



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การดูดซับของโลหะหนักจากน้ำเสียโดยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว
ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTEWATER BY
MODIFIED DIATOMITE

โดย

ภูสิต ปุณณณิ จิราภรณ์ กิตติกุล ภัสสรณ์พัฒน์ ศรีวิชัย



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การดูดซับของโลหะหนักจากน้ำเสียโดยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว
(ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTEWATER BY
MODIFIED DIATOMITE)

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550
จำนวน 350,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายภูสิต ปุ๊กมณี
ผู้ร่วมโครงการ นางสาวจิราภรณ์ กิตติกุล
นางภัทสรพัฒน์ ศรีวิชัย

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

21 มีนาคม 2551

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2550 และขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในการติดต่อประสานงานและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศักดิ์ชัย เสถียรพิระกุล หัวหน้าภาควิชาเคมีและบุคลากรภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวก สำหรับการใช้อห้องปฏิบัติการเคมี เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรมิเตอร์ อุปกรณ์และเครื่องแก้ว รวมทั้งช่วยประสานงานทางด้านเอกสารทางราชการ ในการติดต่อกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อภิเชษฐ์ บุญสูงและคุณมยุรี พรหมพุดรา ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ สำหรับการใช้อุปกรณ์เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์

ขอขอบพระคุณคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นิทัศน์ จิระอรุณและคุณนงคราญ ไชยวงศ์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ สำหรับการใช้อุปกรณ์วัดขนาดอนุภาค และเครื่องวัดพื้นที่ผิวและรูพรุน

ขอขอบพระคุณคุณ รองศาสตราจารย์ ดนุวัติ เพ็งอ้นและอาจารย์ปราโมทย์ ขลิบเงิน ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ สำหรับการใช้อุปกรณ์จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนและเครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์

และขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนในการสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

การดูดซับของโลหะหนักจากน้ำเสียโดยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว ADSORPTION OF HEAVY METALS FROM WASTEWATER BY MODIFIED DIATOMITE

ภูสิต ปุกมณี¹ จิราภรณ์ กิติกุล¹ ภัสสรพัฒน์ ศรีวิชัย²

PUSIT POOKMANEE¹ JIRAPORN KITIKUL¹ PASSAPAN SRIWICHAI²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ ที่ผ่านการปรับปรุงผ่านวิธีทางเคมี ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3-7 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำปฏิกิริยากับไดอะทอมไมต์ และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโคปี พบว่า ไดอะทอมไมต์ก่อนปรับปรุงมีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับ 92.42% และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับ 2.54% และไดอะทอมไมต์หลังปรับปรุง มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับ 92.77% และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับ 2.14% โดยสอดคล้องกับวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยเทคนิคการวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทรสโคปี จากนั้นทำการหาปริมาณโลหะหนักโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโทรสโคปี พบว่า ไดอะทอมไมต์ก่อนปรับปรุงมีการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม เท่ากับ 91.95%, 99.15%, 100% และ 95.49% ตามลำดับ และไดอะทอมไมต์หลังปรับปรุงมีการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม เท่ากับ 98.97%, 87.13%, 100% และ 71.86% ตามลำดับ ทำการหาลักษณะพื้นฐานวิทยาโดยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ไดอะทอมไมต์มีรูปร่างเป็นแบบทรงกระบอกและเป็นแผ่น มีพื้นที่ผิวจำเพาะ เท่ากับ 24.84 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุน เท่ากับ 4.81 นาโนเมตร และขนาดของอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ

22.71 ไมโครเมตร โดยสอดคล้องกับการวิเคราะห์โดยเทคนิคการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและเทคนิคการหาขนาดของรูพรุน

ABSTRACT

In this research, it has been increased an efficiency of heavy metals absorption on modified diatomite by chemical method that using 3 to 7 M hydrochloric acid (HCl) for 1, 3 and 5 h. Diatomite was analyzed by X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). Natural diatomite contains silicon dioxide (SiO_2) and iron oxide (Fe_2O_3) of 92.42% and 2.54%. Modified diatomite contains silicon dioxide (SiO_2) and iron oxide (Fe_2O_3) of 92.77% and 2.14% with correspond the data analysis from energy dispersive spectroscopy (EDS). Heavy metals in standard solutions were investigated by atomic absorption spectroscopy (AAS). The adsorption of the standard solution of copper, cadmium, lead and zinc with 10 ppm on natural diatomite of 91.95%, 99.15%, 100% and 95.49%, and the adsorption of modified diatomite was 98.97%, 87.13%, 100% and 71.86%, respectively. The morphology was studied by scanning electron microscopy (SEM). The particle size was generally cylinder and plate in shape with the specific surface are of $24.84 \text{ m}^2/\text{g}$, the average pore size of 4.81 nm and the average size of $22.71 \text{ }\mu\text{m}$ corresponding with the data of particle size analysis and BET method.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	19
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	23
ผลการวิจัย	31
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	82
เอกสารอ้างอิง	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ส่วนประกอบทางเคมีของไดอะทอไมต์จากแหล่งธรรมชาติต่างๆ
2	การผลิตไดอะทอไมต์ของประเทศต่างๆตั้งแต่ปี 1999-2003
3	การวิเคราะห์องค์ประกอบของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโกปี
4	สภาวะเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง
5	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดง
6	พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง
7	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้นต่างๆด้วยไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง
8	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 พีพีเอ็มด้วยไดอะทอไมต์ปรับปรุงแล้ว
9	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็มด้วยไดอะทอไมต์ปรับปรุงแล้ว
10	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม
11	พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม
12	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้นต่างๆด้วยไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง
13	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็มด้วยไดอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว
14	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็มด้วยไดอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว
15	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว
16	พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ตารางที่		หน้า
17	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง	45
18	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว	46
19	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว	47
20	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี	48
21	พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี	49
22	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง	49
23	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว	50
24	ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว	51
25	ผลการหาขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงชั้นตะกอนของไดอะทอไมต์ที่ทับถมยึดกันแน่นได้ชั้นกรวดทรายบริเวณเหมืองบ้านฟอน จังหวัดลำปาง	2
2.	แสดงแผนภาพองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี	10
3	แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโตโฟมิเตอร์	12
4	ส่วนประกอบและหลักการทำงานเบื้องต้นของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	15
5	ลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง	17
6	แผนผังการปรับปรุงคุณภาพไดอะทอไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ	26
7	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดงหลังการดูดซับด้วยไดอะทอไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม	34
8	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมหลังการดูดซับด้วยไดอะทอไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม	39
9	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังการดูดซับด้วยไดอะทอไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม	44
10	ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีหลังการดูดซับด้วยไดอะทอไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม	48
11	SEM ของไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง	52
12	SEM ของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง	53
13	SEM ของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง	54
14	SEM ของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง	56

ภาพที่	หน้า
15 SEM ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและ ผ่านการดูดซับโดยสารละลายมาตรฐาน (ก) ทองแดง(ข) แคดเมียม (ค) ตะกั่ว และ (ง) สังกะสี	57
16 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ ผ่านการดูดซับ สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5, 10 และ 5 พีพีเอ็ม	58
17 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10, 10 และ 5 พีพีเอ็ม	59
18 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ และผ่านการดูดซับโดยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น (ก) 5 และ (ข) 10 พีพีเอ็ม	60
19 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังดูดซับ สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5, 10 และ 10 พีพีเอ็ม	61
20 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง	62
21 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง	64
22 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง	66
23 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง	68
24 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและผ่านการดูดซับ สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	69
25 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังดูดซับ สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5, 10 และ 5 พีพีเอ็ม	71
26 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	72

ภาพที่	หน้า
27 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ และ (ค) 7 โมลาร์ และผ่าน การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	74
28 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	75
29 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ และผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	76
30 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม	77
31 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ และผ่านการดูดซับ สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5, 10 และ 10 พีพีเอ็ม	79
32 ขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและผ่านการทำ อัลตราโซนิก เป็นเวลา(ก) 0 (ข) 2 และ (ค) 4 นาที	81
33 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม	82
34 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม	83
35 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม	84
36 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม	85

อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
AAS	เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรสโคปี
BET	เทคนิคการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน
EDS	เทคนิคการกระจายพลังงาน สเปกโทรสโคปี
LOI	ร้อยละการสูญเสียของน้ำหนักเนื่องจาก การเผาไหม้
SEM	เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน
XRFS	เทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโคปี
keV	กิโลอิเล็กตรอนโวลต์
μm	ไมโครเมตร



บทนำ

1.1 ไดอะทอมไมต์ (Diatomite)^[1,2]

ไดอะทอมไมต์ คือ หินตะกอนชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการเกิดเป็นชั้นๆ มีสีขาวจนถึงน้ำตาลอ่อนเกิดจากฟอสซิลขนาดเล็กละเอียดของพืชเซลล์เดียวในอดีตกาล เรียกว่า ไดอะตอม (Diatom) มีชื่อเรียกอยู่หลายชื่อ โดยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดลักษณะหรือชนิดของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ เช่น kieselguhr, diatomaceous earth เป็นต้น แต่ในประเทศไทย เรียกว่า ดินเบา เนื่องจากแร่นี้มีน้ำหนักเบามาก โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาซึ่งเป็นหินพวก Siliceous ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยซากไดอะตอม เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งขณะที่ไดอะตอม มีชีวิตอยู่จะแขวนลอยอยู่ตามผิวน้ำ และมีความสามารถพิเศษในการดึงเอาซิลิกาที่ละลายอยู่ในน้ำไปสร้างเป็นโครงสร้างของตัวมันเอง ไดอะทอมไมต์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีสมบัติเด่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน เช่น ความบริสุทธิ์ การมีความพรุนตัวสูง การมีพื้นที่ผิวมาก มีความคงทนด้านเคมี และเป็นตัวนำความร้อนที่ต่ำ จึงมีการเอาไดอะทอมไมต์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้อย่างหลากหลาย

1.2 การกำเนิดของไดอะทอมไมต์

ต้นกำเนิดของไดอะทอมไมต์ คือ ไดอะทอมไมต์ที่ยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งเป็นพืชไร้ดอกขนาดเล็กที่มีความสามารถในการแยกซิลิกาจากของเหลวในตัวมันเอง แล้วนำมาสร้างเปลือกหุ้มตัวและโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นซิลิกาไร้ผลึก (amorphous silica) เมื่อไดอะตอมตายก็จะตกลงสู่พื้นน้ำทับถมกัน เช่น ตะกอนทั้งหลายส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุก็จะสลายไปหมดหรือยังคงเหลืออยู่บ้างภายใต้ภาวะที่เหมาะสมต่อการสะสมตัว โดยซากเหล่านี้จะสะสมจนมีความหนาแน่นและค่อยๆ จับตัวแน่นเข้าจนกลายเป็นแหล่งดินเบา เมื่อแหล่งสะสมนี้ถูกแยกตัวขึ้นพื้นระดับน้ำมีการชะล้างทำลายเป็นตะกอนเกิดการสะสมทับถมขึ้นใหม่กลายเป็นแหล่งแร่ที่น่าสนใจในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วจะมีการตกตะกอน 1-4 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งการสะสมตัวได้นี้จะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจก็ต่อเมื่อแหล่งสะสมนั้นมีขนาดใหญ่เพียงพอและเป็นแร่บริสุทธิ์



ภาพที่ 1 แสดงชั้นตะกอนของไดอะทอมไมต์ที่ทับถมยึดกันแน่นได้ชั้นกรวดทรายบริเวณ
เหมืองบ้านฟ่อน จังหวัดลำปาง

ในปัจจุบันตะกอนทางทะเลที่มีไดอะทอมไมต์จะพบบริเวณแอ่งทะเลที่มีสารอาหารสมบูรณ์ เช่น เขตมหาสมุทรที่มีกระแสน้ำแตกต่างกัน แถบทะเลอาร์กติก บริเวณพื้นทะเลลึกที่ไม่มีการเคลื่อนไหวของน้ำอย่างแรง ทำให้มีการสะสมตะกอนจากหลายทวีป

นอกจากนี้ไดอะทอมไมต์ที่พบในแหล่งน้ำจืดเกิดจากการสะสมตัวในทะเลสาบ บึงเขาหรือจากปากปล่องภูเขาไฟ มีการสะสมตัวอย่างอิสระที่มีกระแสน้ำหรือแม่น้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง

1.3 สมบัติทางเคมีของไดอะทอมไมต์^[3]

