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงาน หากอิเล็กตรอนปฐมภูมิสามารถแทรกผ่านชิ้นงานได้ลึก โอกาสเกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิก็จะน้อยลง ดังนั้นอิเล็กตรอนทุติยภูมิส่วนใหญ่จะเกิดจากบริเวณพื้นผิวของชิ้นงาน

เครื่องตรวจจับอิเล็กตรอน (electron detector) หัววัดสัญญาณอิเล็กตรอนจะเลือกเฉพาะสัญญาณที่ต้องการ เนื่องจากบริเวณผิวจะมีสัญญาณที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอะตอมของชิ้นงานและอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนหลายชนิด หากสัญญาณที่ต้องการนำไปสร้างภาพคืออิเล็กตรอนทุติยภูมิ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ จะถูกดึงด้วยสนามไฟฟ้าจากหัววัดสัญญาณ ซึ่งอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะมีพลังงานต่ำจึงเคลื่อนที่อยู่บริเวณผิวของชิ้นงาน เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนเข้าสู่หัววัดสัญญาณจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่เข้าชนซินทิลเลเตอร์ (scintillator) ทำมาจากแคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) ทำให้เกิดโฟตอนซึ่งจะถูกส่งไปตามช่องนำแสง (light guide) เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและนำไปขยายสัญญาณต่อไป (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ม.ป.ป.)



ภาพ 6 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

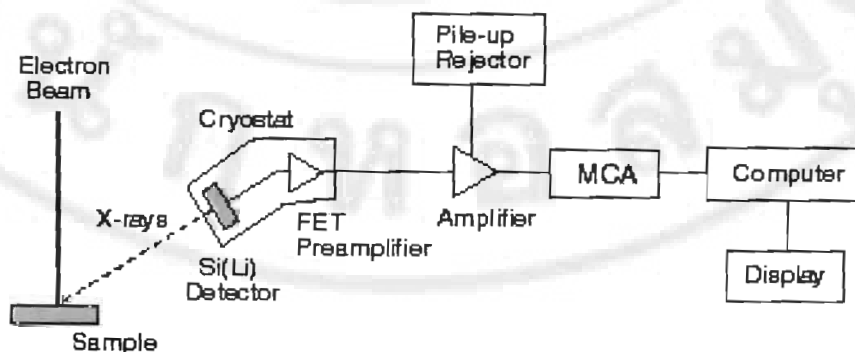
การเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิตกกระทบผิวชิ้นงานจะทำให้เกิดผลจากอันตรกิริยาต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว หัววัดสัญญาณจะตรวจวัดสัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้น เช่น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ หรือ อิเล็กตรอนกระเจิงย้อนกลับ (backscattered electron) และนำสัญญาณไปแสดงบนจอร์ับภาพชนิดซีอาร์ที (Cathode Ray Tube, CRT) โดย SEM จะมีระบบชุดขดลวดส่องกราด (scanning coil) ซึ่งเป็นขดลวดที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กสำหรับควบคุมการกราดของลำอิเล็กตรอน ไปบนผิวของชิ้นงาน ซึ่งสัญญาณที่ควบคุมการกราดของลำอิเล็กตรอนนี้จะทำงานเข้าจังหวะกับชุดควบคุมการแสดงตำแหน่งบนจอภาพ แบบจุดต่อจุด ปริมาณของสัญญาณอิเล็กตรอนจะถูกนำไปควบคุมความมืดความสว่างบนจอ

เนื่องจากพื้นที่ในการกราดลำอิเล็กตรอนบนชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่แสดงผลบนจอภาพ ดังนั้นเราจะได้กำลังขยายของกล้อง SEM คือ กำลังขยายเท่ากับพื้นที่แสดงภาพบน CRT หารด้วยพื้นที่กราดลำอิเล็กตรอน

สำหรับความละเอียดของภาพจะขึ้นอยู่กับความเร็วของการกราดลำอิเล็กตรอน ถ้าใช้ความเร็วในการกราดมีค่าสูงก็จะทำให้ภาพมีความละเอียดต่ำ และหากใช้ความเร็วในการกราดลำอิเล็กตรอนต่ำก็จะทำให้ภาพมีความละเอียดสูง ซึ่งเราสามารถควบคุมความเร็วของการกราดลำอิเล็กตรอนด้วยขดลวดส่องกราด (scanning coil)

หลักการของเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรสโกปี (Principle of Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)

(รุจิพร, 2538) เป็นการวัดค่าการกระจายพลังงานของธาตุเนื่องจากการปล่อยรังสีเอ็กซ์ โดยการใช้ลำแสงอิเล็กตรอนยิงเข้าไปที่อะตอมของธาตุจะมีอิเล็กตรอนหลุดออกมาเนื่องจากการชนและอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นถัดไปจะเข้ามาอยู่แทนที่ ในการเข้ามาแทนที่ก็จะปล่อยรังสีเอ็กซ์ออกมาซึ่งความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกมาจะขึ้นกับลักษณะเฉพาะของอะตอมแต่ละชนิด ในการการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะใช้การอ่านค่าพลังงานของรังสีเอ็กซ์บนสเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่ตรวจวัดได้ ซึ่ง จะรายงานค่าความเข้มของรังสีบนแกนตั้งและค่าพลังงานของรังสีบนแกนนอน พลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาเนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุหนึ่ง ๆ จะมีความเฉพาะเจาะจง แยกแยะจากของธาตุอื่น ๆ ได้แม้ว่าจะมีการซ้อนทับกันของตำแหน่งพีก แต่ส่วนใหญ่สามารถทราบได้ว่ามีธาตุใดเป็นส่วนประกอบ โดยพิจารณาจากตำแหน่งและความเข้ม ของพีกข้างเคียง ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องวัดการกระจายพลังงานแสดงดังในภาพ 7



ภาพ 7 ส่วนประกอบของ EDS

ที่มา: Thermo scientific Co. Ltd., (no date)

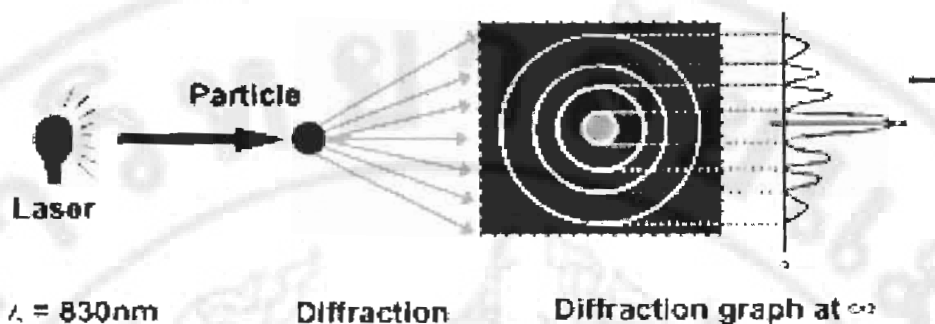
ส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดการกระจายพลังงานประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. ตัวตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (X-ray detector) ทำหน้าที่ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากตัวอย่างและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า (electronic signal)
2. ส่วนประมวลสัญญาณ (pulse processor) ทำหน้าที่ประมวลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับเป็นพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่ตรวจจับได้
3. ส่วนวิเคราะห์ผล (analyzer) ทำหน้าที่วิเคราะห์และแสดงผล

ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณนิยมทำโดยวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารมาตรฐาน (อาจเป็นธาตุบริสุทธิ์ หรือของผสมที่ทราบส่วนประกอบแน่นอน) เปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่าง การวัดต้องทำที่สภาวะของลำอิเล็กตรอนและสภาวะอื่น ๆ ภายในกล้องจุลทรรศน์เหมือนกัน

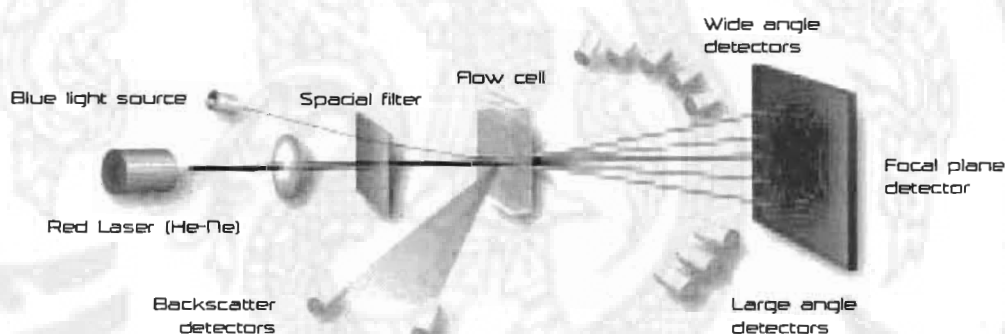
หลักการของเทคนิคการวัดขนาดอนุภาค (Principle of Particle Size Analysis)

(Malvern Co. Ltd., No date) เมื่อแสงเดินทางผ่านอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของไหลจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ การกระเจิงของแสง แสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะมีรูปแบบของความเข้มที่มุมต่าง ๆ ที่เป็นรูปแบบเฉพาะโดยจะมีความเข้มของแสงสูงที่มุมกระเจิงเฉพาะมุมหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และความถี่ของคลื่นแสง สมบัติการกระเจิงของอนุภาคสามารถใช้ในการคำนวณหาการกระจายขนาดของอนุภาคในกรณีที่เป็นการกระเจิงของแสงโดยไม่สูญเสียพลังงาน (Rayleigh scattering) เครื่องวัดขนาดอนุภาคใช้ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ลำแสงจะถูกขยายขนาดโดยตัวขยายลำแสง (beam expander) แล้วส่องผ่านไปยังอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว ลำแสงที่ถูกกระเจิงโดยอนุภาคจะถูกส่งผ่านไปยังเลนส์รวมแสง (condenser lens) ทำให้เกิดภาพปรากฏเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบฟาร์ฟิลด์ (far field diffraction pattern) ที่ตัวตรวจจับเซลล์แสง (photocell detector) ซึ่งวางอยู่บนระยะนาบที่ตั้งฉากกับเส้นเดินของแสงที่จุดโฟกัสรูปแบบการเลี้ยวเบน ที่ได้มีลักษณะเป็นวงมืดและสว่างที่มีความเข้มสัมพันธ์กับการกระจายขนาดอนุภาคเลนส์รวมแสงได้ถูกออกแบบให้มีสมบัติพิเศษ นั่นคือ ไม่ว่าอนุภาคนี้ออกให้เกิดการกระเจิงนั้นจะอยู่บริเวณใดในลำแสงเลเซอร์รูปแบบการเลี้ยวเบนจะไม่เคลื่อนไหว และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกนออปติกของเลนส์เสมอ หรืออีกนัยหนึ่งคือ การเคลื่อนไหวของอนุภาคไม่มีผลต่อรูปแบบการเลี้ยวเบน ยกเว้นกรณีที่มีความเร็วอนุภาคสูงมาก หลักการเกิดฟลักและส่วนประกอบของเครื่องวัดขนาดอนุภาค ดังแสดงในภาพ 8-9



ภาพ 8 การเกิดฟลักในการหาขนาดอนุภาคโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของแสง

ที่มา: Venkateswarlu, (no date)



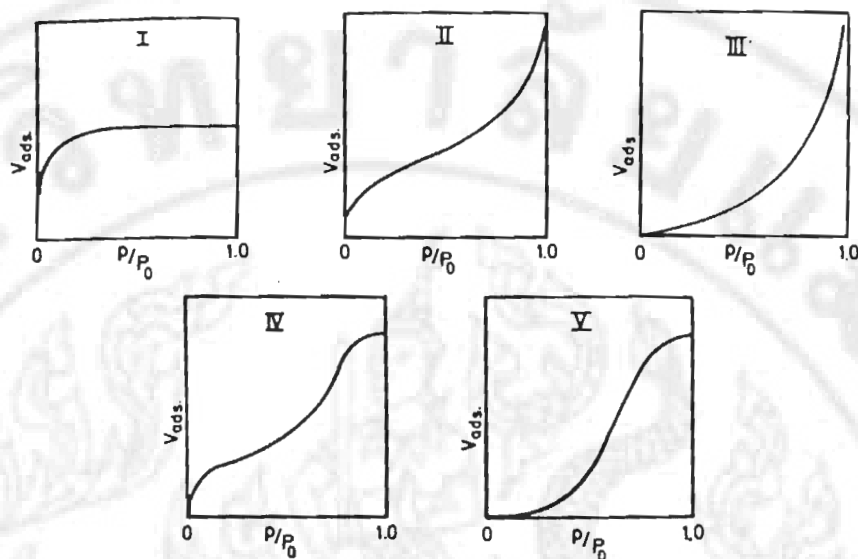
ภาพ 9 ส่วนประกอบของเครื่องวัดขนาดอนุภาค

ที่มา: Malvern Co. Ltd. (no date)

หลักการของเทคนิคการวัดพื้นที่ผิว (Brunauer Emmett Teller theory, BET)

(วีระศักดิ์, 2543) พื้นที่ผิว (surface area) ของสารเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อนำสารนั้นไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การวัดพื้นที่ผิวสามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่จะกล่าวในที่นี้อาศัยการวัดจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (adsorb) ทางกายภาพบนผิวของสาร แล้วนำมาคำนวณเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของสารต่อไป

โดยทั่วไป การดูดซับก๊าซกับอนุภาคพื้นผิวมักเกิดการดูดซับก๊าซ ได้ทั้งทางเคมีและกายภาพ ซึ่งอาจแบ่งออกเป็นไอโซเทอรั่มของการดูดซับออกเป็น 5 แบบ ดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 10 ไอโซเทอร์มการดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของอนุภาค

ไอโซเทอร์มที่ 1 เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อก๊าซเรียงตัวเป็นชั้นเดียวบนผิวของอนุภาค การดูดซับเช่นนี้จะเกิดกับอนุภาคที่มีรูพรุนเล็กมาก ๆ ระดับไมโครพอร์ (microporous) เท่านั้น

ไอโซเทอร์มที่ 2 เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีรูพรุนขนาดโต โดยที่จุดเปลี่ยนของเส้นโค้งจะเกิดขึ้นเมื่อการดูดซับก๊าซชั้นแรกของอนุภาคใกล้สมบูรณ์ และเมื่อความดันเพิ่มก๊าซจะถูกดูดซับไปบนโมเลกุลของก๊าซชั้นแรก และเมื่อเพิ่มความดันไปเรื่อย ๆ การดูดซับจะเกิดเต็มช่องว่างทั้งหมด แต่การดูดซับก๊าซจะเกิดขึ้นได้เรื่อยๆ ถ้าเพิ่มความดัน

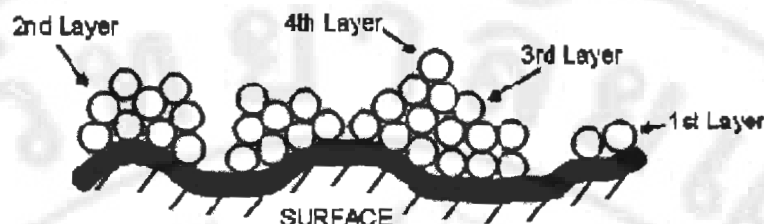
ไอโซเทอร์มที่ 3 เป็นการดูดซับก๊าซและให้ความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่ว่านี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้ก๊าซกลายเป็นของเหลว การดูดซับนี้จะเกิดได้หลายชั้นขึ้นเรื่อย ๆ ปฏิกริยาของชั้นก๊าซเองสูงกว่าปฏิกริยาของก๊าซและอนุภาค

ไอโซเทอร์มที่ 4 เป็นการดูดซับของอนุภาคที่มีรูพรุนในช่วง 15-1000 อังสตรอม โดยความเอียงของเส้นโค้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น แสดงถึงปริมาณก๊าซที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นหลังจากที่รูพรุนดูดซับก๊าซจนเต็มแล้ว

ไอโซเทอร์มที่ 5 เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อปฏิกริยาของก๊าซและอนุภาคต่ำ และก๊าซมีรูพรุนในช่วง 15-1000 อังสตรอม

ทฤษฎีของบรูนเนอร์ เอ็มเมทท์ และเทลเลอร์ (BET)

ได้ศึกษาการดูดซับ (adsorption) ก๊าซไนโตรเจนบนผิวของสารที่อยู่ในสถานะของแข็งที่มีลักษณะเป็นโมเลกุลหลายชั้น (multilayer) ดังแสดงในภาพ 11



ภาพ 11 การดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของอนุภาคตามทฤษฎี ของ BET

ณ ภายใต้อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (standard temperature and pressure, STP) พบว่า ก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) และในขณะเดียวกันก๊าซไนโตรเจนส่วนที่เหลือจะเคลือบบนผิวของสารในลักษณะที่เป็น โมเลกุลหลายชั้น ซึ่งจากผลการศึกษาสามารถเขียนเป็นสมการที่เรียกว่า สมการของ BET (BET equation) แสดงดังสมการ 1

$$1/V [(P_0/P) - 1] = [(1/V_m C)(P/P_0)] + 1/V_{max} \quad \dots\dots\dots[1]$$

โดยที่ P = ความดันของก๊าซที่ใช้ขณะทำการทดลอง (มิลลิเมตรปรอท)

P_0 = ความดันอิ่มตัวของก๊าซที่เป็นตัวถูกดูดซับ (มิลลิเมตรปรอท)

V = ปริมาตรของก๊าซที่ถูกดูดซับทั้งหมดที่ความดัน P (ลูกบาศก์เมตร)

V_m = ปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่หนา 1 ชั้นโมเลกุล เต็มพอดี (ลูกบาศก์เมตร)

C = ค่าคงที่ที่ขึ้นกับพลังงานที่ใช้ในการดูดซับ

จากสมการของ BET สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะของสารได้ โดยนำค่าปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการคลุมผิวของสาร หรือค่า V_m ที่ได้จากสมการ 1 ไปคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้สมการ 2

$$S_{sp} = N_A \cdot a_{max} \cdot S_0 / W \quad \dots\dots\dots[2]$$

โดยที่ S_{sp} = พื้นที่ผิวจำเพาะของสาร (ตารางเมตรต่อกรัม)

N_A = เลขอาโวกาโดร (6.023×10^{23}) (โมเลกุลต่อกรัมโมล)

a_{max} = จำนวน โมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับในสภาวะ 1 ชั้น โมเลกุล หรือเท่ากับ $V_m / 22414$

S_0 = พื้นที่หน้าตัดของโมเลกุลของก๊าซที่ถูกดูดซับ (16×10^{-20}) (ตารางเมตร)

W = น้ำหนักของสารหรือตัวดูดซับ (หน่วยเป็นกรัม)

การคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้ทฤษฎีของ BET

การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของสารสามารถวัดได้โดยวิธีวัดจุดเดียว (single point method) หรือวิธีวัดหลายจุด (multi point method) แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้วิธีวัดหลายจุดเพราะให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำกว่าวิธีวัดจุดเดียว สำหรับวิธีวัดหลายจุดจะใช้ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนในอัตราส่วนตามต้องการ (ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะเป็นปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับ (adsorp) หรือคาย (desorp) ออกจากผิวของสารที่ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละจุดหรือความเข้มข้นของไนโตรเจนไปคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยใช้ทฤษฎีของ BET ตามสมการ 1 ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$Y = a + bX \quad \dots\dots\dots[3]$$

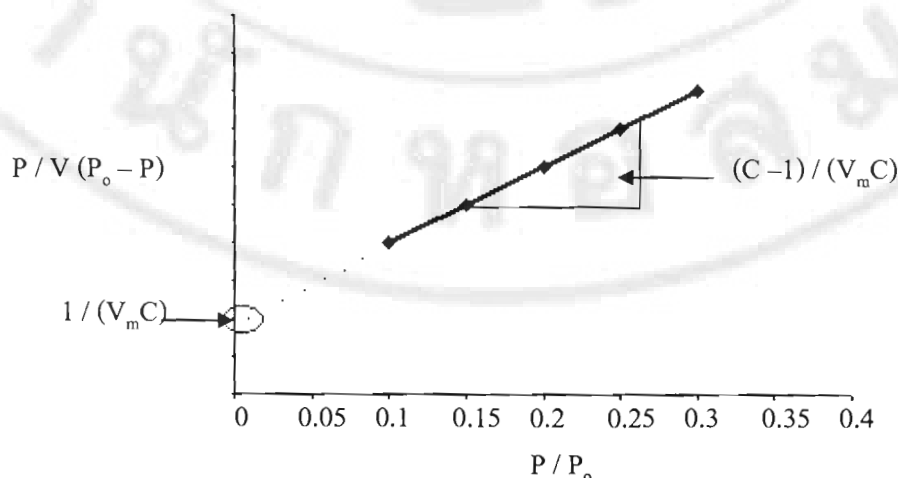
$$\text{โดยที่ } X = P / P_0$$

$$Y = P / V (P_0 - P)$$

$$a = 1 / (V_m C)$$

$$b = (C - 1) / (V_m C)$$

ส่วนตัด (intercept) แกน Y เป็น $1/(V_m C)$ และความชัน (slope) เป็น $(C - 1)/(V_m C)$ และค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนแต่ละค่าที่ใช้ในการวัดสามารถนำไปคำนวณเป็นค่า P/P_0 ได้ ในขณะที่ค่า V เป็นค่าที่ได้จากเครื่อง ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟระหว่าง P/P_0 กับ $P/V (P_0 - P)$ หรือ P/P_0 กับ $[(P/P_0) / V(1 - (P/P_0))]$ ตามสมการ 1 จะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถหาค่า V_m และค่า C ได้จากส่วนแกน Y และความชัน แล้วจึงนำค่า V_m ที่ได้จากกราฟนี้ ดังแสดงในภาพ 12 ไปคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะของสารโดยใช้สมการ 2



ภาพ 12 กราฟที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ BET

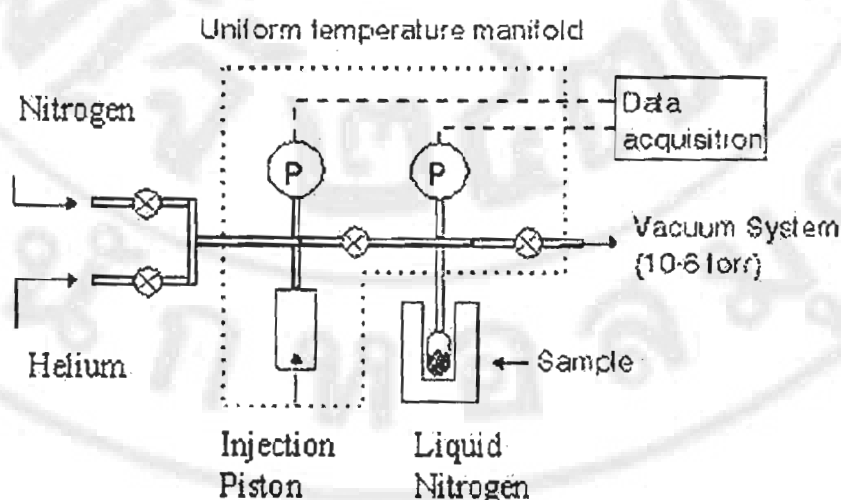
หลักการเบื้องต้นของเครื่องมือที่ใช้หาพื้นที่ผิว

เครื่องมือที่ใช้วัดพื้นที่ผิวจำเพาะ ของอนุภาคจะอาศัยหลักการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซในขณะที่ก๊าซมีการเคลื่อนที่ (dynamic analysis) โดยก๊าซที่เป็นตัวดูดซับ (ก๊าซไนโตรเจน) จะถูกผสมกับก๊าซเฉื่อย (inert gas) เช่น ก๊าซฮีเลียม ในอัตราที่เหมาะสม และในการวัดปริมาตรของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับบนผิวของสารจะอาศัยความแตกต่างของสมบัติด้านการนำความร้อนของแก๊สแต่ละชนิด ทั้งนี้เพราะปริมาณการนำความร้อนของก๊าซแปรผันโดยตรงกับปริมาตรของก๊าซที่ไหลผ่านเซลล์นำความร้อน (thermal conductivity cell) ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ โดยทั่ว ๆ ไป เครื่องจะมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพ 13

ส่วนประกอบของเครื่องวัดพื้นที่ผิว ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

1. ตัวจ่ายก๊าซ (gas supplier)
2. เครื่องควบคุมการไหล (flow controller) ของก๊าซ
3. ระบบใส่ตัวอย่าง
4. เซลล์นำความร้อน

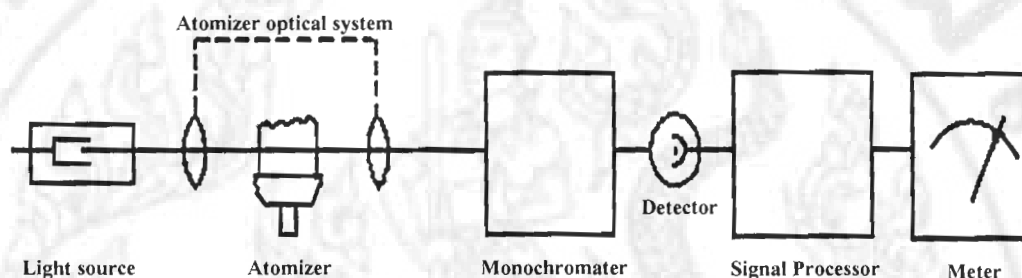
ก่อนที่จะทำการวัดพื้นที่ผิวของสาร สิ่งสำคัญที่ควรคำนึง คือสารที่ใช้ในการวัดต้องแห้งและปราศจากสิ่งปนเปื้อนที่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าพื้นที่ผิวของสารที่ได้นั้นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงต้องทำการไล่ก๊าซ (degassing) ออกจากสารก่อนทุกครั้งที่จะนำมาวัด



ภาพ 13 ส่วนประกอบของเครื่องวัดพื้นที่ผิว

หลักการของเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมทรี (Principle of Atomic Absorption Spectrometry, AAS)

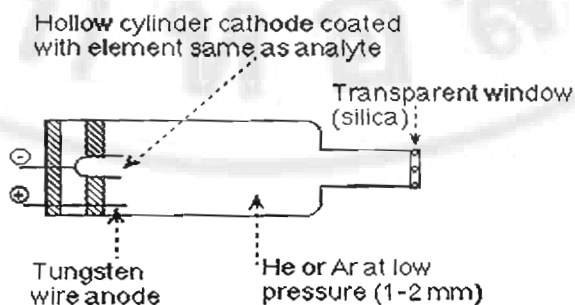
เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุถูกดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ในการทำให้อะตอมของธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป เช่น ความร้อนจากเปลวไฟ ความร้อนจากไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพ 14 ส่วนประกอบของ AAS

ส่วนประกอบของอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มี 5 ส่วนคือ

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) โดยทั่วไปจะใช้เป็น hollow cathode lamp ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพ 15
2. ส่วนที่ทำให้กลายเป็นอะตอมเสรี (atomizer) มีกระบวนการดังนี้คือ เปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงและออกซิเจน และทำให้เกิดเปลวไฟขึ้น จะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ โมเลกุล และอะตอมเสรี
3. โมโนโครมาเตอร์ (monochromator) ทำหน้าที่แยกแสงให้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับธาตุแต่ละชนิด
4. ดีเทคเตอร์ (detector) ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มของแสง
5. เครื่องประมวลผล (data system)



ภาพ 15 ส่วนประกอบของหลอด hollow cathode lamp

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงไคอะทอไมต์ สำหรับการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสีย
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง
3. เพื่อศึกษาหาความจุสำหรับการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบวิธีการปรับปรุงไคอะทอไมต์ สำหรับการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสีย
2. สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง
3. ทราบความจุของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับของเสีย
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี
5. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม
6. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านการผลิตน้ำดื่มบริสุทธิ์

ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงไคอะทอไมต์โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) ให้ได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด แล้วตรวจลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมต์ในแต่ละสภาวะที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ขนาดอนุภาค รูปร่าง ขนาดรูพรุน พื้นที่ผิว และองค์ประกอบทางเคมี จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ระหว่างไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์เกรดวิเคราะห์ของบริษัท A (ไคอะทอไมต์ชนิด เอ)

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

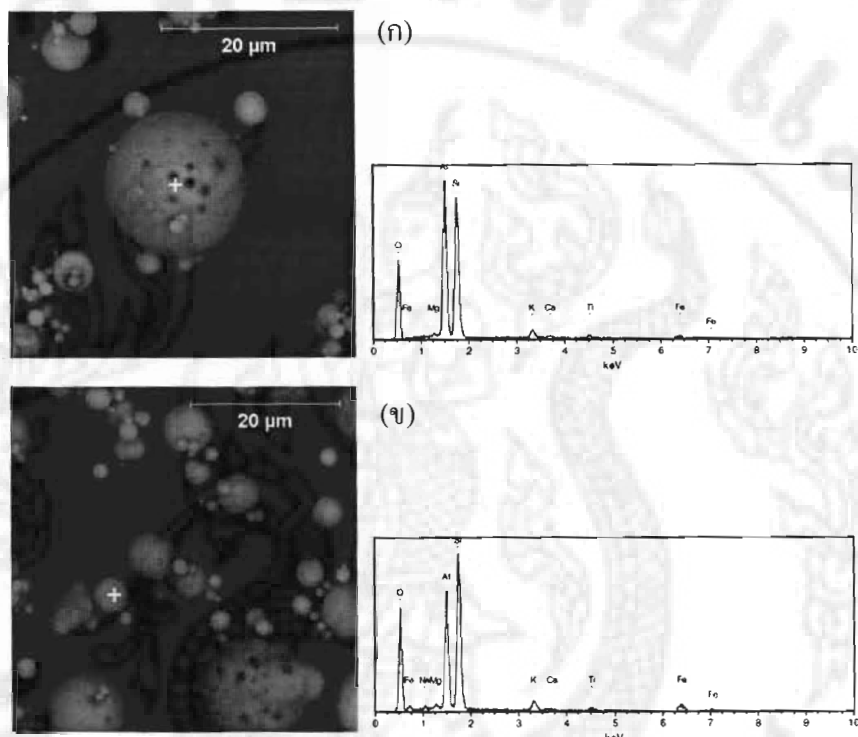
Goren (2002a) ได้ศึกษาการปรับปรุงไคอะทอไมต์ให้บริสุทธิ์ โดยใช้ไคอะทอไมต์จากแหล่งธรรมชาติในประเทศตุรกี ที่มีปริมาณซิลิกาเท่ากับ 74.4 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบ สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงไคอะทอไมต์ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ กรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความเข้มข้น 1 และ 2 นอร์มอล และการใช้กรดไฮโดรคลอริก โดยไม่ให้ความร้อนที่ความเข้มข้น 1-5 นอร์มอล โดยใช้เวลาต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริก ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดธาตุที่เป็นสิ่งปนเปื้อน เช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และโลหะอัลคาไลน์ ออกไปได้ รวมทั้งซิลิกาถูกละลายออกไปด้วยในปริมาณเล็กน้อย ส่วนผลการใช้กรดไฮโดรคลอริก โดยไม่ให้ความร้อน พบว่า ไม่สามารถกำจัดธาตุที่เป็นสิ่งปนเปื้อนออกไปได้

Somerset et al. (2004) ได้ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลักในซีโอไลต์ (zeolite) ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอย ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมกับน้ำทิ้งฤทธิ์กรดจากเหมืองถ่านหิน (acid mine drainage) ในอัตราส่วน 1:3, 1:4 และ 1:5 ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกสโกปี (XRF) พบว่า ปริมาณซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ในซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วน 1:3.5 มีค่าเท่ากับ 57.03 และ 23.52 เปอร์เซ็นต์ ในซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วน 1:4 มีค่าเท่ากับ 57.38 และ 23.25 เปอร์เซ็นต์ ในซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ด้วยอัตราส่วน 1:5 มีค่าเท่ากับ 35.37 และ 25.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้นี้จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์เพื่อนำไปใช้เป็นตัวดูดซับอื้อของโลหะหนักในน้ำเสียต่อไป

Kutchko and kim (2006) ได้ทำการตรวจลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย 12 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) และเทคนิคการวัดการกระจายพลังงาน (EDS) พบว่า ส่วนประกอบหลักของเถ้าลอยทั้ง 12 ชนิด ประกอบด้วย โครงสร้างที่เป็นรูพรุนของอะลูมิโน-ซิลิเกต (amorphous alumino-silicate) ลักษณะเป็นก้อนกลมที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1.00 – 200.00 ไมโครเมตร โดยในอนุภาคขนาดใหญ่ มีปริมาณอะลูมิเนียมมากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพ 16 และนอกจากนี้ยัง พบว่า มีปริมาณเหล็ก แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม ไททานียม เป็นองค์ประกอบด้วย

Hashimoto et al. (2005) ได้ทำการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของผงนาโนซิลิกาที่มีรูพรุน (amorphous nano silica) โดยใช้เทคนิคการวัดการกระเจิงรังสีเอ็กซ์เชิงมุม (Ultra-small angle X-ray scattering, USAXS) โดยเทคนิคการวิเคราะห์นี้เป็นการประยุกต์ขึ้นมาใหม่ สามารถวัด

การกระจายขนาดอนุภาคของผงนาโนซิลิกาที่มีรูพรุนได้ในช่วง 1 – 200 นาโนเมตร และวิธีนี้ยังง่ายต่อการใช้งาน มีความถูกต้องแม่นยำสูง และนำไปใช้งานได้กว้างขวาง



ภาพ 16 SEM และ EDS ของเกล็ดลอยที่มีส่วนประกอบเป็นอะลูมินา-ซิลิกา

(ก) อนุภาคขนาดใหญ่ (ข) อนุภาคขนาดเล็ก

Wen-Tien et al. (2006) ได้ทำการศึกษาปริมาณรูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะ ของไดอะทอมเมเชียสเอิร์ธ (diatomaceous earth) โดยใช้เทคนิคการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของเครื่องวัดพื้นที่ผิวและรูพรุน (surface area and porosity analyzer) พบว่า ปริมาตรรูพรุน มีค่าเท่ากับ 0.0155 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และพื้นที่ผิวจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 3.81 ตารางเมตร/กรัม หลังจากนั้นได้นำไดอะทอมเมเชียสเอิร์ธไปปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับต่อไป

Al-degs et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการดูดซับไอออนโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนปรับปรุงด้วยเมงกานีสออกไซด์ โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี (AAS) พบว่า การดูดซับไอออนของโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว (Pb^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+}) และแคดเมียม (Cd^{2+}) ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง มีค่าเท่ากับ 24, 21 และ 16 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ส่วนไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยเมงกานีสออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 99, 51 และ 26 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

สถานที่ดำเนินการวิจัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์	บริษัท (รุ่น)	ประเทศ
1. เครื่องอิเล็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์	Bruker (SRS-3400)	Germany
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	Jeol (JSM-5410LV)	Japan
3. เครื่องวัดการกระจายพลังงาน	Oxford (Inca 6647)	England
4. เครื่องวัดขนาดอนุภาค	Malvern (Mastersizer S)	England
5. เครื่องวัดพื้นที่ผิว	Quantachrome (Autosorp 1MP)	England
6. เครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์	Perkin Elmer (AAnalyst 100)	England
7. ชุดไฮโดรเทอร์มอล	Bergof (uTv 18)	Germany
8. ตู้อบ	Honeywell (DC1040)	Thailand
9. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง	Metrohm (827 pH lab)	Switzerland
10. เครื่องชั่งวิเคราะห์	Mettler Toledo (AB304-5)	Switzerland

สารเคมี	บริษัท	ประเทศ
1. แคดเมียมซัลเฟต ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	Merck	Germany
2. คอปเปอร์(II)ไนเตรท ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)	Univar	Australia
3. ซิงค์ไนเตรท ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	Carlo erba	Italy
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	Merck	Germany
5. ไดอะทอมไมต์	-	China
6. ไดอะทอมไมต์ชนิด เอ	-	-
7. ไนตริก (HNO_3)	Merck	Germany
8. เลด(II)ไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)	Merck	Germany
9. ไฮโดรคลอริก (HCl)	Merck	Germany

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid solution)

1.1.1 กำหนดความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ก. กำหนดความเข้มข้นเป็นโมลาร์ (M) ของกรดไฮโดรคลอริกจากข้างขวดโดยใช้สมการ

$$M = 10\%D/M_w \dots\dots\dots[4]$$

กำหนดให้ % = ความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริก

D = ความหนาแน่นของกรดไฮโดรคลอริก

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของกรดไฮโดรคลอริก

ข. กำหนดปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่จะใช้โดยใช้สมการ

$$C_1V_1 = C_2V_2 \dots\dots\dots[5]$$

กำหนดให้ C_1 = ความเข้มข้นเริ่มต้น

C_2 = ความเข้มข้นสุดท้าย

V_1 = ปริมาตรเริ่มต้น

V_2 = ปริมาตรสุดท้าย

1.1.2 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1, 3 และ 5 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 11.49 โมลาร์ (คำนวณได้จากข้อ 1.1.1) ปริมาตร 87, 261 และ 435 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide solution)

1.2.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 4.0000 กรัม ละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.2.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง สามารถเตรียมได้โดยใช้การคำนวณตามสมการ 5

1.3 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cadmium standard solution)

1.3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะแคดเมียมเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยการชั่งสารมาตรฐานแคดเมียมซัลเฟต ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 2.3284 กรัม ละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเจือจาง สามารถเตรียมได้โดยใช้การคำนวณตามสมการ 5

1.4 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Lead standard solution)

1.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะตะกั่วเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยการชั่งสารมาตรฐานเลด(II)ไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ปริมาณ 1.6146 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตรเล็กน้อยใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.4.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วเจือจาง สามารถเตรียมได้โดยใช้การคำนวณตามสมการ 5

1.5 สารละลายมาตรฐานทองแดง (Copper standard solution)

1.5.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะทองแดงเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร โดยการชั่งสารมาตรฐานคอปเปอร์(II)ไนเตรท ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 3.5843 กรัม ละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

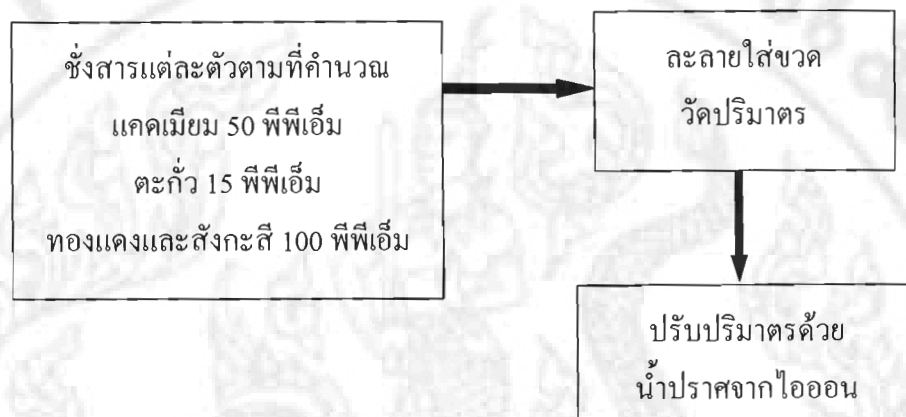
1.5.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงเจือจาง สามารถเตรียมได้โดยใช้การคำนวณตามสมการ 5

1.6 สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zinc standard solution)

1.6.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะสังกะสีเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม (ppm) ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยการชั่งสารมาตรฐานซิงค์ไนเตรท ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ปริมาณ 4.5945 กรัม ละลายใส่

ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.6.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีเจือจาง สามารถเตรียมได้โดยใช้การคำนวณตาม สมการ 5



ภาพ 17 แผนผังการเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

2. การเตรียมไออะโทไมต์

2.1 การปรับปรุงไออะโทไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

2.1.1 หาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการปรับปรุงไออะโทไมต์

ก. ชั่งไออะโทไมต์ ปริมาณ 10.0 กรัม และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1, 3 และ 5 โมลาร์ ปริมาตร 70 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ด้วยชุดไฮโดรเทอร์มอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข. ล้างไออะโทไมต์จากข้อ 2.1.1.1 ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

ค. เปรียบเทียบการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักของทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยการชั่งไออะโทไมต์จากข้อ 2.1.1.2 ปริมาณ 1.000 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองเอาสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่เหลืออยู่ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี (AAS)

ง. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม และเลือกตัวอย่างที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2.1.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมด์

ก. ชั่งไคอะทอไมด์ ปริมาณ 10.0 กรัม และเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นจากข้อ 2.1.1 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่ 100 และ 150 องศาเซลเซียส ด้วยชุดไฮโดรเทอร์มอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ข. ล้างไคอะทอไมด์จากข้อ 1.2.1 ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถสุญญากาศ

ค. เปรียบเทียบการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักของทั้ง 2 ตัวอย่าง โดยการชั่งไคอะทอไมด์จากข้อ 2.1.2.2 ปริมาณ 1.000 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองเอาสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่เหลืออยู่ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี (AAS)

ง. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม และเลือกตัวอย่างที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2.1.3 หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมด์

ก. ชั่งไคอะทอไมด์ ปริมาณ 10.0 กรัม และเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นจากข้อ 2.1.1 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิจากข้อ 2.1.2 ด้วยชุดไฮโดรเทอร์มอล เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง

ข. ล้างไคอะทอไมด์จากข้อ 2.1.3.1 ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ กรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถสุญญากาศ

ค. เปรียบเทียบการดูดซับโลหะหนักของทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยการชั่งไคอะทอไมด์จากข้อ 2.1.3.2 ปริมาณ 1.000 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานโลหะแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองเอาสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะแคดเมียมที่เหลืออยู่ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี (AAS)

ง. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะแคดเมียม และเลือกตัวอย่างที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2.1.4 หาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ก. ชั่งไคอะทอไมต์ ปริมาณ 10.0 กรัม และเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นจากข้อ 2.1.1 ปริมาตร 70 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิจากข้อ 1.2 ด้วยชุดไฮโดรเทอร์มอลเป็นเวลาจากข้อ 1.3

ข. ล้างไคอะทอไมต์จากข้อ 2.1.4.1 ด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 3, 5 และ 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถสุญญากาศ

ค. เปรียบเทียบการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักของทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยการชั่งไคอะทอไมต์จากข้อ 2.1.4.2 ปริมาณ 1.000 กรัม เติมสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองเอาสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่เหลืออยู่ ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรเมทรี (AAS)

ง. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม และเลือกตัวอย่างที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับดีที่สุดไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

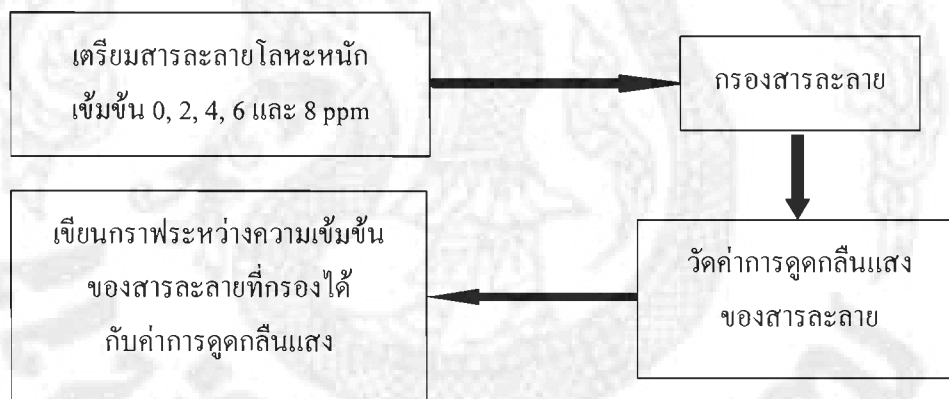


ภาพ 18 แผนผังการปรับปรุงไอโอดีนด้วยกรดไฮโดรคลอริก

2.1.5 การหาค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก ด้วยเทคนิคอะตอม-มิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรเมทรี (AAS)

ก. การสร้างกราฟมาตรฐาน

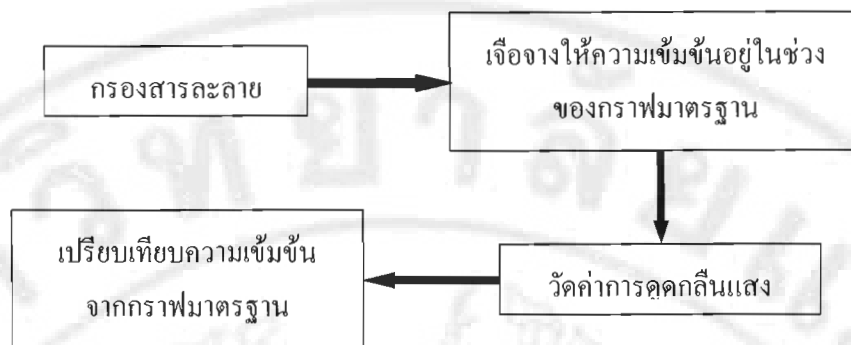
- เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, และ 8 พีพีเอ็ม
- กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองจนสารละลายใส ไม่มีตะกอน
- วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายที่กรองได้ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรมิเตอร์ (AAS)
- เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่กรองได้กับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)



ภาพ 19 แผนผังการสร้างกราฟมาตรฐานด้วยเทคนิค AAS

ข. การวัดค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

- กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรองจนสารละลายใส ไม่มีตะกอน
- เจือจางสารละลายด้วยน้ำกลั่น ให้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงกราฟมาตรฐาน
- วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายที่กรองได้ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรมิเตอร์ (AAS)
- หาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

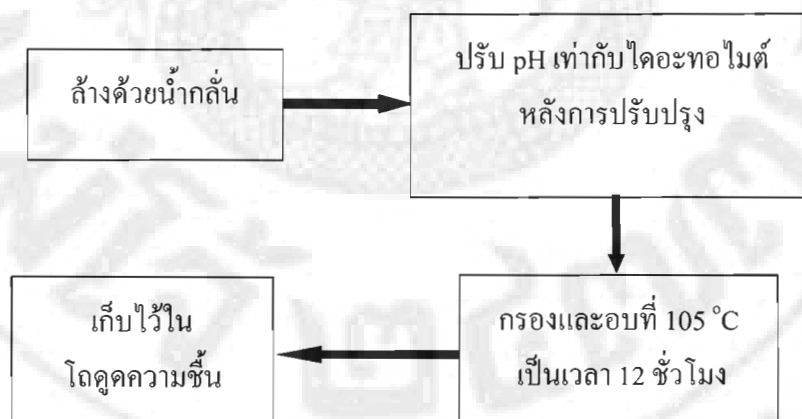


ภาพ 20 แผนผังการวัดค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค AAS

2.2 การเตรียมไดอะทอมิตก่อนการปรับปรุงและไดอะทอมิตชนิด เอ

2.2.1 ล้างไดอะทอมิตด้วยน้ำกลั่น และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับไดอะทอมิตที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกในข้อ 2.1

2.2.2 กรองและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น



ภาพ 21 แผนผังการเตรียมไดอะทอมิตก่อนการปรับปรุงและไดอะทอมิตชนิด เอ

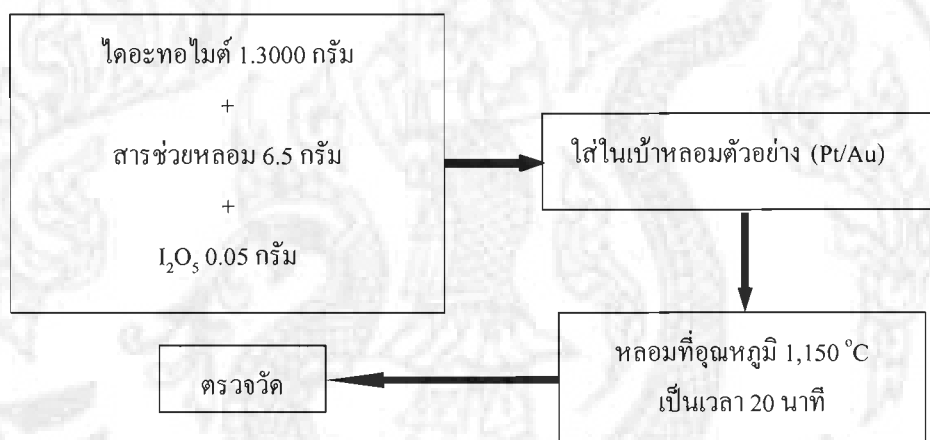
3. การศึกษาลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังปรับปรุง และ ไคอะทอไมต์ ชนิด เอ

3.1 หาดองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (XRF)

3.1.1 ชั่งตัวอย่างไคอะทอไมต์ ปริมาณ 1.3000 กรัม ผสมกับสารช่วยหลอม 6.5 กรัม และ ไอโอดีนออกไซด์ (I_2O_5) 0.05 กรัม ใส่ในเบ้าหลอมตัวอย่าง (Pt/Au)

3.1.2 นำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

3.1.3 ตรวจวัดด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์



ภาพ 22 แผนผังการเตรียมไคอะทอไมต์เพื่อหาดองค์ประกอบทางเคมี

3.2 ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด ส่องกราด (SEM)

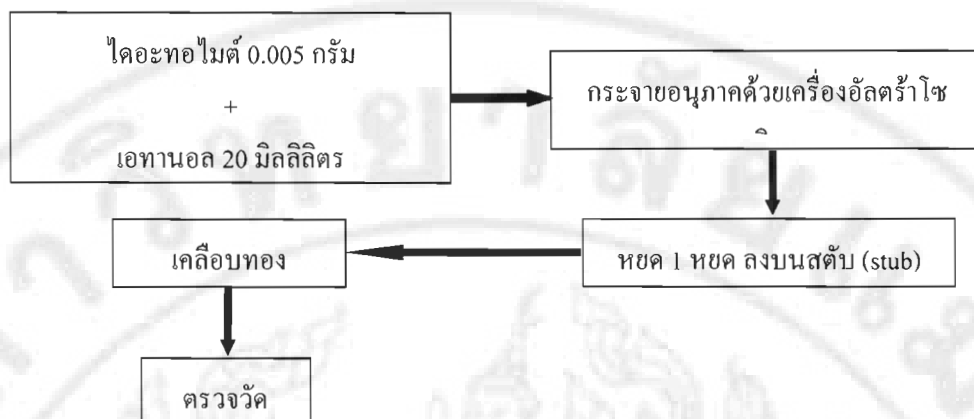
3.2.1 ชั่งไคอะทอไมต์ปริมาณ ปริมาณ 0.005 กรัม แล้วเติมเอทานอล 5 มิลลิลิตร

3.2.2 นำไปทำให้อนุภาคกระจายตัวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก 15 นาที

3.2.3 หยดสารละลายที่กระจายด้วยอนุภาคไคอะทอไมต์ 1 หยด ลงในสตัป (stub)

3.2.4 นำสตัปไปเคลือบอนุภาคทองเพื่อให้นำไฟฟ้า ด้วยเครื่องเคลือบไฟฟ้า

3.2.5 นำเข้ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เพื่อตรวจวัด



ภาพ 23 แผนผังการเตรียมไคอะโทไมต์เพื่อตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค

3.3 หางค์ประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน (EDS)

วิธีการเช่นเดียวกับการตรวจวัด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

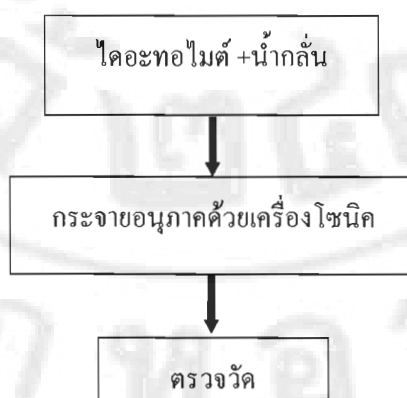
3.4 หาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค

(Particle Size Analyzer)

3.4.1 ชั่งไคอะโทไมต์ ปริมาณ 1.000 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร

3.4.2 นำไปทำให้อนุภาคกระจายตัวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

3.4.3 นำเข้าเครื่องวัดขนาดอนุภาคเพื่อตรวจวัด



ภาพ 24 แผนผังการเตรียมไคอะโทไมต์เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาค

3.5 หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน โดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิว (BET)

3.5.1 ชั่งน้ำหนักสารและที่ใส่สารตัวอย่าง (sample cell) ระดับ 0.1 มิลลิกรัม แล้วบรรจุตัวอย่างลงไป

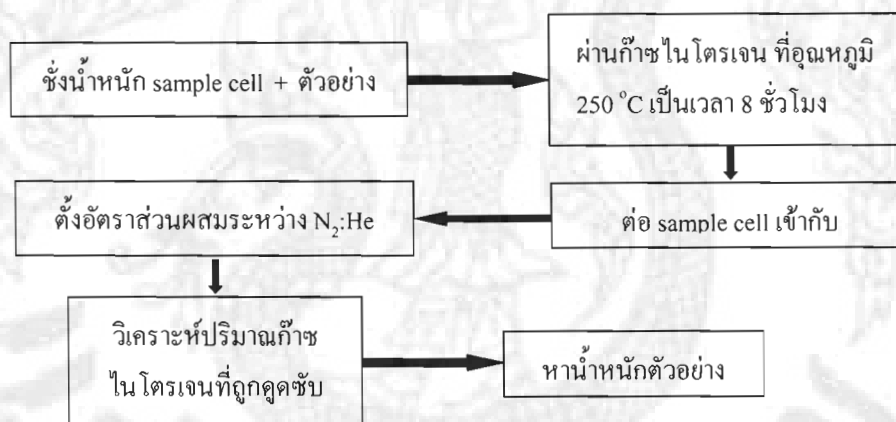
3.5.2 ทำการไล่ก๊าซโดยผ่านก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.5.3 นำที่ใส่สารตัวอย่างไปต่อกับระบบวัด

3.5.4 ตั้งอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซไนโตรเจนต่อฮีเลียม

3.5.5 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไว้

3.5.6 ชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักตัวอย่าง



ภาพ 25 แผนผังการหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน

4. การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

4.1 การเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ

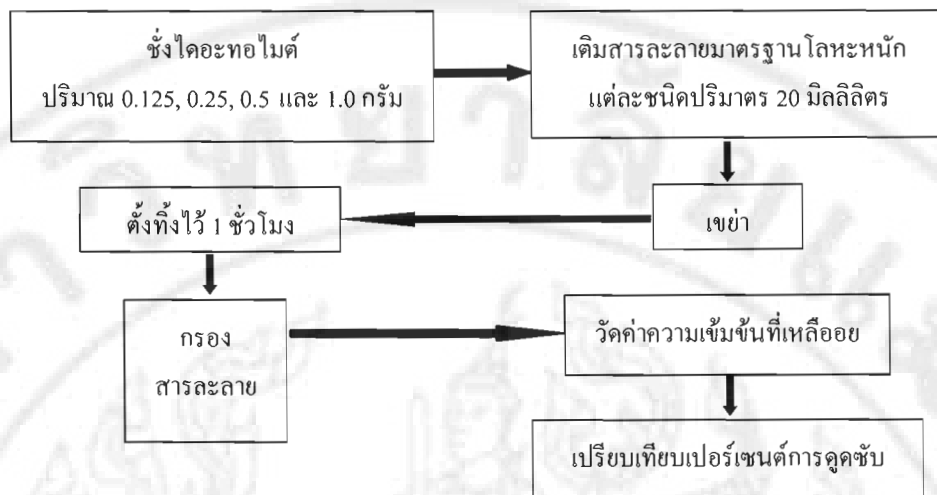
4.1.1 ชั่งไคอะทอไมต์แต่ละชนิด ปริมาณ 0.125, 0.25, 0.5 และ 1.0 กรัม

4.1.2 เติมน้ำสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

4.1.3 เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.1.4 กรอง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่

4.1.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์



ภาพ 26 แผนผังการเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก

4.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ

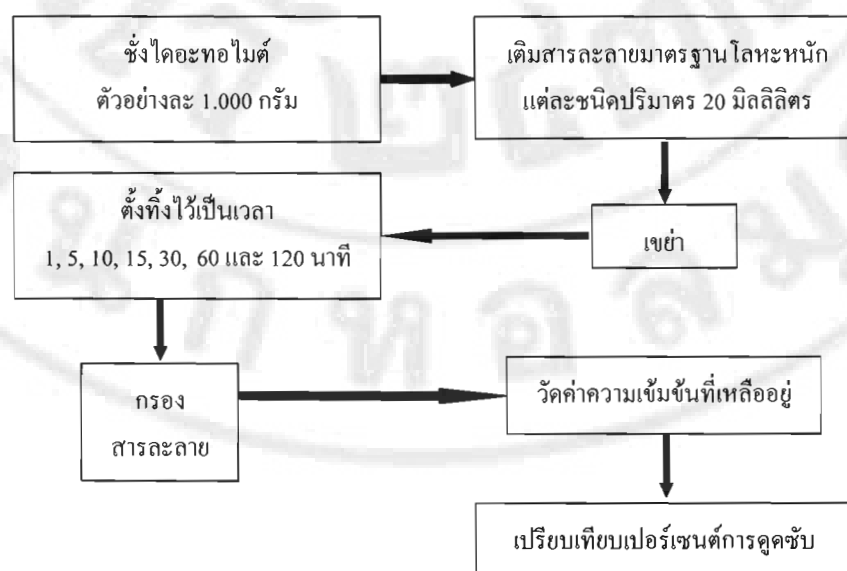
4.2.1 ชั่งไคอะทอไมด์แต่ละชนิด ปริมาณ 1.000 กรัม

4.2.2 เติมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

4.2.3 เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที

4.2.4 กรองแต่ละตัวอย่าง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่

4.2.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ



ภาพ 27 แผนผังการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับโลหะหนัก

4.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ

4.3.1 ชั่งโคอะทอไมต์แต่ละชนิด ปริมาณ 1.000 กรัม

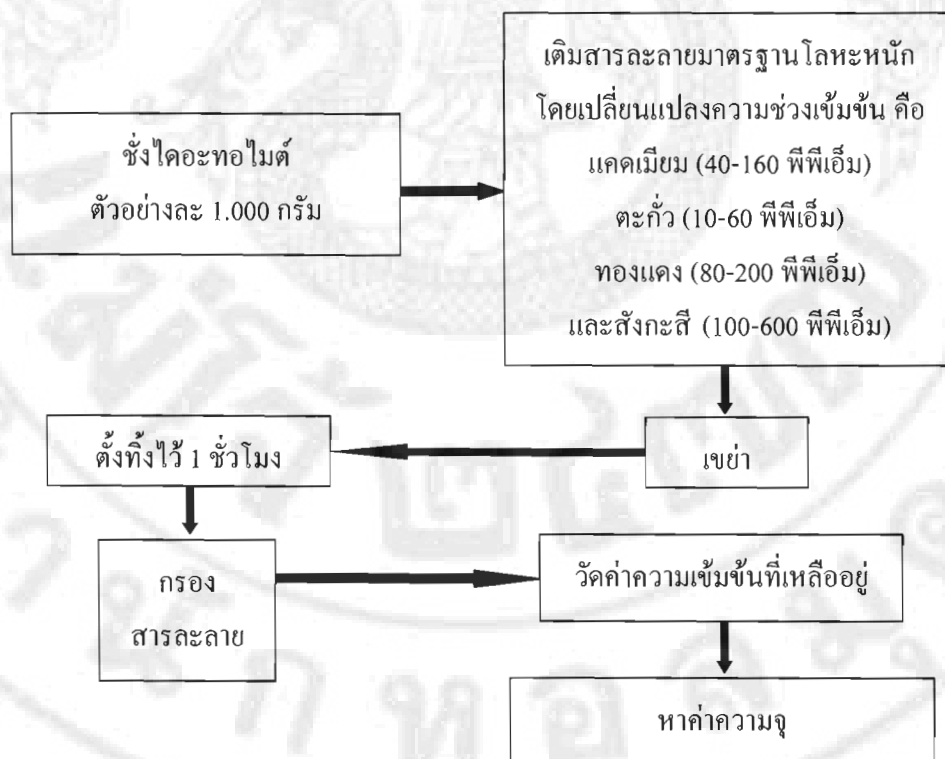
4.3.2 เติมน้ำสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด โดยเปลี่ยนแปลงช่วงความเข้มข้น คือ แคดเมียม (40-160 พีพีเอ็ม) ตะกั่ว (10-60 พีพีเอ็ม) ทองแดง (80-200 พีพีเอ็ม) และสังกะสี (100-600 พีพีเอ็ม) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

4.3.3 เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.3.4 กรอง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่

4.3.5 เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่กับปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับ

4.3.6 หาค่าความจุของโคอะทอไมต์ต่อการดูดซับโลหะหนักโดยใช้สมการของ BET และสมการของแลงเมียร์



ภาพ 28 แผนผังการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ โลหะหนัก

5. การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ (Mixture standards) ของไดอะทอมไมต์ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง และไดอะทอมไมต์ชนิด เอ

5.1 การเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์

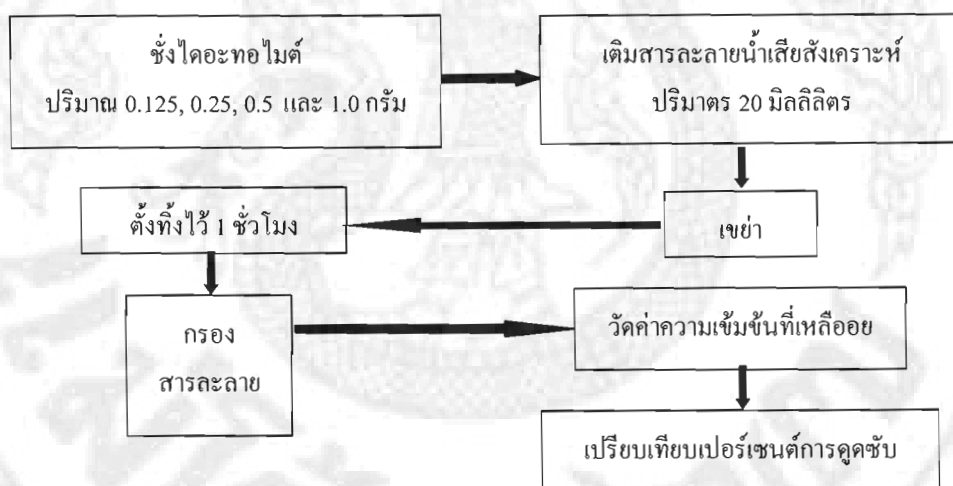
5.1.1 ชั่งไดอะทอมไมต์แต่ละชนิด ปริมาณ 0.125, 0.25, 0.5 และ 1.0 กรัม

5.1.2 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

5.1.3 เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5.1.4 กรอง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่