ไดอะทอมไมต์บริสุทธิ์ประกอบด้วยโอปอล (Opaline) หรือ hydrous silica กับสารอินทรีย์อื่นๆ เล็กน้อย เช่น อะลูมินา เหล็ก อัลคาไลต์เอท (alkaline earths), โลหะที่เป็นพวกอัลคาไลต์ (alkaline metals) เป็นต้น ไดอะทอมไมต์อาจมีอินทรีย์สารและพวกเกลือละลายขึ้นส่วนของแร่ประกอบหิน ทราย ดินหรือคาร์บอนเนตในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้น การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุใดมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อได้ทราบว่าวัตถุใดเหล่านี้เป็นสารประกอบของอะไรมีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในวัตถุใดเหล่านี้จะทำให้เกิดสีขึ้นเมื่อเผาแล้วหรือทำให้จุดหลอมละลายของวัตถุใดบางอย่างลดลงไปจากเดิม

ไดอะทอมไมต์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นซิลิกาไร้ผลึก (Amorphous Silica) มีสูตรโมเลกุลอยู่ในรูป $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งมีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ละลายได้ดีในด่างแก่ กรดกัดแก้ว (Hydrofluoric acid: HF) แต่ไม่ละลายในกรดชนิดอื่นๆ มีน้ำปนอยู่เล็กน้อยประมาณ 2-9% และมีสารเจือปนอื่นๆ ดังแสดงได้จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไดอะทอมไมต์ จากแหล่งธรรมชาติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของไดอะทอมไมต์จากแหล่งธรรมชาติต่างๆ^[9]

แหล่ง ธรรมชาติ สารประกอบ (%)	Burney diatomite, สหรัฐอเมริกา	Celite 266, สหรัฐอเมริกา	ไดอะทอม ไมต์ ญี่ปุ่น	ไดอะทอม ไมต์ รัสเซีย	ไดอะทอม ไมต์ เม็กซิโก	ไดอะทอม ไมต์ ลัมปาง
SiO ₂	91.39	86.9	86	79.92	91.2	72.36
Al ₂ O ₃	1.97	3.1	5.8	6.58	3.2	13.1
Fe ₂ O ₃	0.48	1.1	1.6	3.56	0.7	3.65
TiO ₂	0.1	0.18	0.22	0.48	0.16	0.42
P ₂ O ₅	0	0.15	0.03	NA	0.05	0.01
CaO	0.51	0.41	0.7	1.43	0.19	0.37
MgO	0.04	0.65	0.29	0.98	0.42	0.51
Na ₂ O	NA	0.88	0.48	0.65	0.13	0.18
K ₂ O	0.07	0.88	0.53	0.72	0.24	1.35
LOI	4.18	3.8	4.4	4.91	3.6	6.47

Loss on Ignition (LOI) คือ ร้อยละการสูญเสียของน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้

1.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไดอะทอมไมต์^[6]

ลักษณะที่สังเกตได้ชัดเจนของไดอะทอมไมต์ คือ มีน้ำหนักเบา มีรูพรุนมาก จากภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope) พบว่า ไดอะทอมไมต์มีลักษณะเป็นผนังละเอียดที่จับตัวกันเป็นเนื้อแน่น มีผิวหน้าเรียบ โดยดินเบาหรือนี้ มีความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) เท่ากับ 5-16 lb/ft³ และมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 ไดอะทอมไมต์มีความนำความร้อน (thermal conductivity) ต่ำ และมีจุดหลอมเหลวประมาณ 1400-1700 องศาเซลเซียส แต่ถ้ามีสิ่งเจือปน จะทำให้จุดหลอมเหลวลดลง นอกจากนี้ไดอะทอมไมต์ยังดูดซึมน้ำได้ถึง 1.5-3 เท่าของน้ำหนักตัว ซึ่งความสามารถในการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้น เมื่อโมเลกุลของน้ำในซิลิกาไร้ผลึกชนิดโอปอล (Opaline silica) ถูกไล่ออกโดยการทำการเผาแคลไซน์ (calcination)

ซากไดอะตอมจะประกอบด้วยซิลิกาไร้ผลึกชนิดโอปอล (Opaline silica) โดยทั่วไปแล้วไดอะตอมมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2000 ไมครอน ซึ่งโดยปกติแล้ว ซิลิกาไร้ผลึกชนิดโอปอล จะมีความแข็งตามสเกลของโมส์ (Moh's scale) อยู่ระหว่าง 4.5-6 แต่ความแข็งของไดอะทอมไมต์ที่ปรากฏจะมีความแข็งเพียง 1.5 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นที่น้อยและความร่วนของเนื้อดินที่มีความพรุน และมีดัชนีหักเห 1.42-1.48

สมบัติทางกายภาพของไดอะทอมไมต์นั้น จะแตกต่างกันบ้างตามแหล่งที่พบ นอกจากนี้ ในแหล่งดินเดียวกัน ก็อาจแตกต่างกันไปตามความลึกของแหล่งด้วย ดังนั้น ในการจำแนกไดอะทอมไมต์อาจดูได้จาก

- (1) ชนิดและปริมาณของสิ่งเจือปน
- (2) รูปร่าง ขนาด การจัดเรียงตัว ของไดอะทอมไมต์ที่ตกลงมาทับถมกัน

1.5 แหล่งไดอะทอมไมต์^[1]

1.5.1 แหล่งไดอะทอมไมต์ที่สำคัญของโลก

ประเทศที่ผลิตไดอะทอมไมต์ รายใหญ่ประมาณ 98% ของผลผลิตรวมของโลก ได้แก่ จีน เดนมาร์ก ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เม็กซิโก สเปน สหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น ดังแสดงรายละเอียดการผลิตในแต่ละปีของประเทศต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การผลิตไดอะทอไมต์ของประเทศต่างๆ ตั้งแต่ปี 2001-2003^[9]

การผลิตไดอะทอไมต์ของประเทศต่างๆ			
ประเทศ	2001	2002	2003
(โดยประเทศรายใหญ่)	ผลผลิตของไดอะทอไมต์		
จีน	124	135	140
เดนมาร์ก (โมลาร์)	192	211	221
ฝรั่งเศส	75	75	75
ญี่ปุ่น	129	124	125
เม็กซิโก	69	62	68
สเปน	70	54	55
ประชาคมรัฐอิสระ	80	80	80
สหรัฐอเมริกา	644	624	620
ประเทศอื่น	257	275	276
ผลผลิตรวม	1640	1640	1660

1.5.2 แหล่งไดอะทอไมต์ในประเทศไทย^[1,5]

แหล่งไดอะทอไมต์ที่พบมากที่สุดพบที่จังหวัดลำปาง โดยที่รู้จักกันในชื่อ ดินเบา ซึ่งจากการเจาะสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า มีการกระจายอยู่หลายแห่งในแอ่งลำปาง ดังต่อไปนี้

1. แหล่งบ้านม่อนหินแก้ว ต.วังพร้าว อ.เกาะคา ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของ อ.เกาะคา เป็นระยะทาง 4 กิโลเมตร
2. แหล่งบ้านกล้วยแพะ ต.บ้านกล้วยแพะ ต.บ้านกล้วยแพะ อ.เมือง ซึ่งอยู่ห่างจากตัวเมืองลำปางเป็นระยะทาง 12 กิโลเมตร
3. แหล่งบ้านอ้วน ต.แม่ทะ อ.แม่ทะ โดยพบแหล่งซากไดอะตอมบริเวณศาลาประชาคม
4. แหล่งบ้านพิชัย ต.พิชัย อ.เมือง ที่อยู่ที่ กม.5 ถึง กม.9 ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงลำปาง-เชียงใหม่
5. แหล่งบ้านห้วยน้ำเค็ม ต.บ้านแลง อ.เมือง ที่อยู่ที่ กม.20 ถึง กม.21 ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วงลำปาง-เชียงใหม่

6. แหล่งบ้านห้วยน้ำหลง ต.แม่ทาน อ.สบปราบ หรือ กม.495 ทางหลวงหมายเลข 1 ช่วง ลำปาง-ตาก

7. แหล่งบ้านกัวลม ที่อยู่บริเวณนิคมกัวลม อ.เมือง จังหวัดลำปาง

แหล่งไคอะทอไมต์หรือซากไคอะตอมบางแหล่งดังกล่าวจะครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง โดยพบว่าปริมาณสำรองทั้งสิ้นมากกว่า 243 ล้านตัน ขณะมีการขุดนำไปใช้ประโยชน์จากแหล่ง อ. แม่ทะ จ.ลำปาง ซึ่งพบว่ามีสภาพการกำเนิดของแหล่งเป็นแบบทะเลสาบน้ำจืดไคอะตอมส่วนใหญ่ เป็นชนิด *melosira gramulata* (HER) RALFS ความหนาของชั้นดินเหนียวมีถึง 35 เมตร ประกอบด้วยดินเหนียวสีเหลืองอ่อน สีเหลืองเทา สีเหลืองส้ม และสีขาวเทา สลับกันอยู่และมีชั้นดิน เหนียวปนดินเหนียวอยู่บ้าง โดยมีเนื้อละเอียด น้ำหนักเบา และร่วน (Friable) และชั้นดินเหนียวดังกล่าว มีความหนาถึง 35 เมตร

1.6 ประโยชน์ของไคอะทอไมต์^[2,3]

จากสมบัติที่หลากหลายของไคอะทอไมต์ สามารถทำให้นำไปใช้ประโยชน์ในงานได้ หลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่เป็นแร่ดินหรือผ่านขั้นตอนต่างๆ ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมใน งานแต่ละประเภทโดยขึ้นอยู่กับสมบัติต่างๆของไคอะทอไมต์ที่ได้รับการนำมาใช้ประโยชน์ในทาง อุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้เป็นตัวกรอง (Filtering agent) สิ่งสกปรกหรือสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวพวก สารเคมี ถลุงแร่โลหะ ยา เครื่องดื่ม ปิโตรเลียม น้ำยาซักแห้งและอุตสาหกรรมอื่นๆและได้มีการ วิวัฒนาการใช้ไคอะทอไมต์ในการกรองน้ำโดยครั้งแรกใช้ในทางทหาร ต่อมาได้นำเอาประโยชน์อัน นี้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในสระว่ายน้ำ ถึงจ่ายน้ำอุ่น การประปา ท่อน้ำมัน และในวงการ อุตสาหกรรม

2. ใช้ทำฉนวนกันความร้อนและเสียง

3. ใช้เป็นตัวเติม (mineral fillers) ในอุตสาหกรรมต่างๆ เรียงตามลำดับความสำคัญคือ ผสมทำสีภายในอาคาร กระดาษ ยาฆ่าแมลง พลาสติก แอสฟัลต์ ปูน ท่อต่อ หมึกพิมพ์ วัสดุระเบิด ไม่ขีดไฟ ทันตกรรม

4. ใช้เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) ใช้สำหรับเป็นสารเคมีทำลายเชื้อโรค ทำดินระเบิด เชื้อเพลิงแข็ง ประโยชน์ที่สำคัญอันหนึ่งคือ ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยาทำความสะอาดพื้น

5. ใช้เป็นวัสดุขัดสีอย่างอ่อน (Mild abrasive) ส่วนใหญ่ใช้ในงานของเครื่องเงิน โลหะ และรถยนต์

6. ใช้ในโรงงานผลิตสีสังเคราะห์และเม็ดสี (Synthetic ultramarine and pigment) นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในโรงงานเครื่องเคลือบ เครื่องปั้นดินเผา คอนกรีตและซีเมนต์อื่นๆ
7. ใช้เป็นวัตถุดิบก่อสร้างอย่างเบาในรูปแบบของอิฐ ขอล็ก กระเบื้อง โดยอาจผสมกับวัตถุดิบที่เหมาะสมตัวอื่นๆ
8. ปัจจุบันดินเบาที่มีประโยชน์ต่อการกสิกรรม โดยช่วยให้ปุ๋ยแอมโมเนียไนเตรต แข็งตัว และยังใช้กับปุ๋ยเคมีด้วย

1.7 การนำไดอะทอมไมต์มาใช้ประโยชน์ในด้านการกรอง^[6]

ในการกรองน้ำ ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการทำน้ำสะอาด (water purification) นั้นไดอะทอมไมต์ จะถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยกรอง (Filter aid) และเป็นตัวกลางกรอง(Filter medium) โดยประวัติความเป็นมาของการนำไดอะทอมไมต์มาใช้นั้น เริ่มจากระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการใช้ในการแยกเอาตัวอะมีบาที่ทำให้เกิดโรคบิด ออกจากน้ำดื่มไดอะทอมไมต์ซึ่งมีน้ำหนักเบา จึงเป็นวัตถุที่เหมาะสมสำหรับทหารในการพกพาเคลื่อนย้ายได้สะดวก หลังจากนั้นมา ไดอะทอมไมต์ได้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการกรองน้ำในสระว่ายน้ำ ในปี ค.ศ. 1964 มีโรงงานผลิตไดอะทอมไมต์เพื่อใช้ในการกรองน้ำถึง 81 แห่ง ซึ่งกว่า 40% ใช้ในสระว่ายน้ำและในกระบวนการกรองน้ำดื่มมากที่สุด