5.1.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ



ภาพ 29 แผนผังการเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์

5.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์

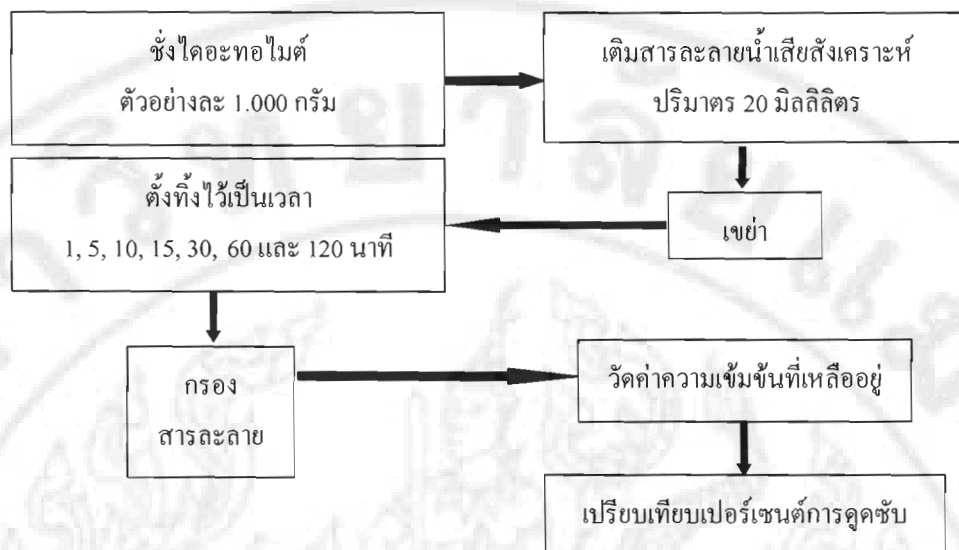
5.2.1 ชั่งไดอะทอมไมต์แต่ละชนิดตัวอย่างละ 1.000 กรัม

5.2.2 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

5.2.3 เขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที

5.2.4 กรองแต่ละตัวอย่าง แล้วนำสารละลายไปวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่

5.2.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ



ภาพ 30 แผนผังการเปรียบเทียบระยะเวลาในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์

6. การตรวจลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมต์ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ หลังการดูดซับโลหะหนัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และเครื่องวัดการกระจายพลังงาน

วิธีการเตรียมไคอะทอไมต์และตรวจวัด เช่นเดียวกับข้อ 3.2-3.3 ดังแสดงในภาพ 22

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การหาสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

การหาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ทดลองโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1, 3 และ 5 โมลาร์ ในการปรับปรุงไคอะทอไมต์ โดยควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ คือ ควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7

ตาราง 5 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลาดูดซับ 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ปรับปรุง

ความเข้มข้นของ กรดไฮโดรคลอริก (โมลาร์)	ความเข้มข้นของแคดเมียม ที่เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)	การดูดซับ (%)
1	0.79	98.42
3	5.45	89.10
5	23.24	53.52

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ทดลองโดยใช้เวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ในการปรับปรุงไคอะทอไมต์ โดยควบคุมปัจจัยอื่นให้คงที่ คือ ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ (จากผลการทดลองข้อ 1.1) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7

ตาราง 6 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลาดูดซับ 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ปรับปรุง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)	การดูดซับ (%)
1	0.79	98.42
3	2.32	95.36
5	5.65	88.70

การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ทดลองโดยใช้อุณหภูมิ 100 และ 150 องศาเซลเซียส ในการปรับปรุงไคอะทอไมต์โดยควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ คือ ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ (จากผลการทดลองข้อ 1.1) และ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จากผลการทดลองข้อ 1.2) แล้วปรับความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7

ตาราง 7 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา ดูดซับ 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ปรับปรุง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของแคดเมียม ที่เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)	การดูดซับ (%)
100	0.79	98.42
150	6.75	86.50

การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ทดลองโดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 3, 5 และ 7 ในการปรับปรุงไคอะทอไมต์ โดยควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ คือ ควบคุมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ (จากผลการทดลองข้อ 1.1) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จากผลการทดลองข้อ 1.2) และ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (จากผลการทดลองข้อ 1.3)

ตาราง 8 การดูดซับสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เวลา 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ปรับปรุง

ความเป็นกรด-ด่าง	ความเข้มข้นของแคดเมียม ที่เหลืออยู่ (พีพีเอ็ม)	การดูดซับ (%)
3	11.16	77.67
5	5.36	89.28
7	0.79	98.42

สรุปสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

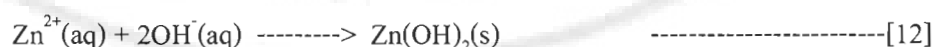
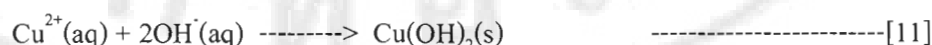
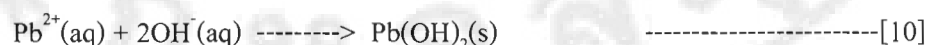
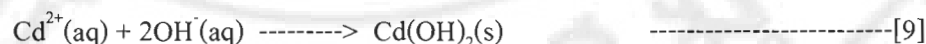
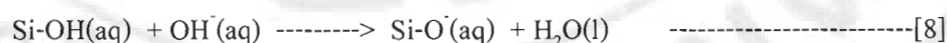
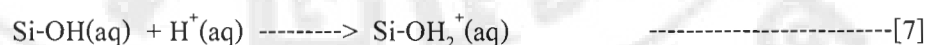
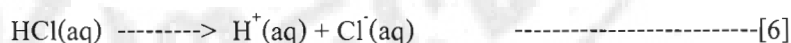
สถานะที่ดีที่สุดที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์ คือ การใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น

นำมาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7 แล้วนำไปอบให้แห้งและเก็บไว้ในโถสุญญากาศ ซึ่งสภาวะที่ดีที่สุด แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงไคอะทอไมต์

ปัจจัย	สภาวะ
ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก	1 โมลาร์
เวลา	1 ชั่วโมง
อุณหภูมิ	100 องศาเซลเซียส
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7

การใช้กรดไฮโดรคลอริกในการปรับปรุงไคอะทอไมต์ (Goren, 2002b) โดยเลือกความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม เป็นการหาสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะหนัก การปรับปรุงไคอะทอไมต์โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เมื่อเกิดการแตกตัว ตามสมการ 6 จะเข้าไปดึงหมู่ออกไซด์ที่เป็นสิ่งปนเปื้อน เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมินา และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ ที่เกาะอยู่ที่ผิวของไคอะทอไมต์ออกไป เป็นการทำให้ผิวของไคอะทอไมต์บริสุทธิ์ขึ้น จากตาราง 5-7 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ และเวลามากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เพราะว่าความแรงของกรดที่มากเกินไป อุณหภูมิที่สูงเกินไป หรือเวลาที่มากเกินไป จะทำลายหมู่ไฮดรอกซิลบนผิวของไคอะทอไมต์ ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง



เมื่อสารละลายเป็นกรดมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เพราะที่ผิวของไคอะทอไมต์จะมีประจุเป็นบวกมากขึ้น สามารถอธิบายได้ตามสมการ 7 สารละลายมีความเป็นกรดมาก ประสิทธิภาพการดูดซับก็จะลดลงซึ่งสอดคล้องกับตาราง 8 และเมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของ

ไคอะทอไมด์เท่ากับ 7 ที่จุดสมดุลของการดูดซับสารละลายจะมีสภาพความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงกับ 7 ซึ่งสามารถแตกตัวให้ประจุลบได้ดีกว่า (Al-degs et al., 2001) ส่วนสภาวะที่เป็นด่างตามสมการ 8 จะทำให้โลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ที่ทำการศึกษาสามารถตกตะกอนได้ (Al-degs et al., 2000) ตามสมการ 9-12 จึงไม่ได้ทำการศึกษาในช่วงสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่มากกว่า 7 ผลของการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของไคอะทอไมด์ จะทำให้เมื่อทำการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก ความเป็นกรด-ด่างจะมีการเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้นจนถึงจุดสมดุล แสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายเมื่อใช้ไคอะทอไมด์ดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ความเป็นกรด-ด่าง ของไคอะทอไมด์	pH เริ่มต้นของสารละลาย	pH ที่สมดุลของสารละลาย
3	6.0	4.7
5	6.0	5.5
7	6.0	6.3

**การศึกษาลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง
และไคอะทอไมด์ชนิด เอ**

หาค่าประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (XRF)

หาค่าประกอบทางเคมีของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ โดยสภาวะการทำงานของเครื่องมือ และผลการทดลอง แสดงดังตาราง 11 - 12

ตาราง 11 สภาวะการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์

ปัจจัย	สภาวะ
X-ray source	Copper anode
Energy	40 kV
Current	20 mA
Slit	1.54 nm
Step size	0.04 degree

ตาราง 12 องค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

องค์ประกอบ	องค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ไคอะทอไมต์ชนิด เอ
SiO ₂	63.31	56.79	82.28
Al ₂ O ₃	13.42	12.15	0.39
Fe ₂ O ₃	12.58	10.11	0.63
Na ₂ O	0.74	2.37	<0.01
CaO	0.49	0.08	15.97
Cl	<0.01	9.12	<0.01
Loss On Ignition (LOI)	6.54	6.73	0.23

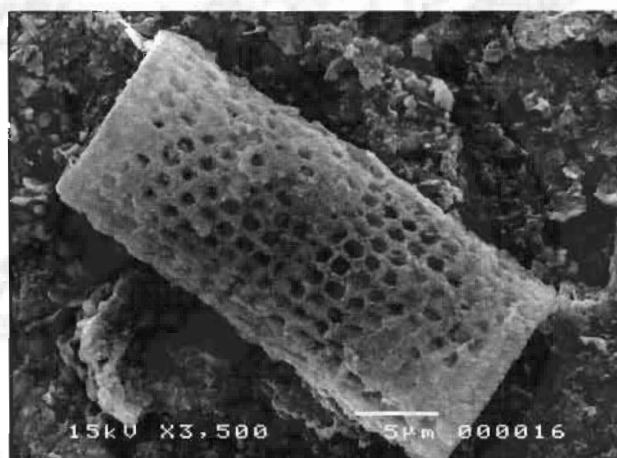
พบว่า องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก คือ เปอร์เซนต์ซิลิกาของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีค่าเท่ากับ 63.31, 56.79 และ 82.28 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ และไคอะทอไมต์ชนิด เอ ยังมีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ถึง 15.97 เปอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่เป็น เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) และอะลูมินา (Al₂O₃) พบว่า ไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงมีเปอร์เซนต์ เหล็กออกไซด์ และอะลูมินา ลดลง เพราะถูกกรดไฮโดรคลอริกชะออกไป ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น แต่ซิลิกาบางส่วนก็ถูกชะออกไปด้วย (Goren, 2002) และมีปริมาณโซเดียม และคลอไรด์ไอออนเพิ่มขึ้นเนื่องจากในกระบวนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เกิดเกลือโซเดียมคลอไรด์ขึ้น

ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

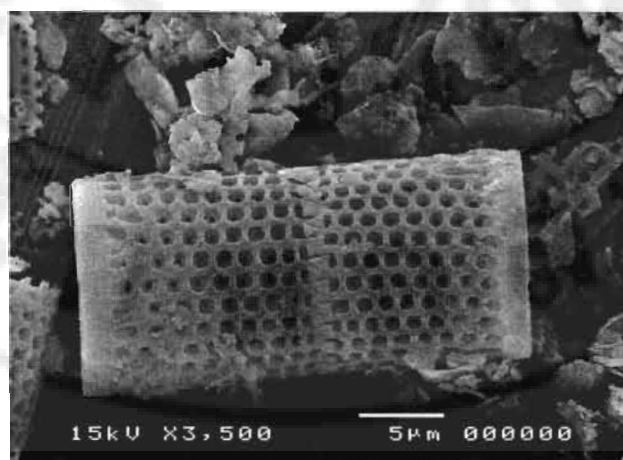
การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของอนุภาคไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ก่อนการดูดซับโลหะหนัก จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด โดยสภาวะการทำงานของเครื่องมือ และผลการทดลอง แสดงดังตาราง 13 และ ภาพ 31-33

ตาราง 13 สภาวะการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ปัจจัย	สภาวะ
Energy	15 kV
Magnification	3500
Pressure	10^{-4} - 10^{-3} Pa
Record	CRT
Detector	SE/BE



ภาพ 31 SEM ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก



ภาพ 32 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก



ภาพ 33 SEM ของไคอะทอไมต์ชนิด เอ ก่อนการดูดซับสารละลายโลหะหนัก

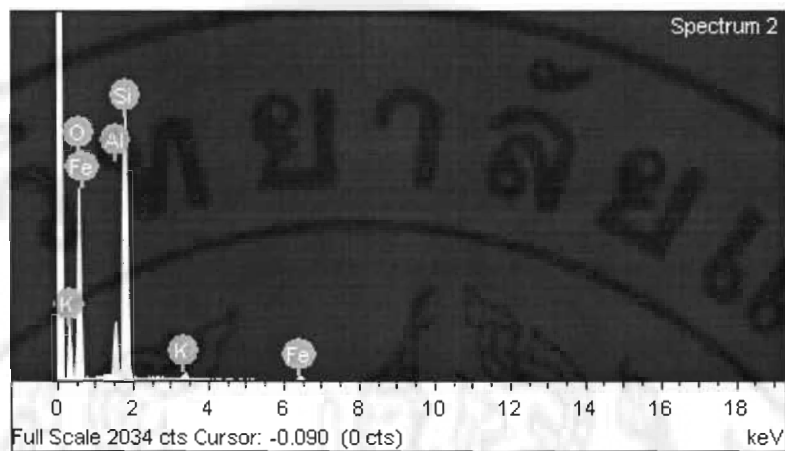
พบว่า อนุภาคไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอก มีขนาดอนุภาค 15x30 ไมโครเมตร มีรูพรุนขนาดประมาณ 0.5 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูป 31 และ 32 ส่วนอนุภาคไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีรูปร่างเป็นแบบจานกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 23.5 ไมโครเมตร มีรูพรุนขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูป 33 จะเห็นว่าไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงมีลักษณะทั่วไปใกล้เคียงกัน ส่วนไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า แต่มีขนาดรูพรุนและจำนวนรูพรุนน้อยกว่า

การหาค่าประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน

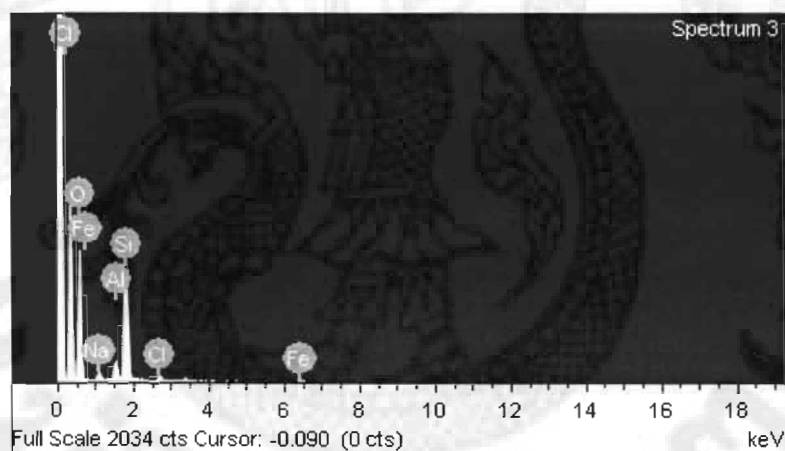
การหาค่าประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงานของไคอะทอไมต์ก่อนการดูดซับโลหะหนัก โดยสภาวะการทำงานของเครื่องมือ และผลการทดลอง แสดงดังตาราง 14 และ ภาพ 34-36

ตาราง 14 สภาวะการทำงานของเครื่องวัดการกระจายพลังงาน

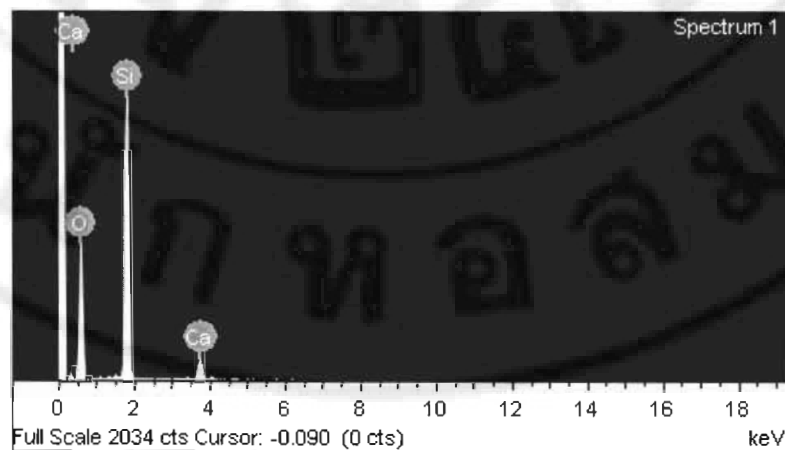
ปัจจัย	สภาวะ
Model	Inca 6647
Detector	EDX



ภาพ 34 EDS ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก



ภาพ 35 EDS ของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง ก่อนการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก



ภาพ 36 EDS ของไคอะทอไมต์ชนิด เอ ก่อนการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

พบว่า พิกของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของไคอะทอไมต์ ได้แก่ พิกของซิลิกอน (Si) มีค่าพลังงาน $K_{\alpha,2}$ เท่ากับ 1.840 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ในไคอะทอไมต์ชนิด เอ จะมีความสูงมากที่สุด รองลงไปเป็นไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ ในตาราง 12 ส่วนพิกอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น พิกของอะลูมิเนียม (Al) มีค่าพลังงาน K_{β} เท่ากับ 1.553 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ออกซิเจน (O) มีค่าพลังงาน $K_{\alpha,2}$ เท่ากับ 0.532 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เหล็ก (Fe) มีค่าพลังงาน L_{α} และ $K_{\alpha,2}$ เท่ากับ 0.705 และ 6.399 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ ปรากฏในสเปกตรัมของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังปรับปรุง ส่วนพิกของไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีพิกของแคลเซียม (Ca) มีค่าพลังงาน L_{α} และ $K_{\alpha,2}$ เท่ากับ 0.341 และ 3.690 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ

หาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาคโดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค

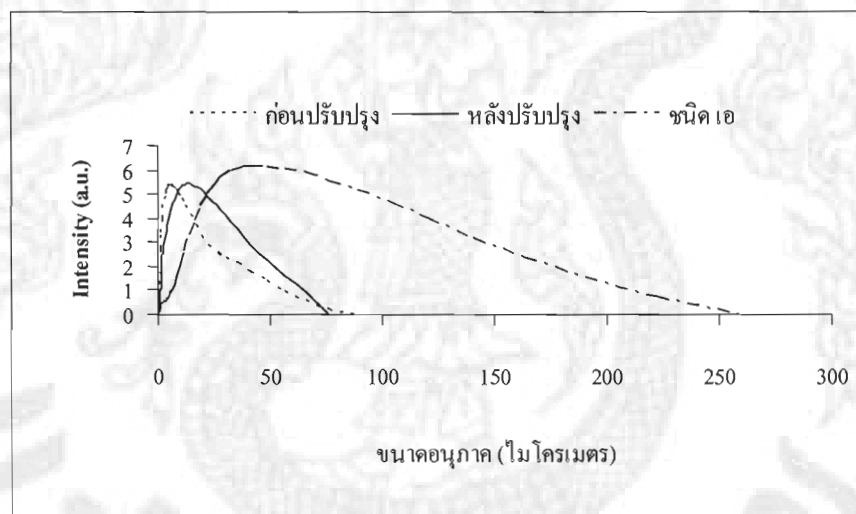
ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่หาได้จากเครื่องวัดขนาดอนุภาคของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ โดยสภาวะการทำงาน of เครื่องมือ แสดงดังตาราง 15 และผลการทดลอง แสดงดังตาราง 16 และ ภาพ 37

ตาราง 15 สภาวะการทำงาน of เครื่องวัดขนาดอนุภาค

ปัจจัย	สภาวะ
Range lens	300 RF mm
He-Ne laser source	$\lambda = 633 \text{ nm}$
Beam length	2.40 mm
Particle size range	0.05-900 μm
Small dispersion unit	MS1
Beaker size	600 ml
Dispersing medium	Deionized water

ตาราง 16 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ

ไคอะทอไมด์	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
ก่อนการปรับปรุง	11.83
หลังการปรับปรุง	15.82
ชนิด เอ	18.42



ภาพ 37 การกระจายขนาดอนุภาคของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ

การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของไคอะทอไมด์ก่อนและหลังการปรับปรุงมีการกระจายตัวในช่วง 1-80 ไมโครเมตร แต่ช่วงการกระจายตัวสูงสุดของไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุงมีขนาดใหญ่กว่าก่อนปรับปรุง เพราะว่า ในขั้นตอนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกอนุภาคเล็ก ๆ บางส่วนได้ถูกชะออกไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 11.83 และ 15.82 ไมโครเมตร ตามลำดับ ส่วนไคอะทอไมด์ชนิด เอ มีการกระจายตัวกว้างที่สุด คือ 1-250 ไมโครเมตร และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 18.42 ไมโครเมตร

หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนโดยใช้เครื่องวัดพื้นที่ผิว (BET)

พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนที่วัดได้จากเครื่องวัดพื้นที่ผิวของไคอะทอไมต์ ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ โดยสภาวะการทำงานของเครื่องมือ และผลการทดลอง แสดงดังตาราง 17-18

ตาราง 17 สภาวะการทำงานของเครื่องวัดพื้นที่ผิว

ปัจจัย	สภาวะ
adsorbate	Nitrogen gas
Out gas temperature	120 °C
P/P ₀	7 or 9 points (BET)
Out gas time	7 hours
Operating time	4-5 hours

ตาราง 18 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ไคอะทอไมต์	พื้นที่ผิว (ตร.ม./ก.)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม./ก.)	รัศมีเฉลี่ยของรูพรุน (อังสตรอม)
ก่อนการปรับปรุง	54.26	0.1461	54.30
หลังการปรับปรุง	55.67	0.1525	54.77
ชนิด เอ	16.40	0.0357	43.51

พบว่า ขนาดอนุภาคเฉลี่ยและพื้นที่ผิว สอดคล้องกับข้อมูลในรูป 30 กล่าวคือขนาดอนุภาคของไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงไป ได้แก่ ไคอะทอไมต์หลังและก่อนการปรับปรุง ตามลำดับ ซึ่งขนาดอนุภาคจะแปรผกผันกับพื้นที่ผิว กล่าวคืออนุภาคขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวน้อย ส่วนรัศมีเฉลี่ยของรูพรุนบอกขนาดความกว้างของช่องที่อื้อนอนของโลหะหนักจะสามารถเข้ามาเกาะได้ และปริมาตรรูพรุนบอกปริมาณพื้นที่ที่อื้อนอนของโลหะหนักจะสามารถเข้ามาเกาะได้

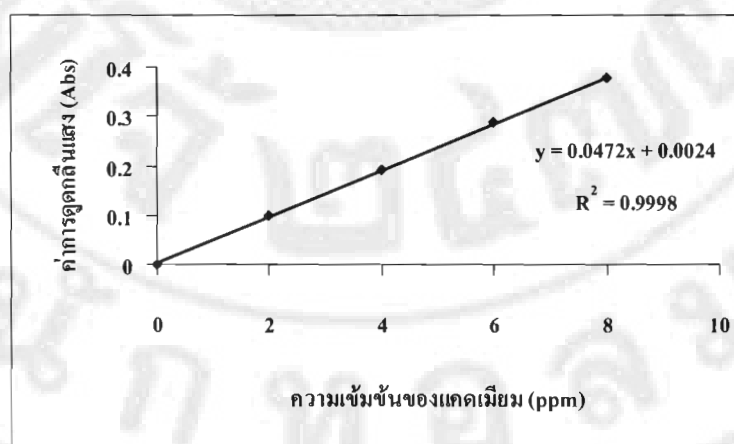
การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักของไดอะทอมไมต์

ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไดอะทอมไมต์ชนิด เอ

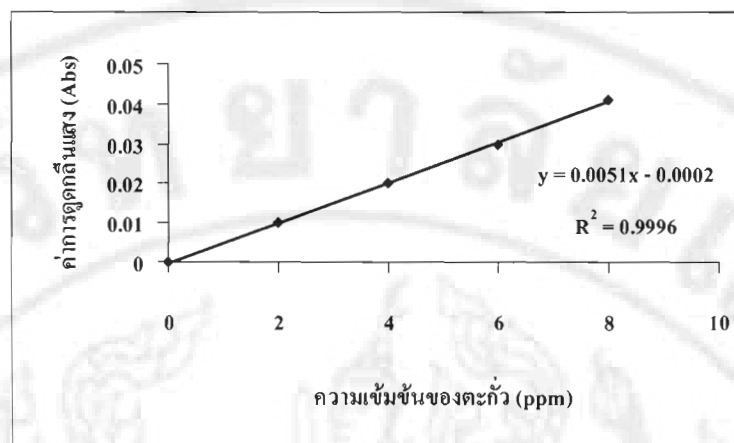
การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักโดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ อะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งมีสถานะในการทดลองแสดงดังตาราง 19 และกราฟมาตรฐาน ดังแสดงในภาพ 38-41

ตาราง 19 สถานะการทำงานของเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์

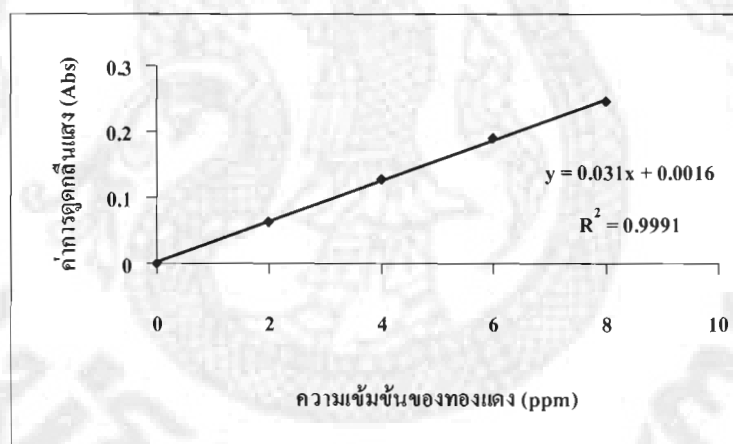
ปัจจัย	สถานะ			
	แคดเมียม	ตะกั่ว	ทองแดง	สังกะสี
Lamp type	HCL	HCL	HCL	HCL
C ₂ H ₂ : Air (L/min)	2:4	2:4	2:4	2:4
Flow rate (ml/min)	1	1	1	1
Slit (nm)	0.7	0.7	0.7	0.7
λ (nm)	228.8	283.3	324.8	213.9
Current (mA)	4	10	15	15



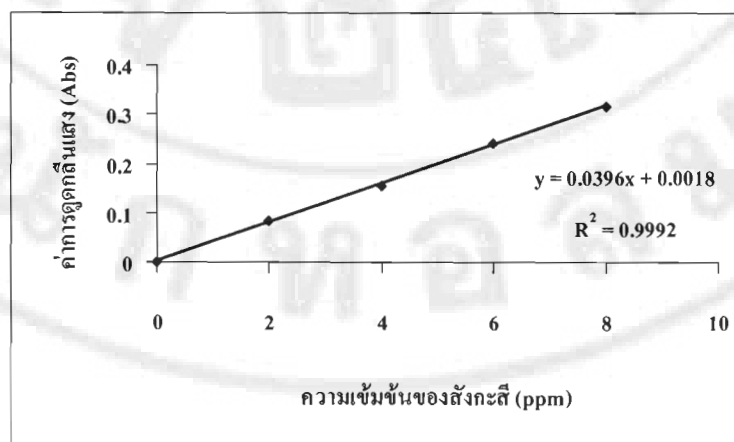
ภาพ 38 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม จากเครื่อง AAS



ภาพ 39 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว จากเครื่อง AAS



ภาพ 40 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานทองแดง จากเครื่อง AAS



ภาพ 41 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสังกะสี จากเครื่อง AAS

เปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ 0.125, 0.250, 0.500 และ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ แสดงดังตาราง 20-23 และภาพ 42-45 จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับก็จะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด รองลงไปเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงตามลำดับ

ตาราง 20 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับแคดเมียมของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	32.92	43.73	76.64
0.250	56.42	81.64	86.51
0.500	76.11	98.22	90.92
1.000	87.17	98.42	92.54

ตาราง 21 การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

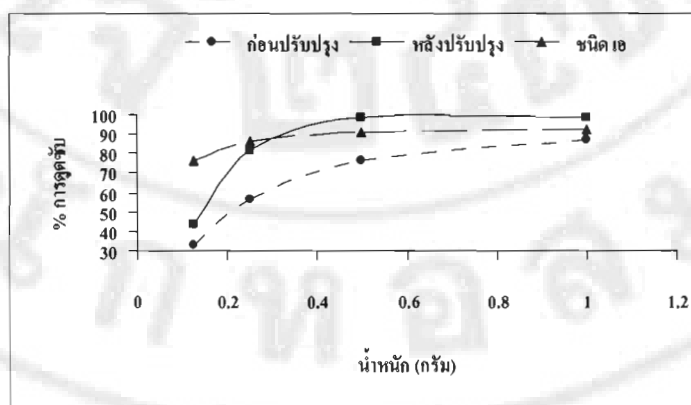
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับตะกั่วของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	33.92	56.82	55.21
0.250	53.35	67.31	64.42
0.500	77.67	79.94	77.20
1.000	90.58	98.78	96.53

ตาราง 22 การดูดซับสารละลายทองมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

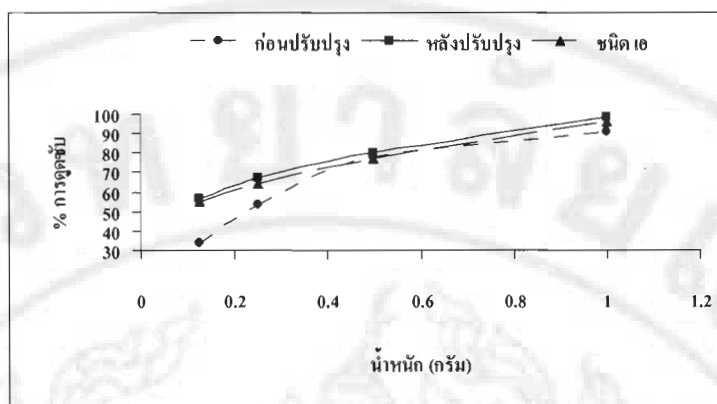
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	26.79	26.29	28.79
0.250	42.64	45.62	35.98
0.500	62.96	81.43	58.98
1.000	76.89	96.86	95.14

ตาราง 23 การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

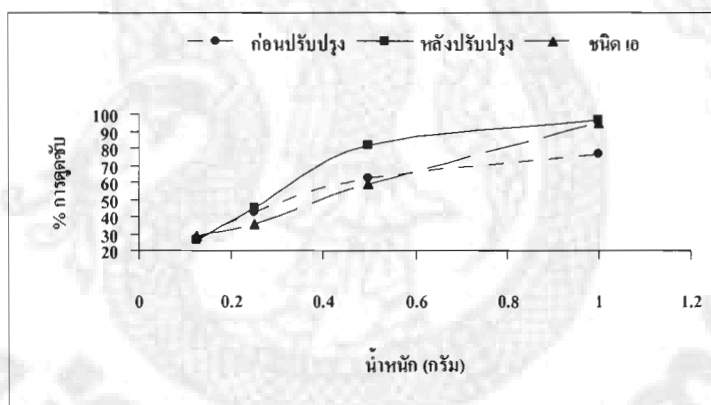
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับสังกะสีของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	44.22	44.66	45.61
0.250	58.65	78.79	59.47
0.500	73.96	95.35	72.34
1.000	86.52	99.32	94.59



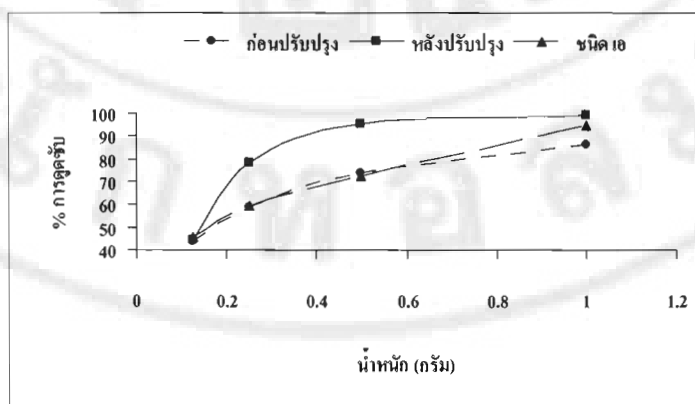
ภาพ 42 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 43 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ



ภาพ 44 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ



ภาพ 45 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ

การเปรียบเทียบเวลาในการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักชนิดต่างๆ ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับ 1, 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที โดยซังไคอะทอไมต์ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ แสดงดังตาราง 24-27

ตาราง 24 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับแคดเมียมของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	85.49	96.48	72.40
5	86.01	97.03	84.52
10	86.60	97.28	91.19
15	87.17	98.42	91.96
30	88.18	98.51	93.63
60	88.66	98.78	92.54
120	88.80	98.80	92.66

ตาราง 25 การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับตะกั่วของไดอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	87.59	97.33	91.46
5	88.45	97.78	93.00
10	89.40	97.81	93.53
15	89.69	97.98	95.26
30	89.79	98.43	96.92
60	90.58	98.76	96.53
120	90.44	98.78	96.62

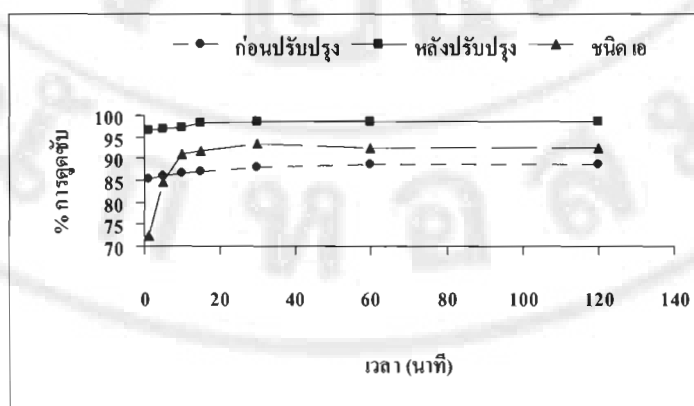
ตาราง 26 การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับทองแดงของไดอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	75.52	94.35	45.04
5	75.90	94.65	52.10
10	76.68	94.68	59.37
15	77.12	95.00	66.45
30	77.35	95.30	86.34
60	76.89	96.86	95.14
120	76.42	96.67	94.99

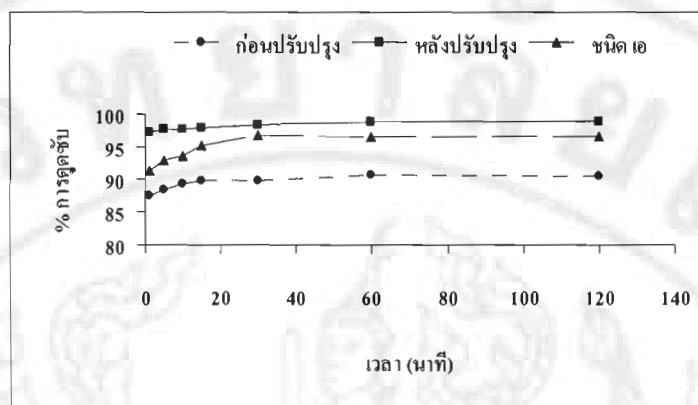
ตาราง 27 การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

เวลาในการดูดซับ (นาทีก)	การดูดซับสังกะสีของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	83.25	98.45	60.00
5	84.70	98.85	63.76
10	85.15	99.02	71.98
15	85.65	99.07	83.91
30	85.90	99.25	90.32
60	86.52	99.30	94.59
120	86.36	99.32	94.66

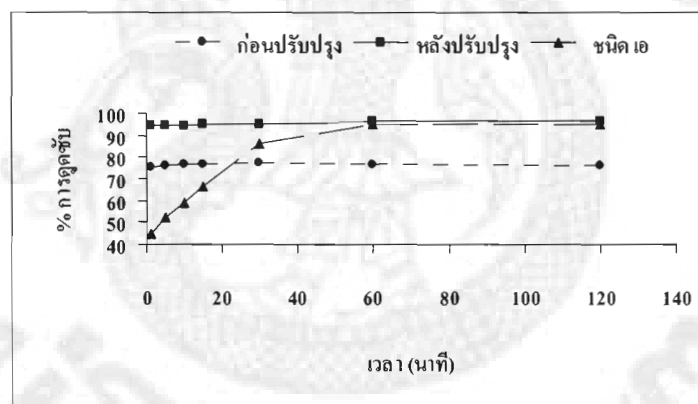
จากผลการทดลองของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการดูดซับขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจนถึงช่วงเวลา 30 – 60 นาที เปอร์เซ็นต์การดูดซับจะค่อย ๆ คงที่จนหยุดนิ่ง โดยไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงจะมีช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การดูดซับแคบกว่า กล่าวคือ สามารถดูดซับได้ดีกว่าเมื่อใช้เวลาน้อย ๆ และสภาวะการดูดซับนี้ไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิดจะให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดที่เวลาประมาณ 60 นาที โดยไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด รองลงไปเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 46-49



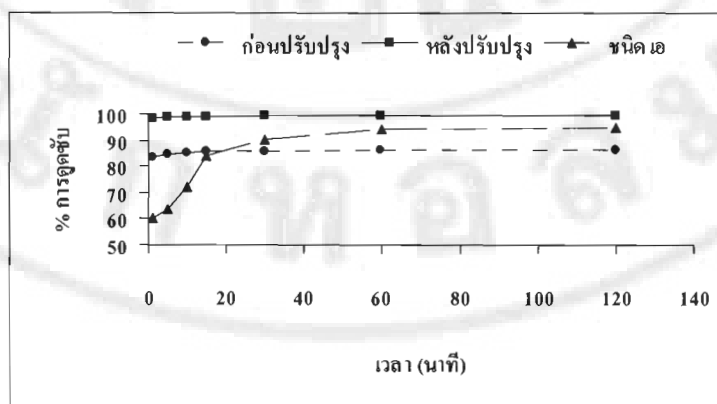
ภาพ 46 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 47 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมิต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่างๆ



ภาพ 48 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมิต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่างๆ



ภาพ 49 กราฟการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมิต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่างๆ

การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก โดยชั่งไคอะทอไมต์ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม (40-160 พีพีเอ็ม) ตะกั่ว (10-60 พีพีเอ็ม) ทองแดง (80-200 พีพีเอ็ม) และสังกะสี (100-600 พีพีเอ็ม) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่เหลืออยู่ และเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นสารละลายโลหะหนักที่เหลืออยู่ (Ce) กับปริมาณสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูดซับ (qe) ผลการทดลองแสดงดังตาราง 28-31 และภาพ 50-53

ตาราง 28 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่เหลืออยู่กับปริมาณสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ถูกดูดซับของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น เริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ชนิด เอ	
	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)
40	3.14	0.74	0.27	0.80	1.395	0.77
50	5.67	0.89	0.61	0.99	3.64	0.92
60	8.69	1.02	1.34	1.17	5.41	1.09
80	17.66	1.24	2.873	1.54	6.10	1.57
100	32.41	1.35	5.50	1.89	7.46	1.85
120	44.13	1.52	11.99	2.16	22.65	1.95
140	-	-	22.30	2.35	37.70	2.04
160	-	-	36.84	2.46	-	-

ตาราง 29 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่เหลื่ออยู่ กับปริมาณสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ถูกดูดซับของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายตะกั่วความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

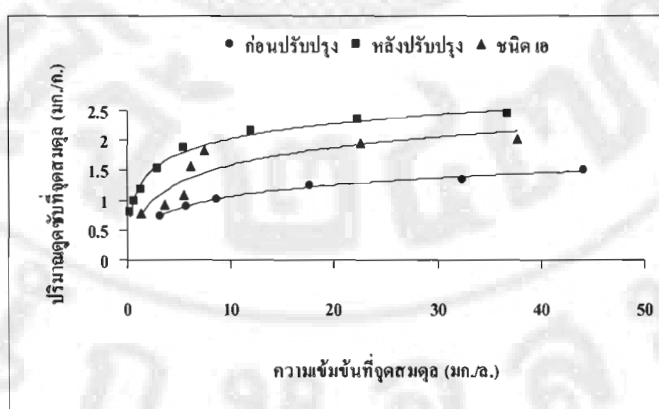
ความเข้มข้น เริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ชนิด เอ	
	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)
10	0.085	0.20	0.03	0.20	0.357	0.19
15	1.41	0.27	0.19	0.30	0.521	0.28
20	3.30	0.33	1.68	0.43	0.707	0.38
25	4.90	0.40	3.06	0.56	1.164	0.48
30	6.81	0.46	3.18	0.54	1.652	0.57
40	20.9	0.38	6.32	0.67	8.10	0.64
50	-	-	10.39	0.79	11.82	0.76
60	-	-	18.47	0.82	21.64	0.76

ตาราง 30 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานทองแดงที่เหลื่ออยู่ กับปริมาณสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ถูกดูดซับของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

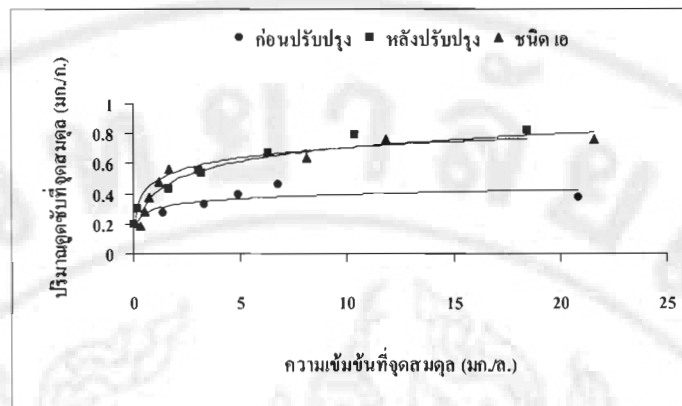
ความเข้มข้น เริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ชนิด เอ	
	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)
80	4.87	1.50	0.516	1.59	0.83	1.58
100	16.68	1.64	3.14	1.94	4.85	1.90
120	23.11	2.06	4.43	2.31	10.92	2.18
140	26.10	2.18	5.34	2.60	19.71	2.40
150	35.88	2.24	13.02	2.69	28.25	2.43
160	40.74	2.43	19.98	2.94	30.28	2.59
180	68.16	2.44	26.44	3.07	42.96	2.74
200	-	-	43.38	3.13	54.31	2.90