ในการใช้ไดอะทอมไมต์ในการช่วยกรองนั้น จะเอาไดอะทอมไมต์มาผสมกับน้ำที่ต้องการกรอง ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น Body feed ในการกรอง จะผ่านของผสมนั้นบน แผ่นกรอง (Support filter medium) ที่มีความพรุนซึ่งอาจทำจากพลาสติก ไฟเบอร์ กระดาษ หรือวัสดุอื่นๆที่จะทำให้ น้ำผ่านไปได้สะดวก เมื่อเกิดกระบวนการกรองขึ้น ไดอะทอมไมต์จะเคลือบ (coat) ลงบน septum เกิดเป็นก้อนของแข็ง (cake) ที่มีความพรุนตัว และช่วยให้ก้อนของแข็งดังกล่าว ที่เกิดจากสิ่งสกปรก และสิ่งเจือปนทั้งหลายมีความพรุนสูงด้วย ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้ septum มีประสิทธิภาพในการกรองดีขึ้น ป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันในระหว่างการกรอง ทำให้มีอัตราการกรองที่เร็วขึ้น และยังช่วยจับสิ่งปลอมปนในน้ำด้วยสมบัติของตัวกรองทั้งหลาย ซึ่ง septum ที่ใช้จะต้องมีความพรุนเล็กน้อยที่จะไม่ให้ไดอะทอมไมต์หลุดลอยไปได้ นอกจากนี้ปริมาณของไดอะทอมไมต์ ที่ใช้จะเปลี่ยนไปตามปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำ เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ไดอะทอมไมต์ที่เหมาะสมสำหรับการกรองนี้ จะขึ้นกับ รูปร่างและขนาดขององค์ประกอบตัวไดอะตอม (diatom)

ไดอะทอมไมต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของไดอะตอมที่มีลักษณะเป็นขนยาว (long hairlike diatoms) กับไดอะตอมที่มีลักษณะเป็นรูปจาน (discoids diatoms) สูงจะเป็นตัวช่วยกรองที่ดีที่สุดที่จะใช้จับสิ่งเจือปนขนาดเล็ก และทำให้อัตราการกรองสูง ซึ่งไดอะทอมไมต์พวกนี้จะอยู่ในทะเล

การเตรียมไดอะทอมไมต์ด้วยวิธีทำให้ใสสะอาด (purification) และวิธีทำให้บริสุทธิ์ (clarification) จะมีวิธีการเฉพาะ ขึ้นกับว่าจะใช้งานในด้านไหน การทำให้ไดอะทอมไมต์ ที่มาจากแหล่งดินทั่วไปมักมีสิ่งเจือปน (impurity) ปะปนมาด้วย ให้สมบัติด้านความบริสุทธิ์ (clarifying ability) หรือค่าดัชนีความบริสุทธิ์ (clarifying index) เป็นสิ่งสำคัญซึ่งถ้าสมบัตินี้ลดลงไป จะแสดงถึงการยอมให้ผ่าน (permeability) มากขึ้น จะทำให้สิ่งเจือปนอนุภาคใหญ่หลุดลอดไปในน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ

กรรมวิธีในการทำไดอะทอมไมต์ให้บริสุทธิ์นั้น แตกต่างกันอย่างมากมาย จึงทำให้ไดอะทอมไมต์ที่ผ่านขบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว จะมีความแตกต่างกันในทั้งด้านความสามารถในการยอมให้ผ่าน (permeability) การกระจายตัวของเม็ดอนุภาคที่เปียก หรือค่าความหนาแน่นของมวลแห้ง (dry bulk density) และปริมาณของวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (oversize material)

ยังไม่เคยมีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสมบัติด้านความบริสุทธิ์ (clarifying ability) ของไดอะทอมไมต์ ที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีต่างๆ ดังนั้น การเลือกใช้ไดอะทอมไมต์ในการกรองน้ำ จึงไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า ไดอะทอมไมต์ชนิดใดเหมาะสมกับงานทุกประเภท ดังนั้นในการเลือกใช้ไดอะทอมไมต์จึงขึ้นอยู่กับว่าจะมีสมบัติด้านความใส (clarity ability) หรือลักษณะเฉพาะของการไหล (flow rate characteristic) หรือมีความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความใส (clarity ability) กับการยอมให้ผ่าน (permeability) ที่เหมาะสมได้ตามมาตรฐานที่ตั้งไว้หรือไม่

1.8 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer, XRFS)^[12]

เทคนิคเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโกปี เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีแบบไม่ต้องทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆทีละธาตุ (sequential) หรือวิเคราะห์หลายๆธาตุพร้อมกัน (simultaneous) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ทันสมัย มีความสามารถสูง ได้นำมาใช้ในระบบข้อมูล ช่วยทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยม

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRFS นี้มีอยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบที่วัดเป็นความยาวคลื่น (wavelength dispersion system)
2. ระบบที่วัดเป็นพลังงาน (KeV) (energy dispersion system)

1.8.1 ลักษณะและองค์ประกอบต่างๆของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ ชนิด wavelength dispersion system

เครื่อง XRFS นั้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 3 ส่วน ดังแสดงภาพที่ 3 คือ

1. X-ray Generator ซึ่งประกอบด้วย

X-ray tube
X-ray power controller
high voltage transformer
X-ray tube cooling unit
filter

2. Spectrometer ประกอบด้วย

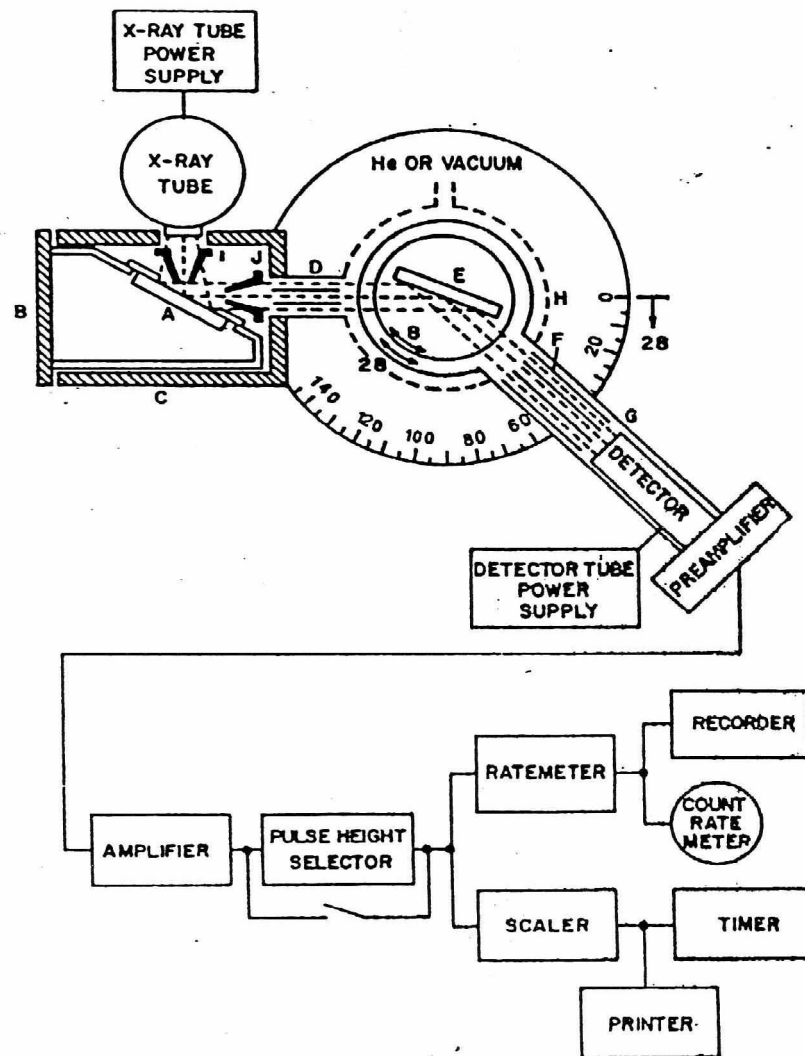
Sample compartment
collimators
analyzing crystals
goniometer
detectors

3. data systems

computer
printer
recorder

ในการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโกปี นั้นมีขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดังนี้ คือ ลำรังสีเอ็กซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอ็กซ์อยู่) จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ขึ้นให้เอ็กซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ผ่านคอลลิเมเตอร์ (collimators) เพื่อทำให้ลำรังสีเอ็กซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ให้ไปกระทบกับ analyzing crystals ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่เป็นสัณฐานึกหรือความกดดันต่ำมากๆ analyzing crystals นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอ็กซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกลแสง รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (power) ด้วยกานสแกน (scan) ของดีเทคเตอร์ (detectors) สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่อง printer หรือ recorder จาก

ข้อมูลที่เกิดขึ้นได้ทั้งของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณได้



ภาพที่ 2 แสดงแผนภาพองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์

1.9 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption Spectrometer, AAS)

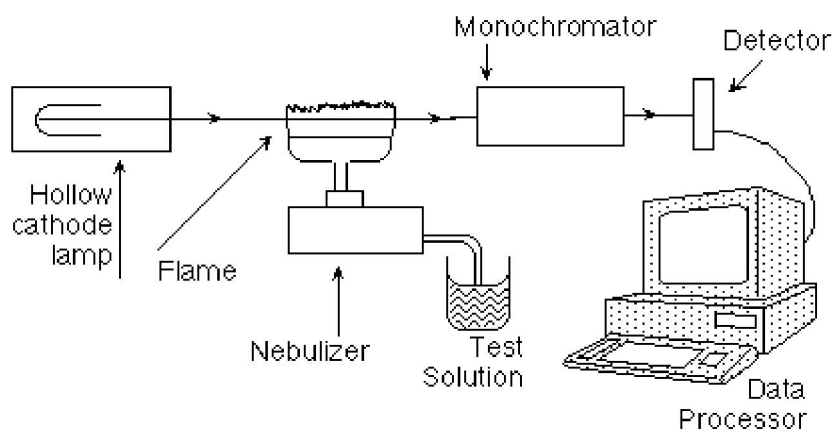
1.9.1 หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน^[12]

อะตอมมิกแอบซอร์พชัน เป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นอันหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น ทองแดง ดูดกลืนแสงที่ 324.8 นาโนเมตร ในการทำให้อะตอมของธาตุเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่างๆ กัน เช่น พลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้า ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวหรือเปลี่ยนให้เป็นไอ หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited state) หรืออาจกลายเป็นไอออนก็ได้ อะตอมอิสระเมื่อดูดกลืนแสงวาเลนซ์อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปยังสถานะกระตุ้นทำให้ความเข้มของแสงลดลง โดยปกติแล้วความเข้มของแสงที่ลดลงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของโลหะในสารละลาย แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ ก็มีผลต่ออะตอมในเปลวไฟ ได้แก่ อัตราการไหล (flow rate) ของสารตัวอย่าง ความหนืดของสารละลาย และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้ Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟที่เหมาะสม
2. ใช้ Non- Flame Atomization Technique เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า
3. ใช้ Hydride Generaton Technique เทคนิคนี้ใช้ทำให้ธาตุกลายเป็นสารที่เป็นไปได้ง่าย ๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้
4. ใช้ Cold Vapor Generaton Technique เทคนิคนี้เหมาะสมที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นไอได้ง่ายๆ

1.9.2 องค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ มี 5 ส่วนด้วยกัน คือ



ภาพที่ 3 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงใช้เป็น Hollow Cathode Lamp (HCLs) และ Electrodeless Discharge Lamp (EDLs) ซึ่งมีใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรี

กระบวนการทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีด้วยเปลวไฟ (Flame Atomization) ในกรณีที่ใช้กระบวนการ atomization ด้วยเปลวไฟนั้น สารตัวอย่างต้องเป็นสารละลายที่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสารแขวนลอยอยู่ ตัวทำละลายเป็นน้ำหรือสารอินทรีย์ก็ได้ กระบวนการ atomization นี้สามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน

2.1 Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองเล็กๆ ด้วยเครื่องที่เรียกว่า nebulizer

2.2 Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายรวมกันเป็นหยดของสารละลายโต ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง

2.3 Mixing เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กๆ ของสารละลายเกิดผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง และก๊าซสันดาปใน spray chamber ของ nebulizer

2.4 Desolvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ในละอองเล็กถูกกำจัดออกไป ทำให้เกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตอนล่างของเปลวไฟ

2.5 Compound decomposition เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟโดยที่พลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ เป็นโมเลกุลและเป็นอะตอมเสรี บางครั้งอาจเกิดการกระตุ้น หรือเกิดการไอออไนเซชันต่อไปได้

3. โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ซึ่งใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ เช่น grating

4. ดีเทคเตอร์ (detector) เช่น Flame Ionization Detector (FID), Flame Photometric Detector (FPD)