ตาราง 31 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่เหลืออยู่ กับปริมาณสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ถูกดูดซับของไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด จากสารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ

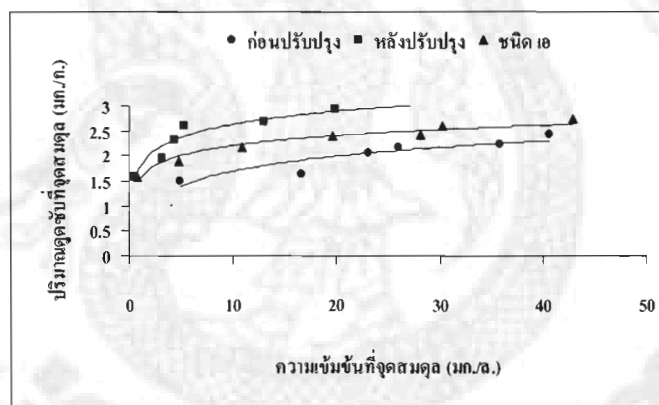
ความเข้มข้น เริ่มต้น (พีพีเอ็ม)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ชนิด เอ	
	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)	Ce (พีพีเอ็ม)	qe (มก./ก.)
100	13.48	1.73	0.70	1.99	5.05	1.90
150	11.42	2.77	4.70	2.90	12.44	2.75
200	66.66	2.66	18.00	3.64	29.14	3.40
250	75.88	3.25	16.36	4.46	54.88	3.90
300	137.67	3.48	66.80	4.68	94.05	4.11
350	156.32	3.88	77.85	5.44	122.2	4.50
400	197.58	4.05	109.45	5.81	153.12	4.94
500	253.40	4.93	202.40	5.95	223.25	5.53
600	345.30	5.09	312.60	5.75	324.75	5.51



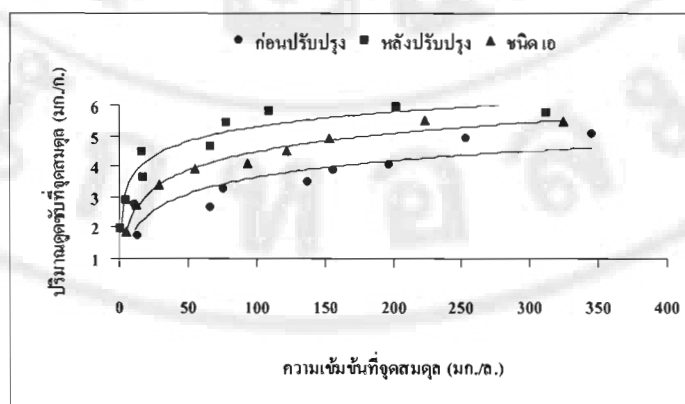
ภาพ 50 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 40-160 พีพีเอ็มด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด



ภาพ 51 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 10-60 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด



ภาพ 52 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 80-200 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด



ภาพ 53 ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100-600 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ ทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อเขียนกราฟตามรูป 50-53 และเมื่อพิจารณาประกอบกับผลการทดลองในขั้นตอนการตรวจสอบลักษณะของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ขนาดรูพรุนของของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีรัศมีขนาดเท่ากับ 54.30, 57.77 และ 43.51 อังสตรอม ตามลำดับ ส่วนขนาดไอออนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตาราง 32 (Lide, 1998)

ตาราง 32 รัศมีเฉลี่ยของประจุโลหะหนัก 4 ชนิด

ประจุ	รัศมีประจุเฉลี่ย (อังสตรอม)
Cd (II)	0.95
Pb (II)	1.29
Cu (II)	0.73
Zn (II)	0.74

เพราะฉะนั้น ไอออนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดจึงสามารถเข้าไปเกาะในรูพรุนของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด โดยเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักน้อย ไคอะทอไมต์จะสามารถดูดซับได้มาก แต่พอเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นจะสามารถดูดได้น้อยลงจนคงที่ เพราะว่าพื้นที่ผิวในการดูดซับมีจำนวนจำกัดเมื่อทำการดูดซับจนเต็มแล้วก็ไม่สามารถดูดซับเพิ่มอีก และลักษณะกราฟที่ได้ยังบอกได้ว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวบนผิวของอนุภาคตามทฤษฎีการดูดซับของ BET (Al-degs et al., 2000) และค่าความจุของไคอะทอไมต์ แสดงดังตาราง 33 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของแลงเมียร์ (Langmuir equation) ตามสมการ 13

$$C_e/q_e = (1/K_L) + (1/Q)C_e \quad \text{-----[13]}$$

กำหนดให้

C_e = ค่าความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุล (มก./ล.)

Q_e = ค่าการดูดซับที่จุดสมดุล (มก./ก.)

K_L = ค่าคงที่การดูดซับ

Q = ค่าความจุ (มก./ก.)

ตาราง 33 ค่าความจุของไคอะทอไมด์ต่อการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

ไคอะทอไมด์	ค่าความจุของการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมด์ (มก./ก.)			
	แคดเมียม	ตะกั่ว	ทองแดง	สังกะสี
ก่อนปรับปรุง	1.632	0.387	2.720	4.040
หลังปรับปรุง	2.527	0.856	3.226	6.097
ชนิด เอ	2.245	0.790	2.945	5.678

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุงให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด รองลงไปเป็นไคอะทอไมด์ชนิด เอ และไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นกับตัวแปรหลายตัว เช่น ปริมาณซิลิกา พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุน ขนาดอนุภาค และโครงสร้างที่ผิวของซิลิกา ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณสมบัติดังกล่าวจากตาราง 10-11 พบว่าไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุง มีพื้นที่ผิวมาก ปริมาตรรูพรุนสูง และโครงสร้างมีกลอรีนจึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณาไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุงกับไคอะทอไมด์ชนิด เอ พบว่าไคอะทอไมด์ชนิด เอ มีปริมาณซิลิกาสูงกว่าไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง แต่มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับมากกว่าปริมาณซิลิกา นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของไคอะทอไมด์ด้วย

การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง

หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ

การเปรียบเทียบปริมาณตัวดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมด์ชนิด เอ

ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวดูดซับ 0.125, 0.250, 0.500 และ 1.000 กรัม นำมาทำการดูดซับในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด ผสมกัน คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ แสดงดังตาราง 34-37 และภาพ 54-57 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลงทุกตัวเพราะเกิดการแย่งจับกันระหว่างไอออนของโลหะทั้ง 4 ชนิดที่ความเข้มข้นแต่ละตัวเท่าเดิมผสมกัน แต่มีพื้นที่ของตัวดูดซับเท่าเดิม ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับของไคอะทอไมด์หลัง

การปรับปรุงมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนไคอะทอไมต์ชนิด เอ สามารถแย่งจับกับทองแดงและตะกั่ว ได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ส่วนไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง สามารถแย่งจับกับ แคลเมียมและสังกะสีได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ชนิด เอ แสดงว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงมีการ เลือกจำเพาะ (selectivity) กับไอออนของแคลเมียมและสังกะสี ส่วนไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีการ เลือกจำเพาะกับไอออนของทองแดงและตะกั่ว

ตาราง 34 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานแคลเมียม
เข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับแคลเมียมของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	0.98	9.26	1.29
0.250	6.46	13.85	6.41
0.500	9.88	22.51	7.72
1.000	12.75	30.75	8.50

ตาราง 35 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
เข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

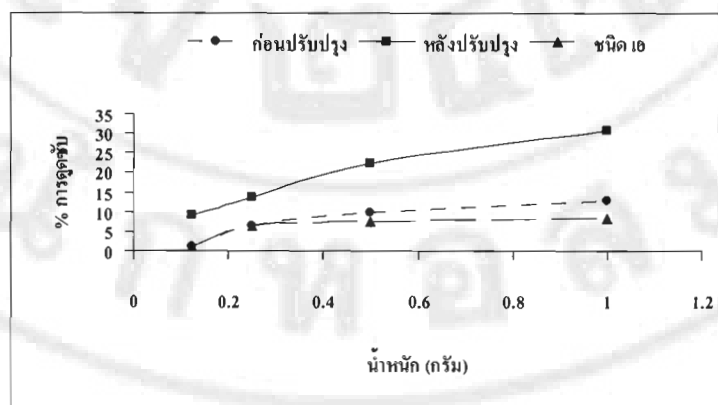
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับตะกั่วของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	52.52	65.79	57.62
0.250	66.38	70.51	73.76
0.500	75.40	82.40	79.04
1.000	79.65	87.20	83.04

ตาราง 36 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง
เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

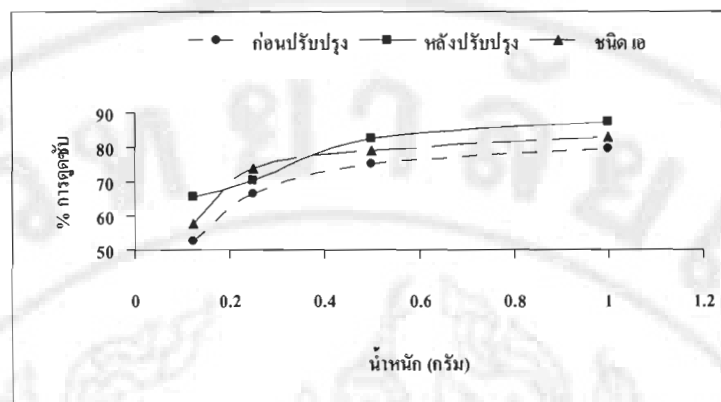
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	15.86	23.84	6.91
0.250	23.52	33.37	23.60
0.500	41.52	52.28	40.91
1.000	42.65	61.60	51.52

ตาราง 37 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสี
เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

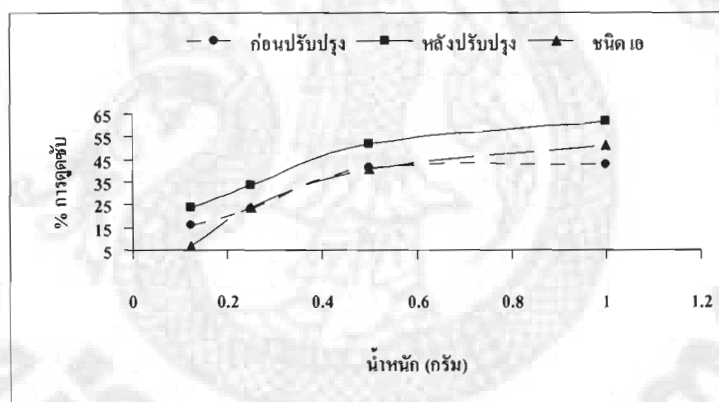
ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	การดูดซับสังกะสีของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
0.125	0.00	6.87	2.20
0.250	5.20	12.70	10.58
0.500	12.00	22.72	13.24
1.000	26.72	35.92	17.06



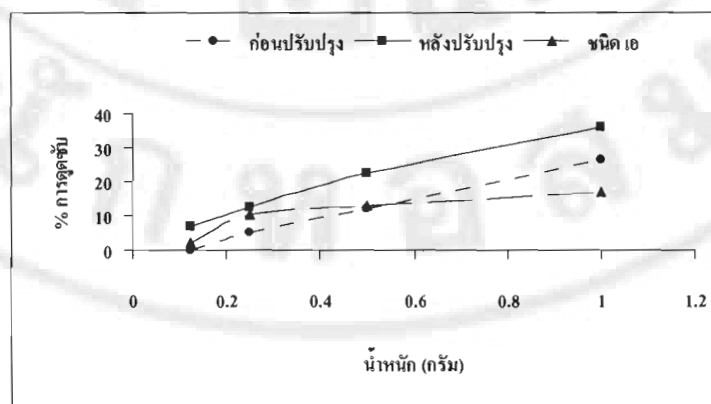
ภาพ 54 กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น
50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 55 กราฟการดูดซับน้ำเสียดังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 56 กราฟการดูดซับน้ำเสียดังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐาน ทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 57 กราฟการดูดซับน้ำเสียดังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณตัวดูดซับต่าง ๆ

การเปรียบเทียบเวลาในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการดูดซับ 1, 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที โดยชั่งไคอะทอไมต์ 1.000 กรัม นำมาทำการดูดซับในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด ผสมกัน คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็มตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นที่เหลืออยู่ และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับ แสดงดังตาราง 38-41 และภาพ 58-61 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลงทุกตัวเพราะเกิดการแย่งจับกันระหว่างไอออนของโลหะทั้ง 4 ชนิดที่ความเข้มข้นแต่ละตัวเท่าเดิมผสมกัน แต่มีพื้นที่ของตัวดูดซับให้จับเท่าเดิม ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนไคอะทอไมต์ชนิด เอ สามารถแย่งจับกับทองแดงและตะกั่วได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ส่วนไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง สามารถแย่งจับกับแคดเมียมและสังกะสีได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ตาราง 38 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ด้วยไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับแคดเมียมของไคอะทอไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	10.48	26.12	4.90
5	10.83	26.51	7.15
10	11.36	26.72	7.82
15	11.48	27.12	9.07
30	12.35	28.09	9.13
60	12.75	30.75	8.50
120	13.00	29.98	8.90

ตาราง 39 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
เข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

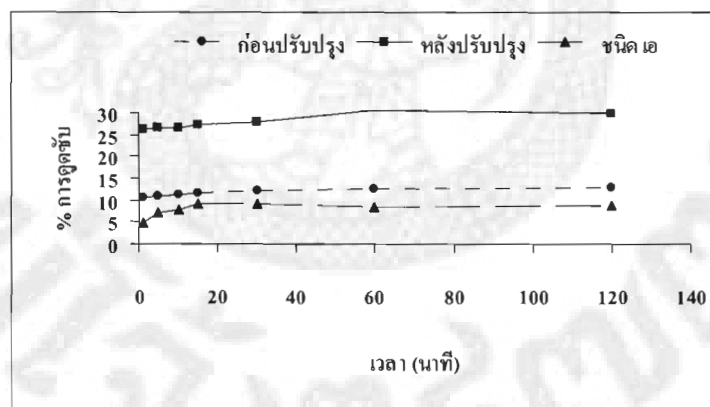
เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับตะกั่วของไดอะทอมไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	70.29	76.84	79.40
5	71.73	78.78	80.70
10	72.07	80.50	81.48
15	72.09	81.56	81.81
30	74.01	85.56	83.31
60	79.65	87.20	83.04
120	80.11	86.95	83.50

ตาราง 40 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง
เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

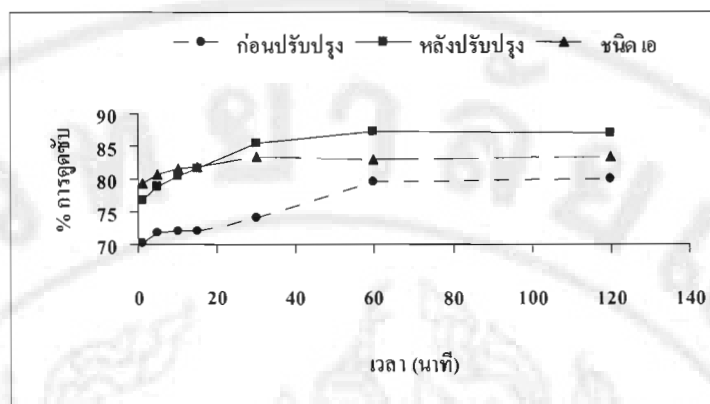
เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับทองแดงของไดอะทอมไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	32.11	52.68	42.77
5	34.27	60.51	47.93
10	37.44	61.18	49.60
15	39.85	61.26	50.10
30	41.85	62.10	50.18
60	42.61	61.60	51.52
120	42.22	61.96	51.44

ตาราง 41 การดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสี
เข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

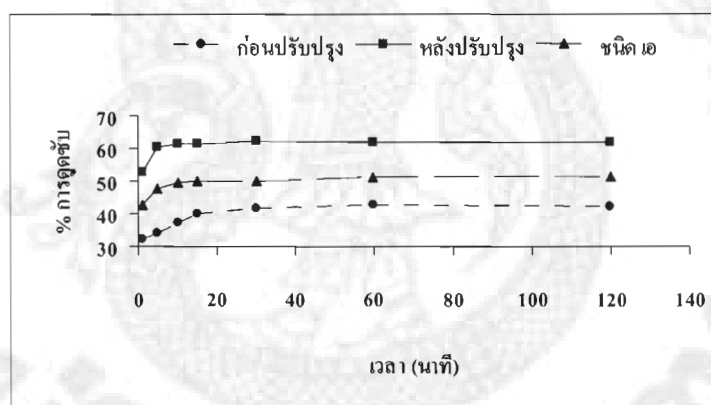
เวลาในการดูดซับ (นาที)	การดูดซับสังกะสีของไดอะทอมไมต์ (%)		
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ชนิด เอ
1	21.36	24.78	8.54
5	21.78	29.07	13.45
10	22.36	34.62	13.78
15	22.94	34.82	15.86
30	24.11	35.15	17.11
60	26.72	35.92	17.06
120	26.88	35.78	17.45



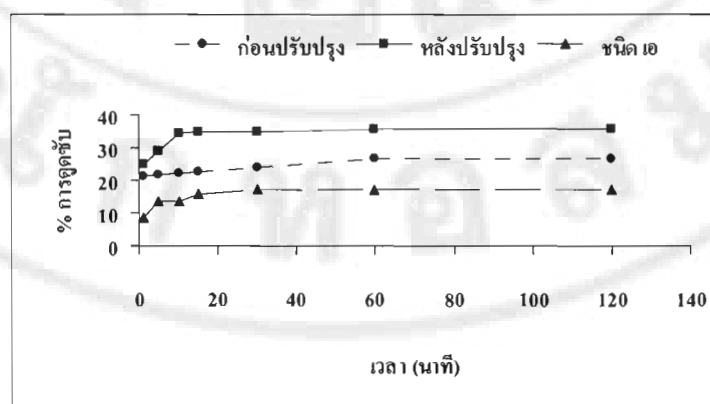
ภาพ 58 กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น
50 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 59 กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ



ภาพ 60 กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ



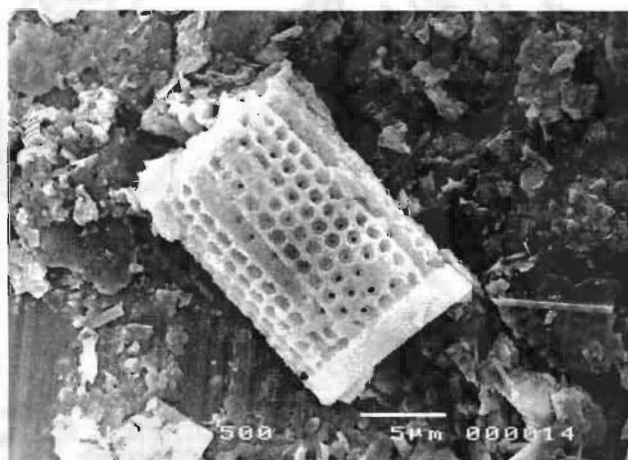
ภาพ 61 กราฟการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมด์ทั้ง 3 ชนิด ที่เวลาการดูดซับต่าง ๆ

การตรวจลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง และไคอะทอไมต์

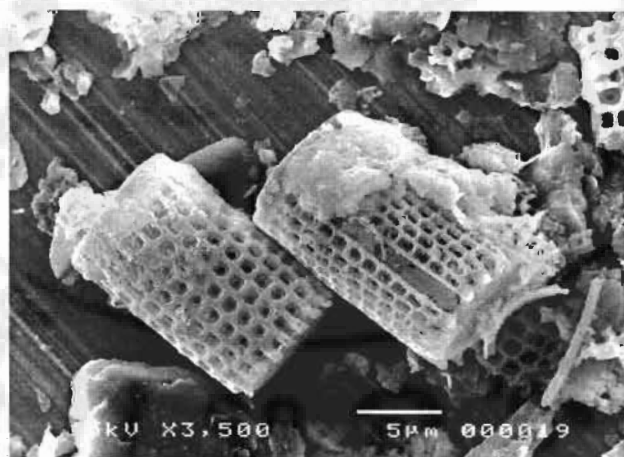
ชนิด เอ หลังการดูดซับโลหะหนัก

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

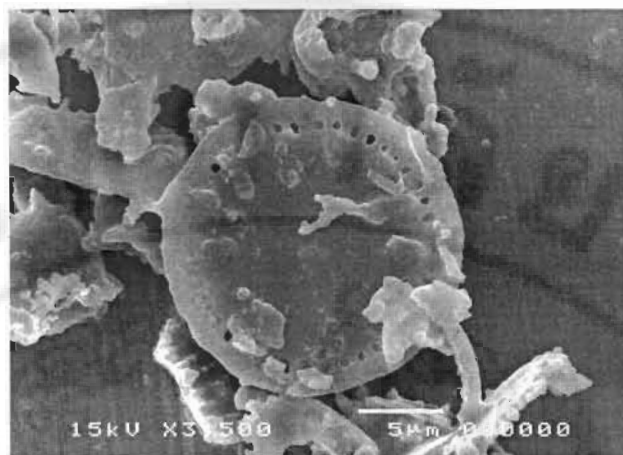
ลักษณะทั่วไปของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด มีรูปร่างไม่ต่างจากก่อนการดูดซับโลหะหนัก แต่จะมีขนาดรูพรุนเล็กลง ดังแสดงในภาพ 62-64



ภาพ 62 SEM ของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก



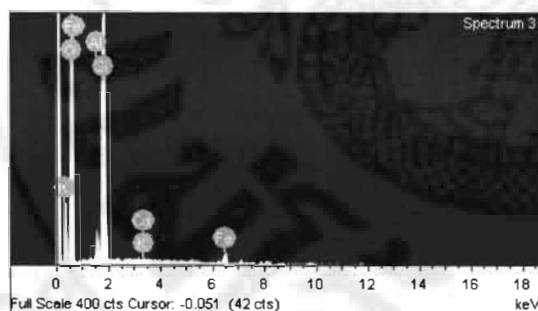
ภาพ 63 SEM ของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก



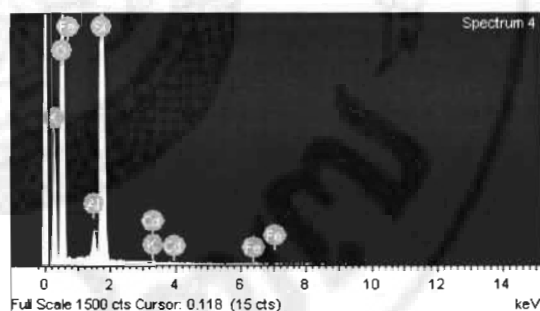
ภาพ 64 SEM ของไคอะทอไมด์ชนิด เอ หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

การหาองค์ประกอบของธาตุโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน (EDS)

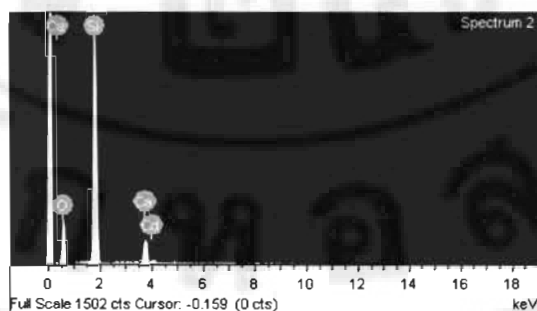
พิกหลังการดูดซับโลหะหนักก็จะพบพิกของโลหะหนักแต่ละชนิดในปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงในภาพ 65 – 68



(ก)



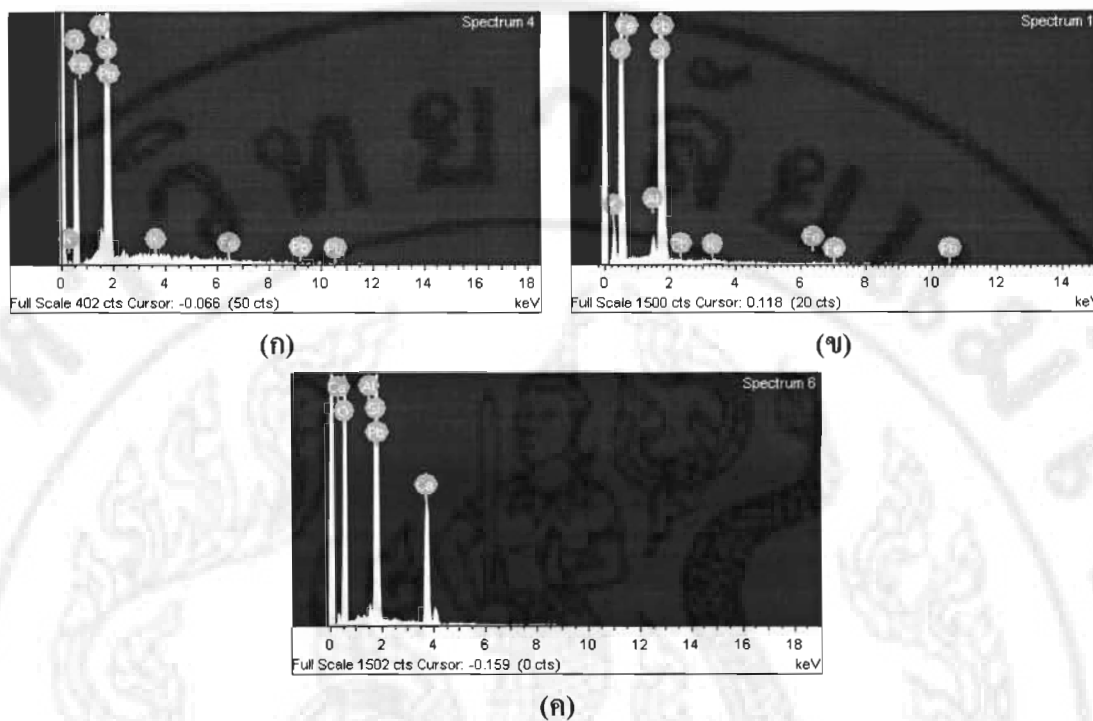
(ข)



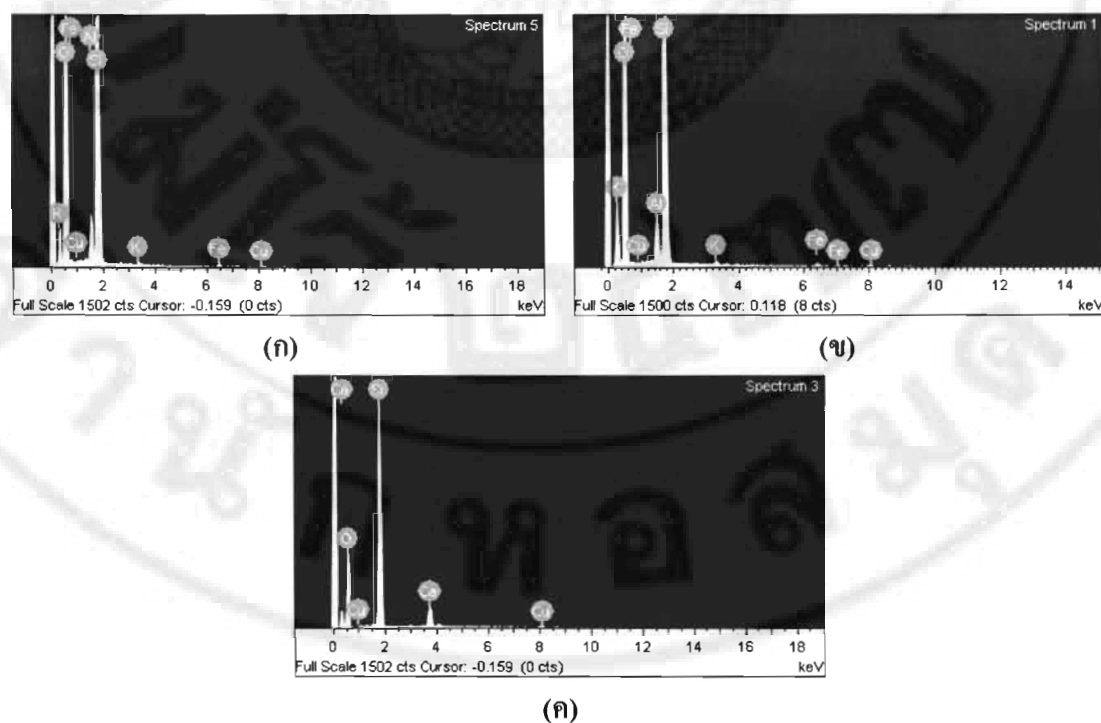
(ค)

ภาพ 65 EDS ของไคอะทอไมด์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

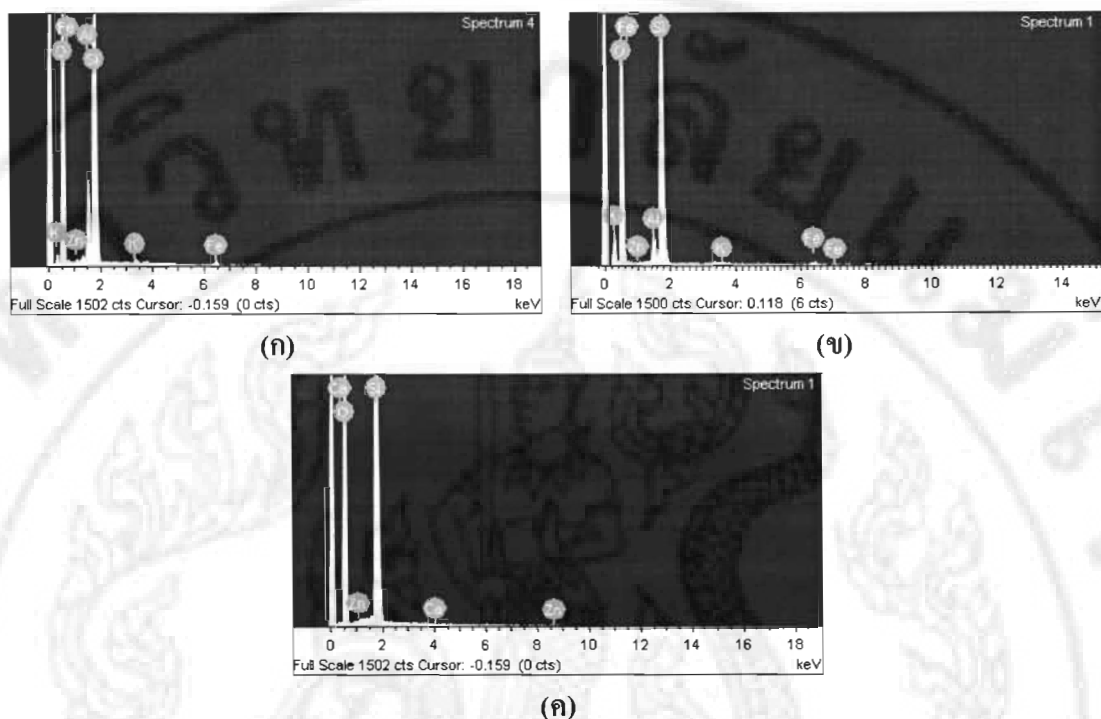
(ก) ก่อนการปรับปรุง (ข) หลังการปรับปรุง (ค) ชนิด เอ



ภาพ 66 EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
(ก) ก่อนการปรับปรุง (ข) หลังการปรับปรุง (ค) ชนิด เอ



ภาพ 67 EDS ของไคอะทอไมต์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง
(ก) ก่อนการปรับปรุง (ข) หลังการปรับปรุง (ค) ชนิด เอ



ภาพ 68 EDS ของไคอะทอไมด์หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี

(ก) ก่อนการปรับปรุง (ข) หลังการปรับปรุง (ค) ชนิด เอ

โดยพีคของแคดเมียม (Cd) มีค่าพลังงาน L_{γ_1} และ L_{lab} เท่ากับ 3.717 และ 4.019 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ พีคของตะกั่ว (Pb) มีค่าพลังงาน M_{α} , L_{λ} และ L_{α} เท่ากับ 2.345, 9.184 และ 10.551 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ พีคของทองแดง (Cu) มีค่าพลังงาน L_{α} และ $K_{\alpha_{1,2}}$ เท่ากับ 0.930 และ 8.041 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ และพีคของสังกะสี (Zn) มีค่าพลังงาน L_{α} และ $K_{\alpha_{1,2}}$ เท่ากับ 1.012 และ 8.631 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำไดอะทอไมต์ ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) จากแหล่งประเทศจีน มาทำการหาสภาวะที่ดีที่สุดในการปรับปรุงโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการดูดซับสารละลายโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม (Cd^{2+}) ตะกั่ว (Pb^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+}) และสังกะสี (Zn^{2+}) ที่มีความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก กับไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง และ ไดอะทอไมต์ชนิด เอ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของไดอะทอไมต์แต่ละชนิดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก ประกอบด้วย การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโกปี (XRF) การตรวจสอบรูปร่างของอนุภาคโดยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) การหาองค์ประกอบของธาตุโดยเทคนิคการวัดกระจายพลังงาน (EDS) การหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายของขนาดอนุภาคโดยเทคนิคการวัดขนาดอนุภาค (Particle size analysis) และการหาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนโดยเทคนิคการวัดพื้นที่ผิว (BET)

สภาวะที่ดีที่สุดในการปรับปรุงไดอะทอไมต์โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก คือการใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ใช้อุณหภูมิในการปรับปรุง 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7 โดยวิธีการปรับปรุงไดอะทอไมต์ทำได้โดยชั่งไดอะทอไมต์ ปริมาณ 10.00 กรัม ใส่ในชุดไฮโดรเทอร์มอล เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 70 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาไฮโดรเทอร์มอล ให้ความร้อนโดยการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็น 7 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ จากนั้นทำการกรอง และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เก็บไว้ในโถสุญญากาศ หรือภาชนะมีฝาปิด

ลักษณะทั่วไปก่อนการดูดซับโลหะหนัก พบว่า รูปร่างของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก มีรูพรุน และไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุง มีปริมาณซิลิกา (SiO_2) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) อะลูมินา (Al_2O_3) ลดลง เนื่องจากถูกกรดไฮโดรคลอริกชะออกไป แต่มีปริมาณโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และ คลอไรด์ไอออน (Cl^-) เพิ่มขึ้น เกิดจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ในขั้นตอนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลาย ๆ ครั้งหลังจากการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนขนาดอนุภาค ขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน และพื้นที่ผิว มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนไดอะทอไมต์

ชนิด เอ มีรูปร่างเป็นจานแบน มีรูพรุน มีปริมาณซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มากกว่าไคอะทอไมต์ก่อนและหลังปรับปรุง และมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า แต่มีขนาดรูพรุน ปริมาตรรูพรุน และพื้นที่ผิวน้อยกว่า

ขั้นตอนการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของไคอะทอไมต์ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น ถ้าเป็นการส่งวิเคราะห์ควรมีการส่งตัวอย่างอย่างน้อย 2 ตัวอย่างขึ้นไปเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ที่แน่นอน ส่วนผลการทดลองที่ได้จากเครื่อง EDS เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเท่านั้น เพราะในการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์เฉพาะจุดเท่านั้น

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย การทดลอง 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ทำการทดลองโดยชั่งไคอะทอไมต์ แต่ละชนิด ปริมาณ 0.125, 0.250, 0.500 และ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงดีที่สุด รองลงมาเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง และยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นจะทำให้ดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้นด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาระยะเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ทำการทดลองโดยชั่งไคอะทอไมต์ แต่ละชนิด ปริมาณ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงดีที่สุด รองลงมาเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง และยังพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากขึ้นจะทำให้ดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่มีการดูดซับคงที่ ณ ระยะเวลา 60 นาที

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก ทำการทดลองโดยชั่งไคอะทอไมต์ แต่ละชนิด ปริมาณ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายมาตรฐานโลหะหนักโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น คือ แคดเมียม (40-160 พีพีเอ็ม) ตะกั่ว (10-60 พีพีเอ็ม) ทองแดง (80-200 พีพีเอ็ม) และสังกะสี (100-600 พีพีเอ็ม) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับซึ่งสังเกตจากค่าความจุสูงสุดของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงดีที่สุด รองลงมาเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และ

ไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง และยังพบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของไคอะทอไมต์ทั้ง 3 ชนิด เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (mono layer) ในขั้นตอนนี้เป็นการหาความจุที่สภาวะของการทดลอง ดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น ส่วนความจุอิมมัตวที่แท้จริงควรมีการเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่าเพื่อให้เกิดการดูดซับแบบอิมมัตว

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการเลือกดูดซับ (selectivity) โลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์ ทำการทดลองโดยชั่งไคอะทอไมต์ แต่ละชนิด ปริมาณ 0.125, 0.250, 0.500 และ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย สารละลายมาตรฐานโลหะหนักผสม 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง พบว่า ไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง มีการเลือกดูดซับต่อโลหะหนักทุกชนิดดีที่สุด ไคอะทอไมต์ชนิด เอ เลือกดูดซับ ตะกั่วและทองแดง ได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ส่วนไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง เลือกดูดซับ แคดเมียมและสังกะสี ได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ชนิด เอ

ขั้นตอนที่ 5 การศึกษาเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อการเลือกดูดซับ (selectivity) โลหะหนัก ในน้ำเสียสังเคราะห์ ทดลองโดยชั่งไคอะทอไมต์ แต่ละชนิด ปริมาณ 1.000 กรัม จากนั้นนำมาทำการดูดซับในสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ประกอบด้วยสารละลายมาตรฐานโลหะหนักผสม 4 ชนิด คือ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 50, 15, 100 และ 100 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่า และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า ไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง มีการเลือกดูดซับต่อโลหะหนักทุกชนิดดีที่สุด ไคอะทอไมต์ชนิด เอ เลือกดูดซับ ตะกั่วและทองแดง ได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง ส่วนไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง เลือกดูดซับ แคดเมียมและสังกะสี ได้ดีกว่าไคอะทอไมต์ชนิด เอ และยังพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับมากขึ้นจะทำให้ดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่มีการดูดซับคงที่ ณ ประมาณเวลา 60 นาที

กล่าวโดยภาพรวมประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงดีที่สุด รองลงมาเป็นไคอะทอไมต์ชนิด เอ และไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณซิลิกา พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และโครงสร้างที่ผิว โดยไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุงมีปริมาณซิลิกาน้อยที่สุด มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน ใกล้เคียงกับไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง สาเหตุที่ทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่าไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงเพราะมีสิ่งเจือปนบนพื้นผิว เช่น เหล็กออกไซด์ อะลูมินา และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ น้อยกว่า ส่วนไคอะทอไมต์ชนิด เอ มีปริมาณซิลิกามากที่สุด แต่มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน น้อยที่สุด และยังมีแคลเซียมอยู่ในโครงสร้าง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย

ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักมากที่สุด ได้แก่ โครงสร้างที่ผิว ปริมาณซิลิกา พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน ตามลำดับ

จากการศึกษา พบว่า ยังมีปริมาณไคอะทอไมต์มากก็จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูง และยิ่งใช้เวลาในการดูดซับนานก็จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูง โดยไคอะทอไมต์จะดูดซับได้สูงสุดในสภาวะการดูดซับที่ไม่มีการกวนใช้เวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักยิ่งเจือจางมากเท่าไรการดูดซับยิ่งดี และสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางมากเท่าไร การดูดซับจะดีที่สุด ดังนั้นจึงสามารถนำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีได้โดยบรรจุไคอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้วลงในภาชนะที่ใช้รองรับน้ำเสีย ทำหน้าที่เหมือนตัวกรอง โดยให้ปริมาณเพียงพอกับปริมาณน้ำเสียที่ปล่อย ควรมีวาล์วเปิด-ปิด เพื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับให้ได้ อย่างน้อย 1 ชั่วโมง และในการทิ้งน้ำเสียควรจะล้างน้ำตามเจือจางความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักและเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางมากที่สุด และถ้าเป็นไปได้อาจจะเพิ่มตัวกวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับและลดระยะเวลาการดูดซับ ก่อนปล่อยสู่ระบบน้ำทิ้ง ส่วนการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมก็ใช้หลักการเดียวกัน และการประยุกต์ใช้อื่น ๆ เช่น ใช้เป็นตัวกรองในการผลิตน้ำดื่ม สามารถทำได้โดยการนำไคอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้วมาอัดเป็นแท่ง ทำหน้าที่เป็นไส้กรองบรรจุในตัวกรองน้ำ ทำหน้าที่ร่วมกับไส้กรองชนิดอื่น ๆ

บรรณานุกรม

- กาญจนะ แก้วกำเนิด. 2545. การผลิตตัวช่วยกรองในอุตสาหกรรม. เชียงใหม่: ศูนย์ทรัพยากรเซรามิก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 98 น.
- กรมทรัพยากรธรณี. ม.ป.ป. ดินเบา (ไดอะทอมไมต์). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http:// www.dmr.go.th/knowledge/BMR_Publication/Min_Assess/_private/Diatomite.htm](http://www.dmr.go.th/knowledge/BMR_Publication/Min_Assess/_private/Diatomite.htm) (15 มกราคม 2550).
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชชัย. 2525. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 689 น.
- ณรงค์ศักดิ์ อังคะสุวพลา. 2542. “โรคพิษตะกั่ว (Lead Poisoning)”. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. เล่มที่ 22 กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด. น. 265-267.
- คารารัตน์ รื่นรมย์สุข. 2547. คู่มือการจัดการของเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ. 32 น.
- นภัสส์ จันทร์มี. 2548. วัสดุตัวกรองจากไดอะทอมไมต์เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในภาชนะน้ำท่วม: รายงานผลการวิจัย เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 42 น.
- ปวีตรา ประจักษ์กะตา. ม.ป.ป. การพัฒนาตัวกลางในการกรองจากไดอะทอมไมต์สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการชุบโลหะ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.irpus.org/project_file/2548_2006-08-28_14806016.pdf (15 มกราคม 2550).
- พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. 2549. โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7> (15 มกราคม 2550).
- พรรณนภา ศักดิ์สูง. 2526. พิษของโลหะหนักต่อสารพันธุกรรม สังกะสี. วิทยาศาสตร์ 17(2): 38-44.
- มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. ม.ป.ป. Scanning Electron Microscope (SEM). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://phys.sci.ubu.ac.th/~tanin/photo473/case_study/electron.ppt#308,31, ภาพนิ่ง 31 (15 มกราคม 2550).
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. 2539. หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ (Principle and techniques of instrumental analysis). กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์. 886 น.
- รุจิพร ประทีปเสน. 2538. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5(1): 49-55.
- รพีพร สุทาธรรม. 2548. ระดับปริมาณโลหะหนักในอาหาร. วารสารสถาบันอาหาร 6(39): 15-20.