5. เครื่องประมวลผล (data system และ read-out units)

1.9.3 การทำปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

- Calibration Method

ในกรณีที่สารตัวอย่างไม่ค่อยมีสิ่งรบกวน และสารตัวอย่างเจือจาง อาจจะทำการวิเคราะห์ได้ง่ายๆ โดยเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยปรับสัญญาณที่ได้จากแปลงค์ให้เป็นศูนย์ แล้วจึงวัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วนำผลมาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายจะได้กราฟมาตรฐานซึ่งอาจเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งก็ได้

1.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope, SEM)^[15]

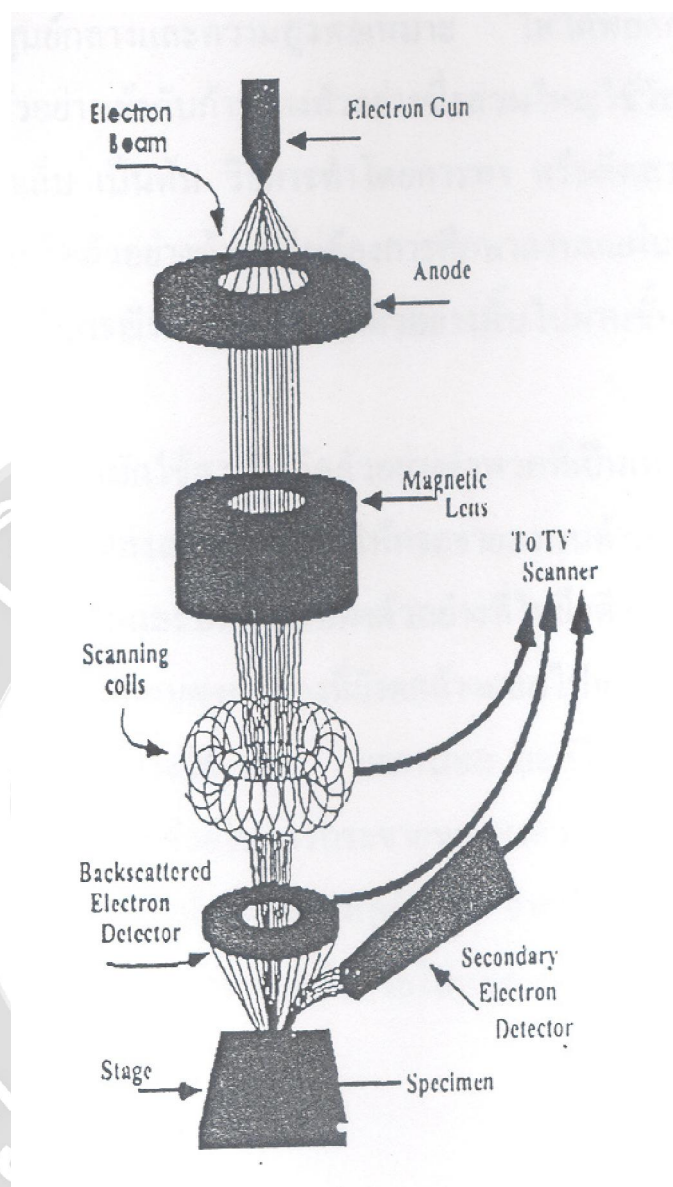
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนหรือที่เรียกกันอย่างย่อว่า SEM ซึ่งจะใช้แหล่งภาพจากอิเล็กตรอน (อนุภาคที่มีประจุลบ) ซึ่งจะแตกต่างจากกล้องไมโครสโคปแบบแสง (light microscopes, LM) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกผลิตมาจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) ในกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกน ซึ่งตัวจะถูกสแกนในลักษณะสัญญาณ ด้วยลำแสงอิเล็กตรอนมีประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) หรือโครงสร้างจุลภาค (microstructure) กล้องอิเล็กตรอนแบบสแกนจะใช้ดูรายละเอียดของพื้นผิวหรือชิ้นส่วนที่เล็กมากๆ บนผิวของวัตถุ หรือวัตถุโดยรวมทั้งหมด โดยทางชีววิทยา เคมีและทางฟิสิกส์จะใช้เทคนิคนี้ในการตรวจสอบดูโครงสร้างที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรได้ ซึ่งใช้ในการศึกษาส่วนต่างๆ ของเซลล์ ศึกษาสารพันธุกรรม และการสังเคราะห์โพลิเมอร์ ซึ่งการโค้ทบนไมโครชิพของสารตัวอย่างซึ่งมีกำลังขยายมากกว่า 3,000 เท่า จนถึงมากกว่า 100,000 เท่าโดยการแจกแจงรายละเอียดของภาพมีความเป็นไปได้ถึงประมาณ 2 นาโนเมตร นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดนี้ยัง

ประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถดัดแปลงต่อเติมอุปกรณ์เสริมชนิดอื่น ๆ เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ หรือชุดหัวโพรบรังสีเอ็กซ์ เป็นต้น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณที่ได้จากกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกน เกิดจากการใช้ตัวตรวจจับพวกอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron detector) มาคอยดักจับสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดขึ้นจากผิวของสารตัวอย่างมีอันตรกิริยากับลำอิเล็กตรอนที่ยิงเข้าไป

1.10.1 หลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน^[11]

หลักการทำงานเบื้องต้นของกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกน สามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มจากการผลิตอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) ออกมาจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) ซึ่งอิเล็กตรอนปฐมภูมิเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ให้วิ่งผ่านท่อสุญญากาศลงสู่แผ่นแอโนด (anode plate) จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับให้เล็กลงเพื่อให้เล็กลงเพื่อเพิ่มความเข้มแข็งของอิเล็กตรอน โดยอาศัยชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ (condenser lens) ที่เป็นแม่เหล็กจากนั้นลำของอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสลงบนสารตัวอย่างด้วยเลนส์วัตถุ (objective lens) ตามที่ต้องการ พร้อมทั้งสามารถทำการบังคับให้จุดโฟกัสเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งบนผิวของสารตัวอย่างได้ ด้วยเครื่องสแกน (scanning generator) ซึ่งอยู่ระหว่างคอนเดนเซอร์เลนส์ เมื่ออิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวตัวอย่างที่วางอยู่บนห้องบรรจุสารตัวอย่าง จะทำให้เกิดกลุ่มอิเล็กตรอนเรียกว่า อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) หลุดออกมาจากผิวของสารตัวอย่างและถูกรวบรวมด้วยตัวเก็บอิเล็กตรอน (electron collector) ซึ่งสัญญาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิเหล่านี้จะถูกส่งผ่านทางท่อนำแสงเข้าไปสู่ตัวขยายสัญญาณ (signal amplifier) ซึ่งจะช่วยให้หน้าที่ขยายสัญญาณที่เข้ามา พร้อมกันกับการแปลสัญญาณที่ได้เกิดเป็นรูปภาพไปปรากฏบนจอโทรทัศน์ (CTR) และบันทึกภาพในเวลาเดียวกัน โดยมีส่วนประกอบหลักของกล้อง ดังแสดงในภาพที่ 4 ได้แก่

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun)
2. ระบบเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) หรือชุดลวดที่ทำหน้าที่ควบคุมการส่องกราดของลำอิเล็กตรอน
3. เครื่องสูบน้ำและระบบควบคุมความดัน (Control pressure system)
4. ห้องใส่สารตัวอย่าง (Specimen chamber)
5. ตัวตรวจจับสัญญาณอิเล็กตรอน (Electron signal detector)
6. ชุดอุปกรณ์สำหรับสร้างภาพ (Imaging devices)



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบและหลักการทำงานเบื้องต้นของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

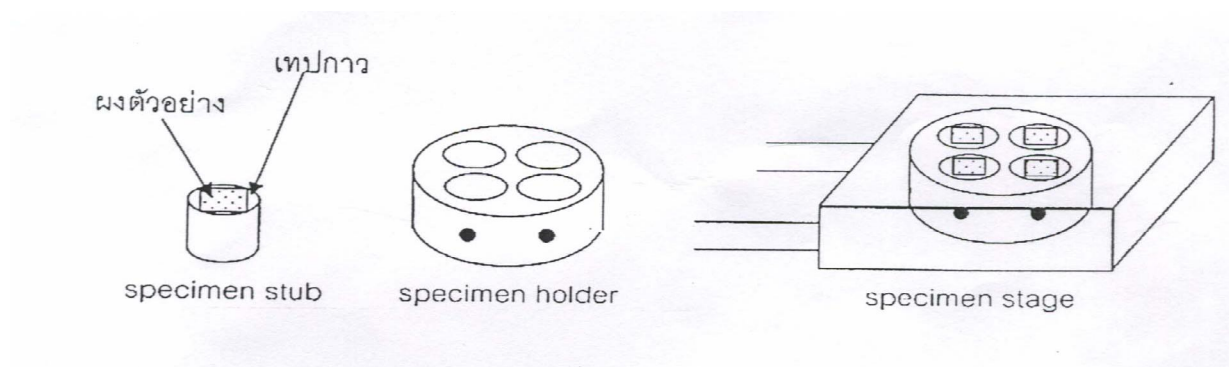
การเตรียมสารตัวอย่าง

นำวัสดุตัวอย่าง หรือผงวัสดุตัวอย่างที่เป็นของแข็งความดันไอต่ำมากกว่า 1 หรือเท่ากับ 10^{-3} ทอร์ โดยที่ขนาดถูกจำกัดโดยขนาดของช่องใส่ตัวอย่างและแท่นวางตัวอย่างของเครื่องกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกน ซึ่งแตกต่างกันแล้วแต่บริษัทและรุ่นที่ผลิต โดยบางรุ่นอาจวางตัวขนาดใหญ่ได้ถึงประมาณ 15 ถึง 20 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามขอบเขตการส่องกราดของลำอิเล็กตรอนจะจำกัดอยู่ในวงพื้นที่ไม่เกิน 4 ถึง 8 เซนติเมตร ในห้องวางตัวอย่างของเครื่องกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกนที่แท่นควบคุมการเคลื่อนที่ของฐานใส่ตัวอย่าง (specimen holder) ที่มีตัวอย่างติดบนก้านวางตัวอย่าง (specimen stub) วางอยู่บนฐานใส่ตัวอย่างในการเตรียมสารตัวอย่างประกอบด้วย การตัดตัวอย่าง การติดตัวอย่าง และการเคลือบผิวตัวอย่าง

การติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่างมีหลักการเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. กรณีตัวอย่างเป็นชิ้นงาน ก่อนนำเข้าศึกษาในเครื่องต้องทำการติดชิ้นงานเข้ากับก้านวางตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะจำพวกเหล็ก อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงพอเหมาะ ใส่ได้พอดีกับช่องว่างในฐานของตัวอย่าง และใช้สารยึดติดตัวอย่างเข้ากับก้านวางตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่ใช้วัสดุจำพวกเทปกาวยาคาร์บอน หรือน้ำยาทาเล็บ เป็นต้น วิธีการทำโดยการทา หรือติดสายยึดตัวอย่างลงบนแผ่นหน้าของก้านวางตัวอย่าง และติดตัวอย่างด้านที่ไม่ต้องศึกษาลงบนแผ่นหน้าก้านวางตัวอย่างทิ้งให้ติดสนิท หรือแห้งดีระยะหนึ่ง ในกรณีที่ตัวอย่างไม่นำตัวอย่างนั้นไปผ่านขั้นตอนการฉาบผิวด้วยโลหะก่อนนำไปศึกษา

2. กรณีตัวอย่างเป็นผงมักใช้สารยึดติดอย่างจำพวกที่เป็นเทปกาวยาสองหน้า หรือเทปทองแดงติดด้านบนของก้านวางของสารตัวอย่างให้กระจายลงบนด้านหน้าของก้านวางตัวอย่าง ที่มีเทปทองแดงติดอยู่ จากนั้นใช้ลูกยางเป่าลมและปัดฝุ่นเศษผงตัวอย่างที่ไม่ยึดติดบนด้านวางตัวอย่างออกหรือใช้เครื่องเป่าลมเป่าไล่ซ้ำอีกครั้งเพื่อให้เศษผงละอองที่ยังตกค้างออกไปจากตัวอย่าง หรือใช้ผงกระจายในตัวกลางที่ไม่สามารถละลายตัวผงตัวอย่างได้ เช่น เอทานอล อะซิโตน เป็นต้น และทำการกระจายตัวอย่างโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เพื่อช่วยในการกระจายของผงตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่งแล้วทำการหยดตัวอย่างลงบนเทปกาวยาดังกล่าว ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องกล้องอิเล็กตรอนแบบสแกน เพื่อการศึกษาต่อไป หรือทำการฉาบผิวด้วยโลหะตัวอย่างไม่นำไฟฟ้า