- วิรัช เรืองศรีตระกูล. 2548. การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว สารหนู แคดเมียม ทองแดงและสังกะสีใน
 ยานพาหนะไทย โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตเมตรี. *วารสารวิจัย มข.* 10(2):
 135-140.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. **เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงาน เบื้องต้น.**
 กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 400 น.
- เยาวลักษณ์ ศรีสุวรรณ. 2547. การตกตะกอนอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อกำจัดโลหะหนักในกาก
 ของเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี. *วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม* 23(1): 9-16.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ม.ป.ป. **ซากดึกดำบรรพ์ (Fossils).** [ระบบ
 ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ipst.ac.th/science/known_08_5.shtml (15 มกราคม
 2550).
- สุคนธ์ พานิชพันธ์. 2549. **การสังเคราะห์วัสดุนาโนต่ำกว่าไมครอนและวัสดุนาโนด้วย**
กระบวนการเคมี (Synthesis of submicron and nano material by chemical process).
 เชียงใหม่ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 219 น.
- สันศักดิ์ สิริอนันต์ไพบูลย์. 2543. การศึกษาความเหมาะสมในการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย
 จากโรงงานผลิตสี. *วิศวกรรมสาร มข.* 26(1-2): 59-81.
- อิทธิพล เคี้ยววนิชย์. 2550. **กลไกการดูดซับสำหรับการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของ**
โลหะ. กรุงเทพฯ: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. 21 น.
- Al-degs, Y., M.F. Tutuji and R.A. Shawabkeh. 2000. The Feasibility of Using Diatomite and
 Mn-Diatomite for Remediation of Pb^{2+} , Cu^{2+} and Cd^{2+} from Water. *Separation Science*
Technology 35: 2299-2310.
- Al-degs, Y., M.A.M. Khraisheh and M.F. Tutuji. 2001. Sorption of lead ions on diatomite and
 manganese oxides modified diatomite. *Water Research* 35: 3724-3728.
- Al-Ghouti, M.A., M.A.M. Khraisheh, S.J. Allen and M.N. Ahmad. 2003. The removal of dyes
 from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption
 mechanisms of diatomaceous earth. *Journal of Environmental Management* 69: 229–
 238
- Goren, R. 2002a. **A Study on the Purification of Diatomite in Hydrochloric Acid.** [Online].
 Available [http://www.blackwell-synergy.com/links/doi/10.1034/j.1600-0692.2002.](http://www.blackwell-synergy.com/links/doi/10.1034/j.1600-0692.2002.310205.x/abs)
 310205.x/abs (10 February 2007).

- _____. 2002b. **Effects of Purification and Heat Treatment on Pore Structure and Composition of Diatomite.** [Online]. Available [http:// cat.inist.fr/ ?aModele=afficheN&cpsidt=13893162](http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=13893162) (10 February 2007).
- Hashimoto, H., T. Nagumo, T. Inaba, Y. Furukawa, M. Okui, and S. Fukushima. 2005. Particle size distribution analysis for nano-SiO₂ powder by ultra-small angle X-ray scattering (USAXS) using synchrotron radiation. **Applied Surface Science** 241: 227-230.
- Karadeniz Gunes Mining Co., Ltd. 2006. **Raw Diatomite.** [Online]. Available [http:// www.ecplaza.net/tradeleads/seller/4312313/sell_raw_diatomite.html#none](http://www.ecplaza.net/tradeleads/seller/4312313/sell_raw_diatomite.html#none) (10 February 2007).
- Kutchko, B.G. and G. A. Kim. 2006. Fly ash characterization by SEM-EDS. **Fuel** 85: 2537-2544.
- Lide., D. R. 1998. **CRC Handbook of Chemistry and Physics.** 79th ed. Washington D.C.: CRC press. 1629 p.
- Malvern Co., Ltd. No date. **Mastersizer-S (Malvern).** [online]. Available [http:// www.malvern.com](http://www.malvern.com) (10 February 2007).
- _____. No date. **Mastersizer 2000.** [Online]. Available http://www.malvern.co.uk/common/downloads/MRK501-02_LR.pdf (10 February 2007).
- schoolnet. ม.ป.ป. ทองแดง. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www. school. net.th/ library/snet5/topic2/Cu.html](http://www.school.net.th/library/snet5/topic2/Cu.html) (15 มกราคม 2550).
- Somerset, V.S., L.F. Petrik, R.A. White, M.J. Klink, D. Keyb and E. Iwuoha. 2004. The use of X-ray fluorescence (XRF) analysis in predicting the alkaline hydrothermal conversion of fly ash precipitates into zeolites. **Talanta** 64: 109-114.
- Thermo scientetific Co., Ltd. no date. **Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS/EDX).** [Online]. Available [http://www.thermo.com/ com/cda/ technology/detail/12700,00. html](http://www.thermo.com/com/cda/technology/detail/12700,00.html) (10 February 2007).
- Tsalakanido. I. 2006. **Potential of reactive filter materials for small-scale wastewater treatment in Greece- Batch & Column experiments.** Master thesis. Aristotle University of Thessaloniki. 140 p.
- Venkateswarlu. No date. **Lasers particle size analysis.** [Online]. Available [www. che.iitm. ac.in/~abhijit/ch204/laser%20diff.ppt](http://www.che.iitm.ac.in/~abhijit/ch204/laser%20diff.ppt) (10 February 2007).

Wen-Tien, T., L. Chi-Wei and H. Kuo-Jong. 2006. Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching. **Journal of Colloid Interface Science** 297: 749-754.

XRF Laboratory. no date. **Elemental Analysis Using the XRF Technique**. [Online].

Available http://omega.physic.uoi.gr/xrf/english/the_xrf_technique.htm (10 February 2007).



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1, 3 และ 5 โมลาร์ จากกรดไฮโดรคลอริก 36.5 %

$$\begin{aligned} \text{- HCl 36.5 \%} &= (10\%D)/M \text{ โมลาร์} \\ &= [10(36.5)(1.15)]/36.45 \text{ โมลาร์} \\ &= 11.49 \text{ โมลาร์} \end{aligned}$$

- เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 11.49 โมลาร์

$$\begin{aligned} * \text{ ต้องการ HCl 11.49 โมลาร์} &= (C_2V_2)/C_1 \\ &= [1(1000)]/11.49 \\ &= 87 \text{ มิลลิลิตร ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

- เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 11.49 โมลาร์

$$\begin{aligned} * \text{ ต้องการ HCl 11.49 โมลาร์} &= (C_2V_2)/C_1 \\ &= [3(1000)]/11.49 \\ &= 261 \text{ มิลลิลิตร ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

- เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 5 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 11.49 โมลาร์

$$\begin{aligned} * \text{ ต้องการ HCl 11.49 โมลาร์} &= (C_2V_2)/C_1 \\ &= [5(1000)]/11.49 \\ &= 435 \text{ มิลลิลิตร ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

$$\begin{aligned} \text{- ต้องการ NaOH 0.1 โมลาร์} &= 0.1 \text{ โมล/ลิตร} \\ \text{- ต้องชั่ง NaOH} &= M.L.M_w \\ &= (0.1)(1)(40) \text{ กรัม} \\ &= 4 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd^{2+}) 1000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากแคดเมียมซัลเฟต ($3CdSO_4 \cdot 8H_2O$) 98 %

$$\text{- ต้องการ } Cd^{2+} \text{ 1000 พีพีเอ็ม} = 1000 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 1 \text{ กรัม/ลิตร}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ต้องชั่งแคดเมียมซัลเฟต} &= [(3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) / (3\text{Cd})][100/\%] \\
 &= [769.52/3(112.41)][100/98] \\
 &= 2.3284 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

1.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb^{2+}) 1000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากเลดไนเตรท ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 99 %

$$\begin{aligned}
 - \text{ต้องการ } \text{Pb}^{2+} \text{ 1000 พีพีเอ็ม} &= 1000 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 1 \text{ กรัม/ลิตร} \\
 - \text{ต้องชั่งเลดไนเตรท} &= [(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) / \text{Pb}][100/\%] \\
 &= [331.21/207.2][100/99] \\
 &= 1.6146 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

1.5 การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu^{2+}) 1000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากคอปเปอร์ไนเตรท ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$) 99 %

$$\begin{aligned}
 - \text{ต้องการ } \text{Cu}^{2+} \text{ 1000 พีพีเอ็ม} &= 1000 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 1 \text{ กรัม/ลิตร} \\
 - \text{ต้องชั่งคอปเปอร์ไนเตรท} &= (\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}) / \text{Cu}][100/\%] \\
 &= [232.59/63.546][100/99] \\
 &= 3.5843 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

1.6 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn^{2+}) 1000 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากซิงค์ไนเตรท ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 99 %

$$\begin{aligned}
 - \text{ต้องการ } \text{Zn}^{2+} \text{ 1000 พีพีเอ็ม} &= 1000 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} = 1 \text{ กรัม/ลิตร} \\
 - \text{ต้องชั่งซิงค์ไนเตรท} &= [(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) / \text{Zn}][100/\%] \\
 &= [297.47/65.39][100/99] \\
 &= 4.5951 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณการตกตะกอนสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

2.1 การคำนวณความเป็นกรด-ด่างในการตกตะกอนสารละลายมาตรฐานโลหะแคดเมียม เข้มข้น 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

กำหนดให้

$$\begin{aligned}
 - K_{sp} \text{ ของ } \text{Cd}(\text{OH})_2 &= 7.2 \times 10^{-15} \\
 - \text{Cd}^{2+} \text{ 50 พีพีเอ็ม} &\text{ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร มี } \text{Cd}^{2+} \text{ 50 มิลลิกรัม} \\
 &\text{ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร มี } \text{Cd}^{2+} \text{ 1 มิลลิกรัม} \\
 &\text{ หรือ } 8.90 \times 10^{-6} \text{ โมลาร์}
 \end{aligned}$$

หมายความว่าโลหะตะกั่วเข้มข้น 15 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนเมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 8.0

2.3 การคำนวณความเป็นกรด-ด่างในการตกตะกอนสารละลายมาตรฐานโลหะทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

กำหนดให้ - K_{sp} ของ $\text{Cu}(\text{OH})_2 = 4.8 \times 10^{-20}$

- Cu^{2+} 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร มี Cu^{2+} 100 มิลลิกรัม
 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร มี Cu^{2+} 2 มิลลิกรัม
 หรือ 3.15×10^{-5} โมลาร์

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ} \quad K_{sp} &= [\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \\ 4.8 \times 10^{-20} &= 3.15 \times 10^{-5} [\text{OH}^-]^2 \end{aligned}$$

$$4.8 \times 10^{-20} / 3.15 \times 10^{-5} = [\text{OH}^-]^2$$

$$1.52 \times 10^{-18} = [\text{OH}^-]^2$$

$$3.8 \times 10^{-8} = [\text{OH}^-]$$

$$\text{ซึ่ง} \quad \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

$$\text{pOH} = -\log (3.8 \times 10^{-8})$$

$$\text{pOH} = 7.4$$

$$\text{หรือ} \quad \text{pH} = 14 - 7.4$$

$$= 6.6$$

หมายความว่าโลหะทองแดงเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนเมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 6.6

2.4 การคำนวณความเป็นกรด-ด่างในการตกตะกอนสารละลายมาตรฐานโลหะสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

กำหนดให้ - K_{sp} ของ $\text{Zn}(\text{OH})_2 = 3.0 \times 10^{-17}$

- Zn^{2+} 50 พีพีเอ็ม ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร มี Zn^{2+} 100 มิลลิกรัม
 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร มี Zn^{2+} 2 มิลลิกรัม
 หรือ 3.06×10^{-5} โมลาร์

$$\text{แทนค่าในสมการ} \quad K_{sp} = [\text{Zn}^{2+}][\text{OH}^-]^2$$

$$3.0 \times 10^{-17} = 3.06 \times 10^{-5} [\text{OH}^-]^2$$

$$\begin{aligned}
 3.0 \times 10^{-17} / 3.06 \times 10^{-5} &= [\text{OH}^-]^2 \\
 9.8 \times 10^{-11} &= [\text{OH}^-]^2 \\
 9.9 \times 10^{-6} &= [\text{OH}^-] \\
 \text{ซึ่ง } \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\
 \text{pOH} &= -\log (9.9 \times 10^{-6}) \\
 \text{pOH} &= 5.0 \\
 \text{หรือ } \text{pH} &= 14 - 5.0 \\
 &= 9.0
 \end{aligned}$$

หมายความว่าโลหะสังกะสีเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนเมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 9.0

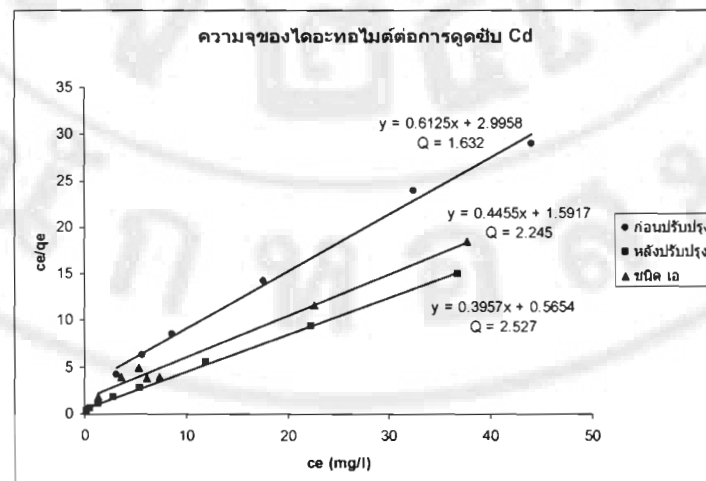
3. การคำนวณค่าความจุ (Q) ของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับโลหะหนัก

สามารถคำนวณได้จากสมการของเลงเมียร์ (Langmuir equation)

$$C_e/q_e = (1/K_L) + (1/Q)C_e \quad \text{-----[13]}$$

ซึ่งสามารถหาค่าความจุ (Q) ของไคอะทอไมต์ได้จากการเขียนกราฟระหว่าง C_e กับ C_e/q_e จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งมี ค่าความชัน (m) เท่ากับ $1/Q$

3.1 ค่าความจุของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับแคดเมียม



$$1/Q = m$$

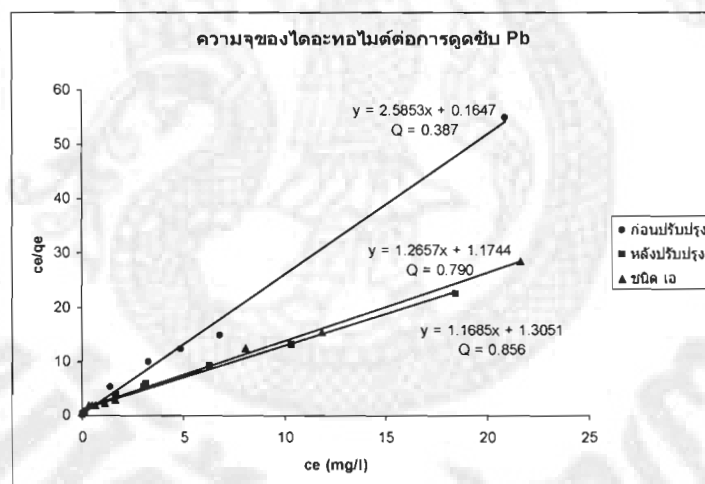
$$\text{ค่าความจุ (Q)} = 1/m$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง} &= 1/0.6125 \\ &= 1.632 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง} &= 1/0.3957 \\ &= 2.527 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ชนิด เอ} &= 1/0.4455 \\ &= 2.245 \end{aligned}$$

3.2 ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ต่อการดูดซับตะกั่ว



$$1/Q = m$$

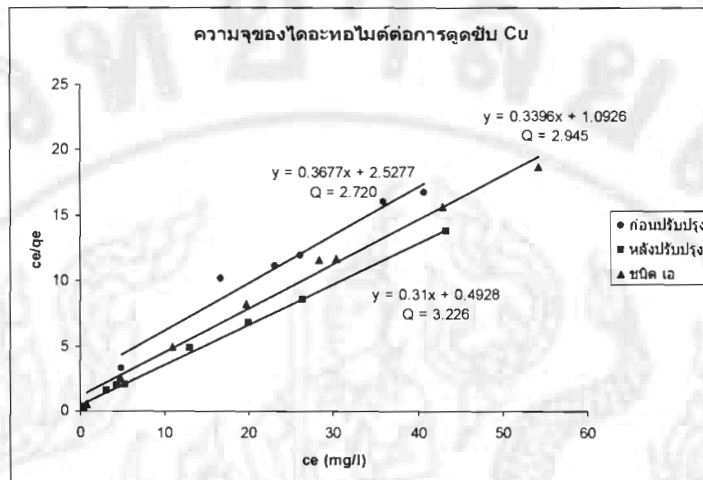
$$\text{ค่าความจุ (Q)} = 1/m$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง} &= 1/2.5853 \\ &= 0.387 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง} &= 1/1.2685 \\ &= 0.856 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ชนิด เอ} &= 1/1.2657 \\ &= 0.790 \end{aligned}$$

3.3 ค่าความจุของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับทองแดง



$$1/Q = m$$

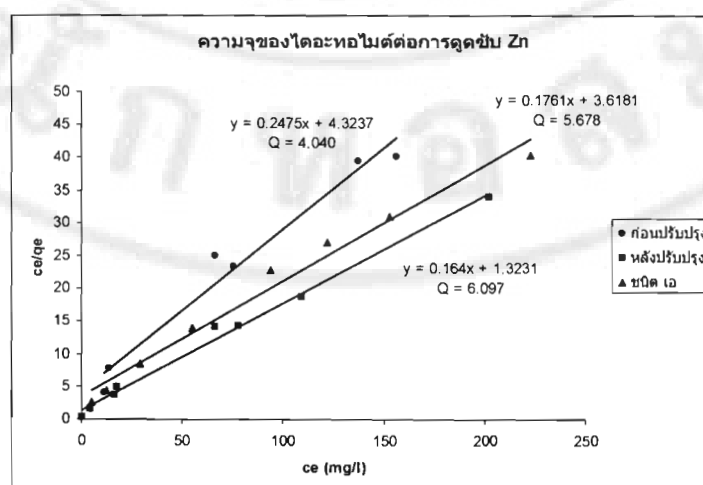
$$\text{ค่าความจุ (Q)} = 1/m$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง} &= 1/0.3677 \\ &= 2.720 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไคอะทอไมต์หลังการปรับปรุง} &= 1/0.31 \\ &= 3.226 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความจุของไคอะทอไมต์ชนิด เอ} &= 1/0.3396 \\ &= 2.945 \end{aligned}$$

3.4 ค่าความจุของไคอะทอไมต์ต่อการดูดซับสังกะสี



$$\begin{aligned} 1/Q &= m \\ \text{ค่าความจุ (Q)} &= 1/m \\ \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง} &= 1/0.2475 \\ &= 4.040 \\ \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง} &= 1/0.164 \\ &= 6.097 \\ \text{ค่าความจุของไดอะทอมไมต์ชนิด เอ} &= 1/0.1761 \\ &= 5.678 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข
ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพงศ์เทพ จันทรสันเทียะ
เกิดวันที่	25 มกราคม 2522
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จ.บุรีรัมย์ พ.ศ. 2545 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2547 เจ้าหน้าที่ประกันคุณภาพ บริษัททำชนะน้ำมันปาล์ม จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี พ.ศ. 2548 นักเคมี บริษัทชินิท มาบนิ่ง จำกัด จ. กรุงเทพมหานคร
การเสนอผลงาน	P. Pookmanee, P. Jansanthea and S. Phanichphant. 2007. Characterization and adsorption of heavy metals on natural diatomite. Proceeding of 5 th Eco-Energy and Material Science and Engineering Symposium 2007. 213-215. P. Pookmanee, P. Jansanthea and S. Phanichphant. 2008. Adsorption of heavy metals onto modified diatomite. Proceeding of 25 th Microscopy Society of Thailand 2008 Annual Conference. 133-134. P. Pookmanee, P. Jansanthea and S. Phanichphant. 2008. Adsorption of some heavy metals on modified diatomite. Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference 2008. 93-96. P. Jansanthea, P. Pookmanee and S. Phanichphant. 2008. Adsorption of cadmium ion onto natural and modified diatomite. Proceeding of the 34 th Congress on Science and Technology of Thailand. 131.