ภาพที่ 5 ลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

ส่วนการเคลือบหรือฉาบผิวตัวอย่างนิยมใช้สารตัวนำไฟฟ้าจำพวก โลหะหนักที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น คาร์บอน ทอง และโลหะผสมทอง-พัลลาเดียม เป็นต้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มสมบัติในการนำไฟฟ้าให้กับสารตัวอย่าง ทั้งนี้หลักการเบื้องต้นของการฉาบผิว คือ ต้องกระทำภายใต้ภาวะสุญญากาศและให้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้โลหะหนักเปลี่ยนสภาพจากแท่งโลหะมาเป็นโมเลกุลและตกลงบนผิวตัวอย่างในอัตราส่วนเดียวกัน ทำให้โลหะฉาบผิวตัวอย่างได้เป็นเนื้อเดียวกัน

1.11 เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทรมิเตอร์ (Energy Dispersive Spectrometer, EDS)^[11]

การวัดการกระจายพลังงาน (EDS) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุในของแข็งและของเหลว โดยการฉายด้วยรังสีเอกซ์ซึ่งงานที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อถูกฉายด้วยรังสีเอกซ์ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวออกมาจากนั้น energy dispersive detector จะตรวจสอบสเปกตรัมของรังสีที่ถูกปล่อยออกมา ซึ่งธาตุแต่ละธาตุในสารตัวอย่างเฉพาะตัวของพลังงานของรังสีที่ปล่อยออกมา

Sample Interaction เมื่อรังสีเอกซ์ กระทบชิ้นงานจะมีอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนชั้นในเนื่องจากรังสีเอกซ์มีพลังงานมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานจลน์และหลุดออกไปจากอะตอม ทำให้เกิดที่ว่างในวงโคจร หลังจากนั้นอิเล็กตรอนตัวอื่นที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ การตกเข้ามาแทนที่ของอิเล็กตรอนวงนอกนี้เรียกว่า relaxation และอะตอมจะปล่อยรังสีเอกซ์ ที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละอะตอมออกมา

Auger electron เป็นอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการ Auger emission โดยรังสีเอกซ์จะทำให้อิเล็กตรอนตัวแรกหลุดออกไปจนทำให้เกิดที่ว่าง อิเล็กตรอนตัวที่สองในระดับพลังงานที่สูงกว่าจะตกเข้าไปแทนที่และปล่อยพลังงาน ผลของพลังงานนี้จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าหลุดออกไป เรียกว่า Auger electron

1.12 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)^[17]

เป็นชุดเครื่องมือที่มีอุปกรณ์สำหรับประกอบชุดเพื่อใช้วิเคราะห์หาขนาดอนุภาค ในสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือของเหลว โดยให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO13320-1 Particle size analysis Laser Diffraction Methods ควบคุมการทำงานและประมวลผลสมบูรณ์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์

1.12.1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องวัดขนาดอนุภาค

1. เป็นเครื่องวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคในสารตัวอย่างแบบอัตโนมัติโดยใช้หลักการ ISO13320-1 Particle size analysis Laser Diffraction Methods ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ พร้อมชุดป้อนตัวอย่างแบบผง/เปียกและชุดเตรียมสารตัวอย่าง ชนิดเปียก (WET) แบบอัตโนมัติ
2. สามารถวัดขนาดของอนุภาคที่มีช่วงขนาดตั้งแต่ 0.4-2,000 ไมโครเมตร ด้วยการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว
3. เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative analysis) และปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative analysis)
4. สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตามมาตรฐาน ISO 13320 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีระบบป้องกันอันตรายจากการแผ่รังสีของระบบ LASER
5. มีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดเป็นชนิด Solid State
6. ระบบตรวจจับสัญญาณแสง(Detector) แบบ Photodiode มีตัววัดสัญญาณไม่ต่ำกว่า 50 ตัว โดยใช้เอกสารอ้างอิงที่ได้รับการรับรองจากโรงงานผู้ผลิต
7. ระบบ Optical ใช้แบบเลนส์เดี่ยว (Single lens) หรือ Fourier Lens และมีระบบปรับตั้งลำแสง (Auto Alignment System) ของระบบแสงโดยอัตโนมัติ
8. มีค่า Reproducibility < 1 % RSD of median size(X_{50}) และ Accuracy ± 1 % of median size(X_{50}) โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้สารมาตรฐาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพไดอะทอมไมต์ เพื่อเป็นสารช่วยดูดซับโลหะหนัก
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว ทั้งก่อนและหลังการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว
4. เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ และการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรานิ โชติไกร และพิทักษ์ หาญจวนิช (2537) ได้ทำการศึกษาไดอะทอมไมต์จากแหล่งลำปางเพื่อผลิตเป็นสารช่วยกรอง โดยมีการศึกษาวิจัยในด้านต่างๆ กล่าวคือ ศึกษาสภาพแร่ในแหล่ง การวิเคราะห์ และการทดสอบสมบัติของแร่ การค้นคว้าทดลองด้านการแต่งแร่ การวิเคราะห์วิจัยไดอะทอมไมต์ภายหลังการแต่งแร่ การทดสอบสมบัติ และการทดลองเตรียมเป็นสารช่วยกรอง พบว่า ไดอะทอมไมต์ที่ได้มีความละเอียดมากและนำไปใช้ในการกรองจะให้สารละลายที่ได้หลังจากผ่านการกรอง มีความใสมากกว่าที่ไม่ได้ผ่าน แต่อัตราในการกรองจะช้ากว่าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ เพราะสารช่วยกรองที่เตรียมได้มีความพรุนน้อยกว่า แสดงว่า การล้างไดอะทอมไมต์ให้สะอาดทั้งวิธีทางกลและวิธีทางเคมี โดยพบว่า เทคนิคในการบดหลังการเผาแคลไซน์แบบหลอมเหลว (flux calcined) มีผลอย่างยิ่งต่อสมบัติการเป็นสารช่วยกรอง

อานุภาพ ญาณิสราพันธ์ (2535) ได้ศึกษาไดอะทอมไมต์ ที่นำมาใช้เป็น “ตัวช่วยกรองดินเบา” โดยศึกษาในด้านการปรับปรุงคุณภาพไดอะทอมไมต์ที่ได้จากแหล่งลำปาง และศึกษาหาประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งเจือปนของไดอะทอมไมต์ที่ได้พบว่า ไดอะทอมไมต์ที่ได้จากแหล่งลำปางนี้มีส่วนประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 3

ในการปรับปรุงคุณภาพของไดอะทอมไมต์ด้วยวิธีทางเคมี พบว่าการใช้กรดจะละลายเอาสิ่งเจือปนออกมาได้ดีกว่าการใช้ด่าง ชนิดกรดที่ใช้คือ กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก ซึ่งสิ่งเจือปนที่ละลายได้ในกรดแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยพบว่ากรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงจะละลายสิ่งเจือปนได้ดีที่สุด ส่วนในการเผาแคลไซน์นั้น (calcination) พบว่า กระบวนการนี้จะต้องทำหลังจากผ่านการปรับปรุงคุณภาพของไดอะทอมไมต์ด้วยวิธีทางเคมีก่อน แล้วจึงทำเผาแคลไซน์ ที่ 800 องศาเซลเซียส พบว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่

ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว 3 กรัม มีความสามารถในการดูดซับได้ 80% ในขณะที่ไดอะทอมไมต์ จากธรรมชาติสามารถดูดซับได้เพียง 44%

Aue and Daniewski (1975) ได้ศึกษาการเตรียมผิวของไดอะทอมไมต์ชนิดล้างด้วยกรด (acid wash, AW) จากไดอะทอมไมต์ที่ได้จากธรรมชาติ ในการเตรียมนี้ได้ใช้วิธีแบบการสกัดแบบย้อนกลับ (soxhlet extraction) อุณหภูมิที่ใช้คือ จุดเดือดของกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการเกิดพันธะเคมีของสารที่จะนำมาเคลือบผิว พบว่า การนำไปใช้งานได้ดีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ของเทคนิคทางโครมาโทกราฟี (gas-liquid chromatographic) การศึกษานี้ได้รายงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการปรับปรุงโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก สำหรับการกำจัดประจุบวกชนิดต่างๆ ออกจากพื้นผิวซิลิกาของตัวดูดซับชนิด chromosorb W, chromosorb G และ chromosorb P. ซึ่งสามารถขจัดเหล็กออกได้ถึง 95% ของปริมาณเหล็กทั้งหมด ในขณะที่วิธีการล้างโดยทั่วไป สามารถขจัดเหล็กออกได้เพียงเล็กน้อย

Yu และ Thomas (1995) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สีย้อม ชนิด disperse Red-60 โดยใช้ตัวดูดซับ 5 ชนิด คือ ผงแอคติเวเตตคาร์บอน (powder activated carbon, PAC) ผงแอคติเวเตตอะลูมินา (activate alumina) โมเลกุลลาร์ซีฟ (molecular sieve) แอคติเวเตตคาร์บอนแบบเม็ดกลม (granular activated carbon, GAC), และ ไดอะทอมไมต์ (diatomite) พบว่า ตัวดูดซับทุกตัว ต้องใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 2 ชั่วโมงในการเข้าสู่สภาวะสมดุล และความแตกต่างของขนาดของอนุภาค (particle size) ไม่มีผลมากนักต่อการดูดซับสีของน้ำทิ้ง เนื่องจากเกิดกระบวนการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) บนพื้นผิวของตัวดูดซับต่างๆ ดังนั้นพื้นที่ผิวที่มีอยู่จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการดูดซับ ผลของค่า COD และประสิทธิภาพในการดูดซับสี เรียงตามลำดับ คือ PAC>activated alumina>molecular sieve>GAC>diatomite

Tracz and Supeynowicz (1982) ได้รายงานผลการเปลี่ยนโครงสร้างและรูปผลึกของไดอะทอมที่ผ่านการขัด (polished diatom) โดยใช้ตัวอย่างไดอะทอมชนิด polysorb B, polysorb C และ chromosorb P หลังจากการทำความสะอาดด้วยไอของกรดไฮโดรคลอริก พบว่า โครงสร้างของซิลิกาที่ได้ยังคงอยู่ในรูป ออสัณฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) โดยมีสมบัติที่ความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกลุ่มไฮดรอกซี (hydroxyl group, -OH) ที่อยู่บนบริเวณพื้นผิว สำหรับการใช้กรดไฮโดรคลอริก นั้นจะทำให้เกิดพันธะเคมี แต่ โครงสร้างจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ขึ้นอยู่กับความแตกต่างขององค์ประกอบสมบัติทางเคมีของพื้นผิว

Khraisheh และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการกำจัดเมธิลีนบลู สีย้อมประเภทรีแอคทีฟ สีดำนและสีเหลืองจากสารละลาย โดยใช้ไดอะทอมไมต์ที่ได้ธรรมชาติและไดอะทอมไมต์ที่ได้จากการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส ความสำคัญของกลุ่มฟังก์ชันของสีย้อมดังกล่าวจะมีผลต่อกลไกของการดูดซับ การติดตามการดูดซับของสีย้อมพิจารณาได้จากขนาดและการกระจายตัวของรูพรุน ในช่วงของค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.4-7.7 พบว่า กระบวนการสูญเสียกลุ่มไฮดรอกซิล มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่อทำการศึกษาด้วยเทคนิคฟลูเรียรินฟราเรด สเปกโทรสโคปี (FTIR) จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) พบว่า มีการลดลงของกลุ่ม Si-OH ที่อุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส ดังนั้น การลดลงของกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH) จากพื้นผิวสัมผัสของไดอะทอมไมต์ นำไปสู่การดูดซับที่ลดลง

Al-Degs และคณะ (2001) ไดอะทอมไมต์จากธรรมชาตินำมาทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้ดูดซับตะกั่วอออน พบว่าถ้ามีการปรับปรุงโดยใช้แมกกาไนต์สออกไซด์จับกับไดอะทอมไมต์ จะสามารถเพิ่มการดูดซับได้สูงขึ้นที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 โดยคุณสมบัติที่เพิ่มมากขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวสัมผัสและประจุลบที่มากขึ้นที่บริเวณผิวดังกล่าว

Khraisheh และคณะ (2004) ไดอะทอมไมต์จากธรรมชาติและที่ได้ปรับปรุงโดยเจือแมกกาไนต์สออกไซด์ นำมาทดสอบโดยทำการดูดซับกับโลหะหนักจากน้ำเสีย พบว่า ไดอะทอมไมต์ที่ได้จากการปรับปรุง จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วอออน ทองแดงอออนและแคดเมียมอออน ได้มากกว่าไดอะทอมไมต์จากธรรมชาติ

Chaisena และ Rangsiwatananon (2005) ได้ทำการเตรียมซีโอไลต์-โซเดียมโดยใช้ไดอะทอมไมต์จากธรรมชาติและที่ปรับปรุงแล้วเป็นสารเริ่มต้น โดยผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลภายในเงื่อนไขของค่าความเป็นด่างสูง มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลาย ทำการศึกษาคุณสมบัติของซีโอไลต์ที่เตรียมได้โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน ฟลูเรียรินฟราเรด สเปกโทรสโคปี และจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ชัยศรี ไชยวุฒิ ได้เตรียมไดอะทอมไมต์เพื่อเป็นสารช่วยกรอง การวิจัยนี้เน้นการเตรียมไดอะทอมไมต์จากธรรมชาติ โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริกและกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 0.5-4.0 โมลาร์ ใช้เวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ ทำปฏิกิริยากับไดอะทอมไมต์ธรรมชาติ พบว่าตัวอย่างที่ทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ใช้เวลา 5 ชั่วโมง จะให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางกายภาพที่ดี แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะไอออนคอปเปอร์ โครเมียม และตะกั่ว คือ ใช้สารละลายพีเฮช 3 ใช้เวลาคน 1 นาที ต่อน้ำหนักสาร 1 กรัม พบว่า ตัวอย่างไดอะทอมไมต์ธรรมชาติ และตัวอย่างที่ผ่าน

การปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะไอออน ทั้งสามได้ใกล้เคียงกัน และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ร้อยละของการดูดซับอยู่ในช่วง 93-100

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับไดอะทอมไมต์ที่กล่าวข้างต้น จะพบว่ามีการศึกษาในด้าน วิธีการเตรียมไดอะทอมไมต์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ และศึกษาประโยชน์ของไดอะทอมไมต์ทางการค้าใน ด้านต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในทางด้านการกรองในโรงงานอุตสาหกรรม และการบำบัด โลหะหนักจากน้ำเสีย



อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. สารเคมี

ชื่อสารเคมี	Assay %	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
1. คอปเปอร์ไนเทรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)	99	Univar	Germany
2. แคดเมียมซัลเฟต ($3\text{CdSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	98	Merck	Germany
3. ซิงค์ไนเทรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	99	Carlo erba reagenti	Italy
4. ไดอะทอมไมต์	-	-	Thailand
5. เลดไนเทรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	99	Merck	Germany
6. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)	27	BDH Laboratory Supplies	England
7. ไฮโดรคลอริก (HCl)	37	Carlo erba reagent	Italy

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือ-อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
1. โกร่งบดสาร (Zirconia mortar)	-	-
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope)	JEOL	Japan
3. เครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโต มิเตอร์ (Energy dispersive spectrometer)	OXFORD รุ่น ISIS 300	England
4. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)	Malvern Instruments Limited	England
5. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโต มิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer)	PERKIN ELMER, AAnalyst 100	U.S.A
6. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทร มิเตอร์ (X-ray fluorescence spectrometer)	Bruker	Germany
7. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Sartorius AG Gottingen	Germany
8. เตาไฟฟ้า (Hot plate)	Fisher Scientific	England

9. ตู้อบ(oven)	Gallenkamp	Germany
10. เทอร์โมมิเตอร์	-	-

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเตรียมสารละลาย

3.1.1 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 57.96 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 7 โมลาร์

3.1.2 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 41.40 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 5 โมลาร์

3.1.3 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 24.84 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์

3.1.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชั่งคอปเปอร์ในเทรต 0.0366 กรัม ลงในปิกเกอร์ และปรับปริมาตรในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จากนั้นทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานทองแดง มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 พีพีเอ็ม โดยปิเปตปริมาตร 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.5 สารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ซึ่งแคดเมียมซัลเฟต 0.0712 กรัม ลงในปิเกตอร์ และปรับปริมาตรในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จากนั้นทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานแคดเมียม มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 พีพีเอ็ม โดยปิเปตปริมาตร 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.6 สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

ซึ่งเลดไนเทรต 0.0298 กรัม ลงในปิเกตอร์ และปรับปริมาตรในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จากนั้นทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานตะกั่ว มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 พีพีเอ็ม โดยปิเปตปริมาตร 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

3.1.6 สารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ

ซึ่งซิงค์ไนเทรต 0.0459 กรัม ลงในปิเกตอร์ และปรับปริมาตรในขวด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม จากนั้นทำการเจือจางสารละลายมาตรฐานสังกะสี มีความเข้มข้น เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 พีพีเอ็ม โดยปิเปตปริมาตร 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 5, 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

3.2 การปรับปรุงคุณภาพไดอะทอมไมต์

การปรับปรุงคุณภาพไดอะทอมไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

โดยในการทดลองนี้จะทำการทดลอง คือ

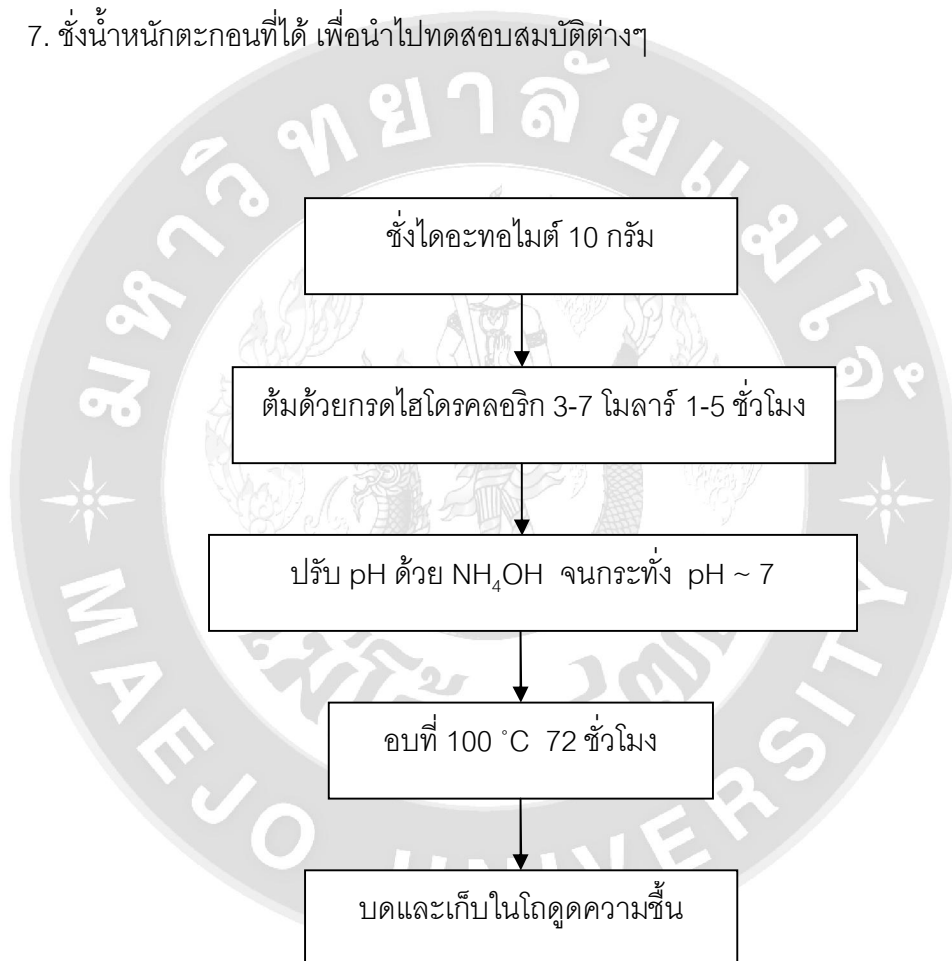
1. เตรียมไดอะทอมไมต์ที่ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร ต่อกรดไฮโดรคลอริก 90 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 3, 5 และ 7 โมลาร์ ตามลำดับ
2. กวนพร้อมให้ความร้อน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง
3. ทิ้งให้ตกตะกอน และส่วนที่เป็นสารละลายจะมีสีเหลือง ซึ่งมีค่า pH~0.1-0.2

4. ทำการรินสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและล้างส่วนที่เป็นตะกอนด้วยน้ำกลั่น (ต้องทิ้งให้ตกตะกอนแล้วจึงเทน้ำกลั่นทิ้งก่อนล้างครั้งต่อไป) บันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละครั้งโดยต้องล้างตะกอนจนกว่าค่า pH ที่ได้มีค่าเป็น 1.0-2.0

5. ปรับ pH ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 27% โดยน้ำหนัก จนกว่าค่า pH ของตะกอนที่ได้จะมีค่าประมาณ 6-7 พร้อมทั้งบันทึกปริมาณแอมโมเนียที่ใช้

6. กรองตะกอนที่ได้ด้วยกระดาษกรอง แล้วอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง

7. ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ



ภาพที่ 6 แผนผังการปรับปรุงคุณภาพไคโอะทอไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 การหาลักษณะเฉพาะของไดอะทอมไมต์

1. การวิเคราะห์หาลักษณะประกอบของไดอะทอมไมต์โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (XRFS)

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (XRFS) ใช้วิธีเปรียบเทียบสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน ดังนั้นสภาวะที่เปรียบเทียบจะต้องเหมือนกัน เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง วิธีการทดลอง

นำไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพแล้วที่มีลักษณะเป็นผงมาบดให้ละเอียดในโถรงบด ประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน อัดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขนาด 20-30 ตัน เวลา 10-20 วินาที จะได้ผิวหน้าเรียบ นำไปวางใน sample holder เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของไดอะทอมไมต์

2. การศึกษาเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรโฟมิเตอร์

ในการทดลองนี้สภาวะเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรโฟมิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลองมีการดูดกลืนคลื่นแสงของทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และ สังกะสี ที่ 228.2, 213.9, 283.3 และ 324.8 นาโนเมตร ตามลำดับ

3. การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก

3.1 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง คุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง

1. การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ
2. การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์หลัง การปรับปรุงคุณภาพแล้ว

3.2 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

1. การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ
2. การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์หลัง การปรับปรุงคุณภาพแล้ว

3.3 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

1. การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ
2. การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์หลัง การปรับปรุงคุณภาพแล้ว

3.4 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสี

1. การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ
2. การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์หลัง การปรับปรุงคุณภาพแล้ว

วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และ แคดเมียม

1. ชั่งไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพแล้วชนิดละ 1 กรัม จำนวน 3 ชุด
2. นำสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ความเข้มข้น 5-10 มิลลาร์ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีไดอะทอมไมต์ตัวอย่างหนัก 1 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไดอะทอมไมต์จากข้อ 2 มากรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 5 เสร็จแล้วนำเอาส่วนที่เป็นสารละลายใส่ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrometer จะสามารถทราบปริมาณโลหะหนักมีมากหรือน้อย นั่นคือ ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในส่วนที่เป็นสารละลาย ถ้ามีปริมาณโลหะหนักน้อยลง แสดงว่า ไดอะทอมไมต์ดูดซับโลหะหนักได้

4. การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM)

1. การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง
2. การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง

2.1 การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง

ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3, 5 และ 7 โมลาร์

3. การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการดูดซับโดยสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

3.1 การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง

ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

3.2 การตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง

ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3, 5 และ 7 โมลาร์

การเตรียมไดอะทอมไมต์

1. ทำการติดเทปทองแดงบนฐานใส่ตัวอย่าง (stub)
2. ทำการกระจายไดอะทอมไมต์ในตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ เอทานอล โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเพื่อช่วยในการกระจายของผงไดอะทอมไมต์ประมาณ 5-10 นาที แล้วทำการหยดไดอะทอมไมต์ลงบนเทปทองแดงดังกล่าว ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
3. นำเข้ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เพื่อหาองค์ประกอบอื่นๆ

5. การหาองค์ประกอบของไดอะทอมไมต์โดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ (EDS)

1. การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ (EDS)
2. การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทร มิเตอร์ (EDS)
3. การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ที่ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทรมิเตอร์ (EDS)

3.1 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง

3.2 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

3.3 การหาค่าประกอบของธาตุไนโตรเจนในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลัง
ดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

3.4 การหาค่าประกอบของธาตุไนโตรเจนในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลัง
ดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี

การเตรียมไดอะทอมไมต์

1. ทำการติดเทปทองแดงบนฐานใส่ตัวอย่าง (stub)
2. ทำการกระจายไดอะทอมไมต์ในตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ เอทานอล โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเพื่อช่วยในการกระจายของผงไดอะทอมไมต์ประมาณ 5-10 นาที แล้วทำการหยดไดอะทอมไมต์ลงบนเทปทองแดงดังกล่าว ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
3. นำเข้าเครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์ เพื่อหาค่าประกอบอื่นๆ

6. การหาขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)

การเตรียมไดอะทอมไมต์

1. ชั่งไดอะทอมไมต์ 5 กรัม นำไปบรรจุลงในช่องใส่สารตัวอย่าง
2. นำเข้าเครื่องวัดขนาดอนุภาค

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของไคอะทอไมต์โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์ (XRF)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของไคอะทอไมต์ ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี แบบไม่ต้องทำลายสารตัวอย่าง และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) ของธาตุในรูปสารประกอบออกไซด์

1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี แสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี

สารประกอบ	ไคอะทอไมต์ No.1 ปริมาณ (%)	ไคอะทอไมต์ No. 2 ปริมาณ (%)	ไคอะทอไมต์ No. 3 ปริมาณ (%)
SiO ₂	92.42	92.45	92.77
Al ₂ O ₃	1.18	1.24	1.26
เหล็กรวมในรูปของ Fe ₂ O ₃	2.54	2.14	2.14
TiO ₂	0.17	0.21	0.2
CaO	0.48	0.37	0.42
MgO	<0.01	<0.01	<0.01
Na ₂ O	0.87	0.82	0.8
K ₂ O	0.83	0.79	0.73
Na ₂ O	N.D.	N.D.	N.D.
Loss on Ignition (LOI)	1.5	1.5	1.5
Rb	N.D.	N.D.	N.D.
Y	N.D.	N.D.	N.D.

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สารประกอบ	ไดอะทอมไมต์ No.1 ปริมาณ (%)	ไดอะทอมไมต์ No. 2 ปริมาณ (%)	ไดอะทอมไมต์ No. 3 ปริมาณ (%)
Mn	N.D.	N.D.	<0.01
SrO	<0.01	<0.01	<0.01
Cl	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	<0.01	<0.01	<0.01
V	N.D.	N.D.	N.D.
P	<0.01	<0.01	<0.01
SrO	N.D.	N.D.	N.D.
Ba	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ

N.D. = ไม่สามารถตรวจพบได้

ไดอะทอมไมต์ No.1 = ไดอะทอมไมต์ก่อนปรับปรุง

ไดอะทอมไมต์ No.2 = ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ไดอะทอมไมต์ No.3 = ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรสโคปี (XRF) พบว่า ไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับ 92.42% และมีสารประกอบในรูปออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) เท่ากับ 2.54% และอลูมิเนียมไดออกไซด์ เท่ากับ 1.18%

เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของไดอะทอมไมต์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของไดอะทอมไมต์มีค่าเท่ากับ 92.45% และมีปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับ 2.14% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าไดอะทอมไมต์ที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก

และเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก จาก 1 ชั่วโมง เป็น 3 ชั่วโมงที่ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เท่าเดิมพบว่า มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สูงที่สุดเท่ากับ 92.77% และมีปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับ 2.14%

กรณีไดอะทอมไมต์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ไม่แตกต่างกับไดอะทอมไมต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) น้อยกว่าไดอะทอมไมต์ที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ อาจเนื่องมาจากความสามารถในการกำจัดเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ของกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไดอะทอมไมต์ จึงทำให้ปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ลดลงและยังทำให้สีของไดอะทอมไมต์เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีขาวเนื้อละเอียดมากขึ้น

2. การศึกษาเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์

ผลการศึกษาสภาวะเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สภาวะเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์ ที่ใช้ในการทดลอง

ธาตุ	ความยาวคลื่น (nm)	ช่องว่างของสลิต (nm)	ตัวออกซิแดนซ์	เชื้อเพลิง	อัตราส่วนตัวออกซิแดนซ์:เชื้อเพลิง
ทองแดง	324.8	0.7	อากาศ	อะซิทีลีน	2 : 1
แคดเมียม	228.2	0.7	อากาศ	อะซิทีลีน	2 : 1
ตะกั่ว	283.3	0.7	อากาศ	อะซิทีลีน	2 : 1
สังกะสี	213.9	0.7	อากาศ	อะซิทีลีน	2 : 1

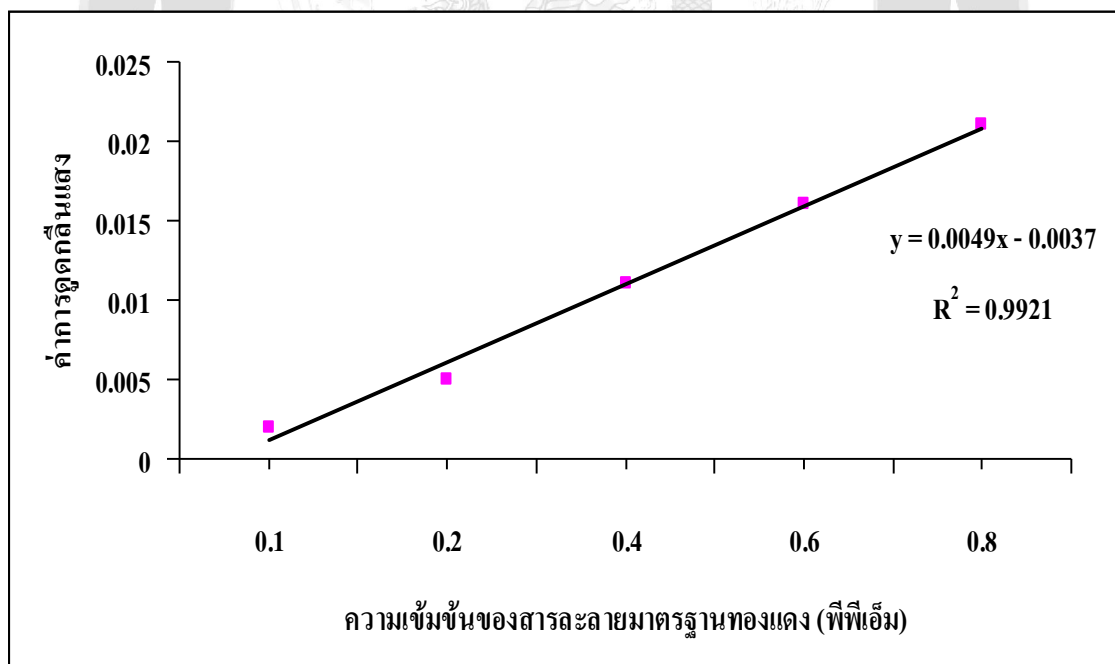
อะตอมมิกแอบซอร์พชันเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุ ดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งในการทดลองนี้สภาวะเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีการดูดกลืนคลื่นแสงของทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ที่ความยาวคลื่น เท่ากับ 228.2, 213.9, 283.3 และ 324.8 นาโนเมตร ตามลำดับ และในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้น จะต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไป ซึ่งสภาวะเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟมิเตอร์ ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะทำให้

อะตอมเกิดการแตกตัวกลายเป็นอะตอมอิสระ เมื่อดูดกลืนแสงจะทำให้ความเข้มแสงลดลง ซึ่งโดยปกติแล้วความเข้มแสงที่ลดลงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุในสารละลาย

2.1 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานทองแดง

ตารางที่ 5 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดง (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.002
0.2	0.005
0.4	0.011
0.6	0.016
0.8	0.021



ภาพที่ 7 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานทองแดงหลังการดูดซับด้วยไดอะทอมิต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม

จากตารางที่ 5 และภาพที่ 7 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงเช่นกัน ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงพบว่า ได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงค่าสหสัมพันธ์ของเส้นตรง R^2 เท่ากับ 0.9921

2.2 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง

2.2.1 การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง

พารามิเตอร์	สภาวะ
ระยะเวลาในการดูดซับ	1 ชั่วโมง
ปริมาณไดอะทอมไมต์	1.00 กรัม
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดง	5 และ 10 พีพีเอ็ม

ผลการศึกษาการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6

2.2.2 การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอไมต์ หลังการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

ตารางที่ 7 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอไมต์
ก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ทองแดง ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ทองแดง หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
ไดอะทอไมต์	5	0.002	99.96%
	10	0.805	91.95%

จากตารางที่ 7 จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายทองแดงมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องมาจาก การดูดซับจะขึ้นอยู่กับปริมาณและความสามารถในการดูดซับของไดอะทอไมต์

ซึ่งผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอไมต์ ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และทำการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม
ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ทองแดง ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐาน ทองแดง หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	5	2.155	56.90%
	3	3	5	0.305	93.90%
	3	5	5	0.275	94.50%
ไดอะทอมไมต์	5	1	5	0.212	95.76%
	5	3	5	0.249	95.02%
	5	5	5	0.168	96.64%
ไดอะทอมไมต์	7	1	5	0.541	89.18%
	7	3	5	1.191	76.18%
	7	5	5	0.007	99.86%

จากตารางที่ 8 จะพบว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น เท่ากับ 3 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด เท่ากับ 94.50%, 96.64% และ 99.86% ตามลำดับ ไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด

และผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงทำในช่วงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

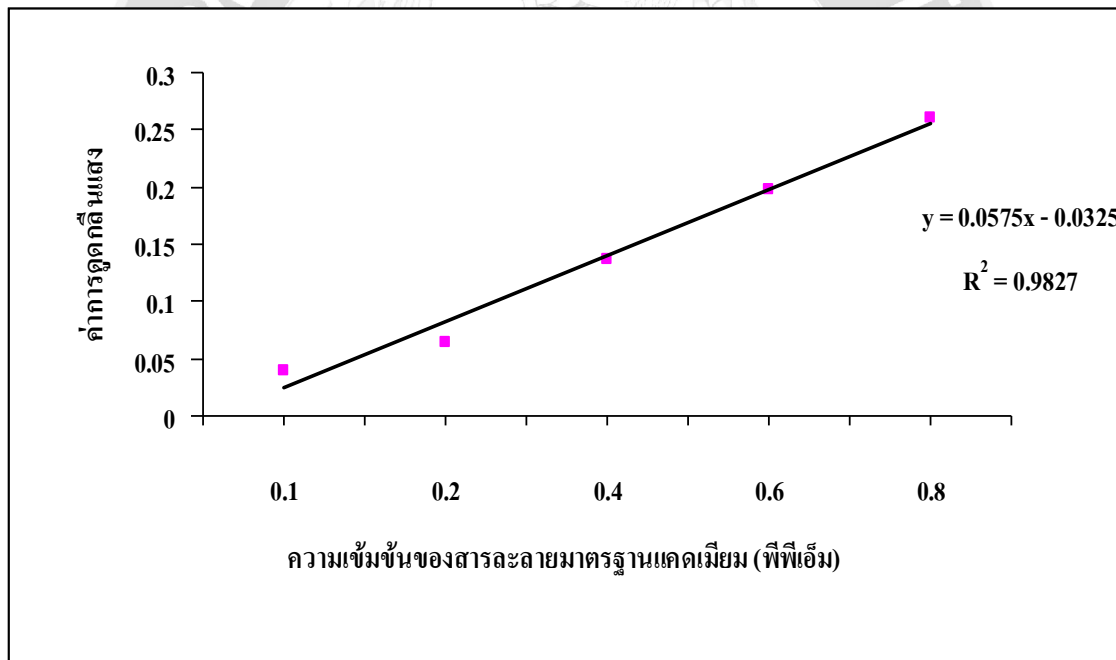
ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ทองแดง ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน ทองแดง หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	10	0.737	92.63%
	3	3	10	0.825	91.75%
	3	5	10	0.795	92.05%
ไดอะทอมไมต์	5	1	10	0.880	91.20%
	5	3	10	0.963	90.37%
	5	5	10	0.103	98.97%
ไดอะทอมไมต์	7	1	10	1.061	89.39%
	7	3	10	3.313	66.87%
	7	5	10	0.171	98.29%

จากตารางที่ 9 จะพบว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นเท่ากับ 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 92.63%, 98.97% และ 98.29% ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า ไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด เช่นเดียวกับผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

2.3 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ตารางที่ 10 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.040
0.2	0.065
0.4	0.136
0.6	0.198
0.8	0.261



ภาพที่ 8 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมหลังการดูดซับด้วยไดอะทอมไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม

และจากตารางที่ 10 และภาพที่ 8 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเช่นกัน ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม พบว่า ได้กราฟเป็นเส้นตรงและมีค่าสหสัมพันธ์ของเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9827

2.4 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

2.4.1 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5-10 พีพีเอ็ม พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
ระยะเวลาในการดูดซับ	1 ชั่วโมง
ปริมาณไดอะทอมไมต์	1.00 กรัม
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม	5 และ 10 พีพีเอ็ม

ผลการศึกษาการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ ก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียม หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
ไดอะทอมไมต์	5	0.062	98.76%
	10	0.085	99.15%

จากตารางที่ 12 จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีสูงตามไปด้วยโดยความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมจะแปรผันตรงกับเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

2.4.2 การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมด้วยไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

ซึ่งผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ และทำการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐาน แคดเมียม ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคดเมียม หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูด ซับ
	ความ เข้มข้น(M)	เวลา (h)			
ไดอะทอม ไมต์	3	1	5	0.138	97.24%
	3	3	5	0.174	96.52%
	3	5	5	0.224	95.52%
ไดอะทอม ไมต์	5	1	5	1.180	76.40%
	5	3	5	1.801	63.98%
	5	5	5	0.569	88.62%
ไดอะทอม ไมต์	7	1	5	0.656	86.88%
	7	3	5	2.198	55.04%
	7	5	5	0.445	91.10%

จากตารางที่ 13 จะพบว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น เท่ากับ 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 97.24%, 88.7% และ 91.10% ตามลำดับ

ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดเช่นเดียวกับการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง

และผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ทำในช่วงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

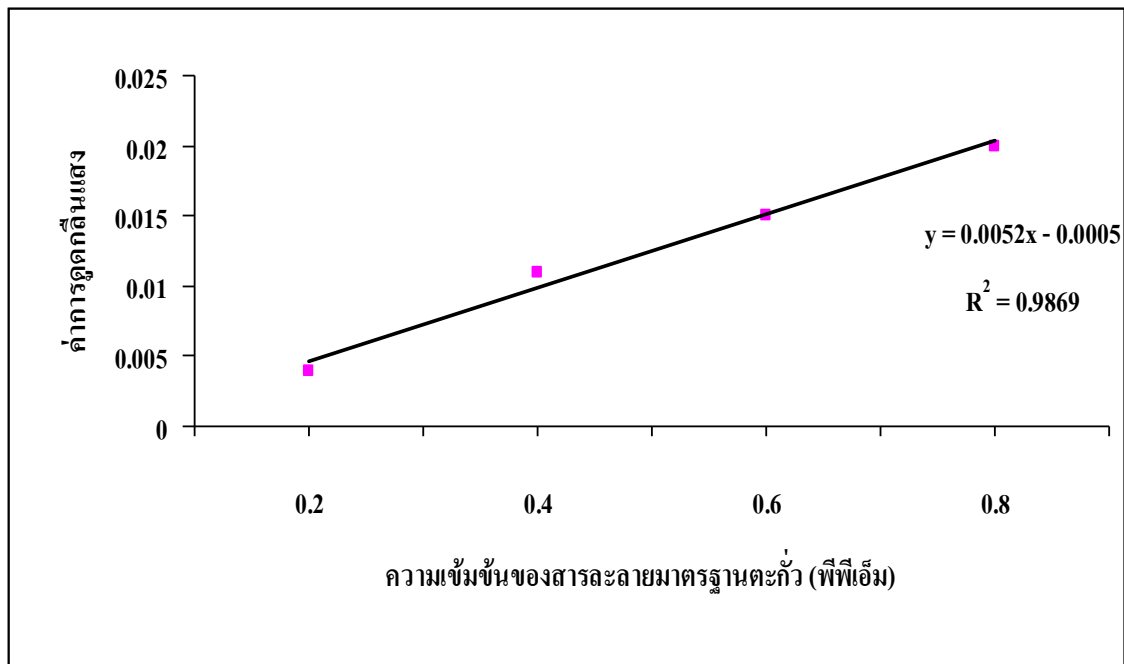
ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐาน แคดเมียม ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานแคดเมียม หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	10	1.287	87.13%
	3	3	10	1.393	86.07%
	3	5	10	1.430	85.70%
ไดอะทอมไมต์	5	1	10	1.791	82.09%
	5	3	10	2.788	72.12%
	5	5	10	1.713	83.87%
ไดอะทอมไมต์	7	1	10	1.802	81.98%
	7	3	10	3.074	69.26%
	7	5	10	1.504	84.96%

จากตารางที่ 14 จะพบว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น เท่ากับ 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 87.13%, 83.87% และ 84.96% ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด และยังพบว่าผลของการดูดซับแคดเมียมด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มีค่าการดูดซับแคดเมียมน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

2.5 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ตารางที่ 15 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.004
0.4	0.011
0.6	0.015
0.8	0.020



ภาพที่ 9 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังการดูดซับด้วยไดอะทอมไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม

และจากตารางที่ 15 และภาพที่ 9 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว พบว่า ได้กราฟเป็นเส้นตรงและมีค่าสหสัมพันธ์ของเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9869

2.6 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

2.6.1 การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ทำในช่วงความเข้มข้น 5-10 พีพีเอ็ม พาราเมเตอร์ และ สภาวะที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
ระยะเวลาในการดูดซับ	1 ชั่วโมง
ปริมาณไดอะทอมไมต์	1.00 กรัม
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว	5 และ 10 พีพีเอ็ม

ผลการศึกษาการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วหลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
ไดอะทอมไมต์	5	0	100%
	10	0	100%

จากตารางที่ 17 จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงว่า ไดอะทอมไมต์ มีโครงสร้างทางเคมีและกายภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะไอออนของตะกั่ว

2.6.2 การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วด้วยไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

ซึ่งผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและทำการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม
ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานตะกั่ว ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานตะกั่ว หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	5	0	100%
	3	3	5	0	100%
	3	5	5	0	100%
ไดอะทอมไมต์	5	1	5	0	100%
	5	3	5	0	100%
	5	5	5	0	100%
ไดอะทอมไมต์	7	1	5	0	100%
	7	3	5	0	100%
	7	5	5	0	100%

และผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ทำในช่วงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม
ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

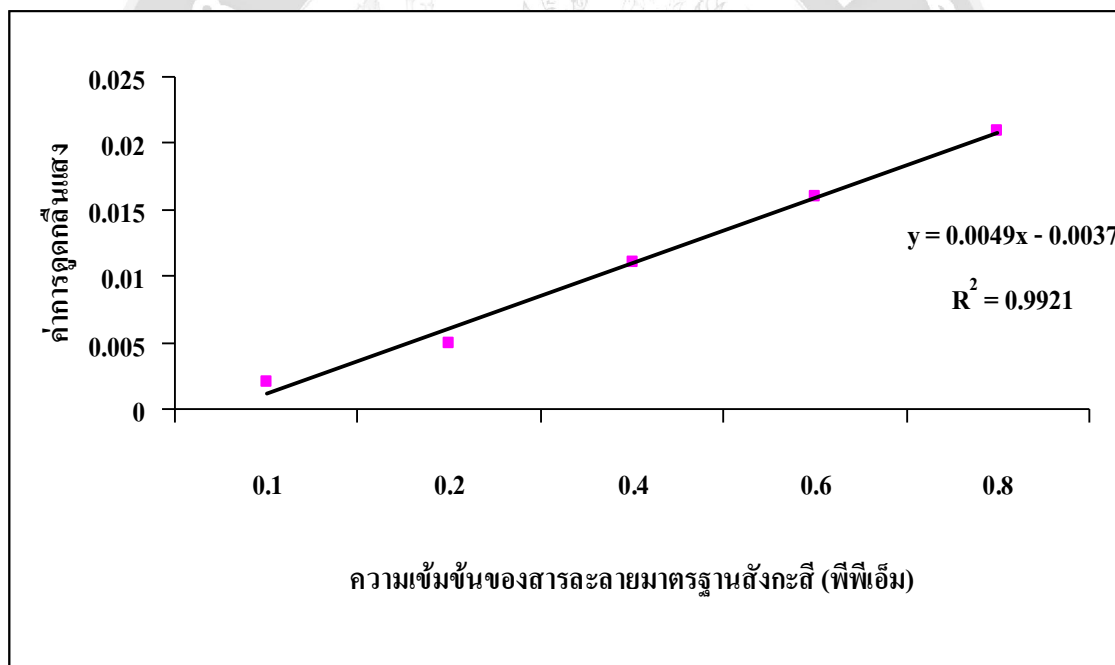
ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานตะกั่ว ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานตะกั่ว หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	10	0	100%
	3	3	10	0	100%
	3	5	10	0	100%
ไดอะทอมไมต์	5	1	10	0	100%
	5	3	10	0	100%
	5	5	10	0	100%
ไดอะทอมไมต์	7	1	10	0	100%
	7	3	10	0	100%
	7	5	10	0	100%

จากตารางที่ 18 และ 19 แสดงผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และ 10 พีพีเอ็ม พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าเท่ากับ 100% อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วหลังการดูดซับมีค่าเป็นศูนย์ แสดงให้เห็นว่าสารละลายมาตรฐานตะกั่วถูกไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงแล้วดูดซับไปจนหมด

2.7 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานสังกะสี

ตารางที่ 20 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสี

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.002
0.2	0.005
0.4	0.011
0.6	0.016
0.8	0.021



ภาพที่ 10 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีหลังการดูดซับด้วยไดอะทอมไมต์ ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.8 พีพีเอ็ม

จากตารางที่ 20 และภาพที่ 10 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี เช่นเดียวกันกับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี พบว่า ได้กราฟเป็นเส้นตรงและมีค่าสหสัมพันธ์ของเส้นตรง (R^2) เท่ากับ 0.9921

2.8 การศึกษาผลการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสี

2.8.1 การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 21 พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไคอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี

พารามิเตอร์	สภาวะที่ใช้
ระยะเวลาในการดูดซับ	1 ชั่วโมง
ปริมาณไคอะทอไมต์	1.00 กรัม
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี	5 และ 10 พีพีเอ็ม

ผลการศึกษาการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยไคอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสี หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
ไคอะทอไมต์	5	0.251	94.98%
	10	0.451	95.49%

จากตารางที่ 22 จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงขึ้นตามไปด้วย

2.8.2 การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีด้วยไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ทำในช่วงความเข้มข้น 5-10 พีพีเอ็ม พารามิเตอร์ และ สภาวะที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 22

ซึ่งผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอมไมต์ ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานสังกะสี ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของ สารละลาย มาตรฐานสังกะสี หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)			
ไดอะทอมไมต์	3	1	5	1.312	73.76%
	3	3	5	1.563	68.74%
	3	5	5	1.500	60.00%
ไดอะทอมไมต์	5	1	5	2.135	57.30%
	5	3	5	1.845	63.10%
	5	5	5	1.505	69.90%
ไดอะทอมไมต์	7	1	5	1.546	69.08%
	7	3	5	1.474	70.05%
	7	5	5	3.023	39.54%

จากตารางที่ 23 จะพบว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น เท่ากับ 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 73.76%, 69.90%

และ 70.05% ตามลำดับซึ่งจะสังเกตเห็นว่าไดอะทอไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด

และผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของไดอะทอไมต์ ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก ในการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ทำในช่วงความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลของการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้ว

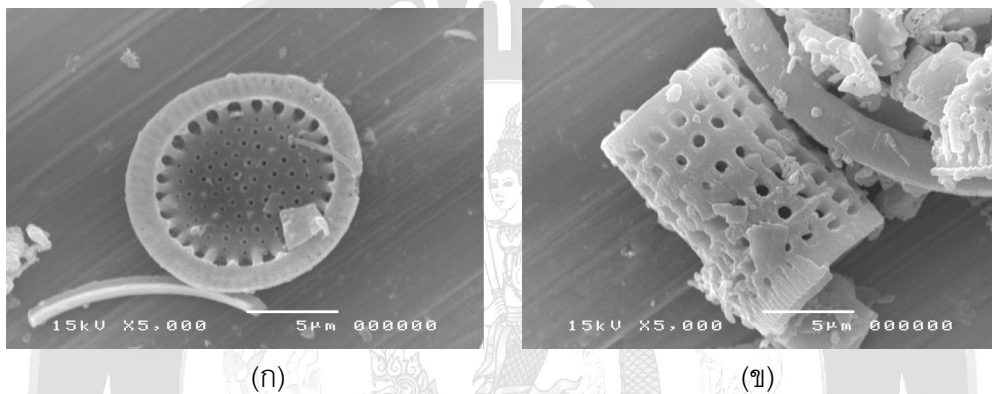
ตัวอย่าง	กรดไฮโดรคลอริก		ความเข้มข้นของ สารละลาย	ความเข้มข้นของ สารละลาย	% การดูดซับ
	ความ เข้มข้น (M)	เวลา (h)	มาตรฐานสังกะสี ก่อนการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	มาตรฐานสังกะสี หลังการดูดซับ (พีพีเอ็ม)	
ไดอะทอไมต์	3	1	10	4.149	58.51%
	3	3	10	3.270	67.30%
	3	5	10	3.494	65.06%
ไดอะทอไมต์	5	1	10	2.814	71.86%
	5	3	10	3.299	67.01%
	5	5	10	3.745	62.55%
ไดอะทอไมต์	7	1	10	2.875	71.25%
	7	3	10	3.598	64.02%
	7	5	10	3.158	68.42%

จากตารางที่ 24 จะพบว่าการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีด้วยไดอะทอไมต์ที่ปรับปรุงแล้วด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 67.30%, 71.86% และ 71.25% ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสารประกอบโลหะหนักของ ไดอะทอไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า ยังมีความไม่แน่นอนในการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

3. การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอไมต์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM)

3.1 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง



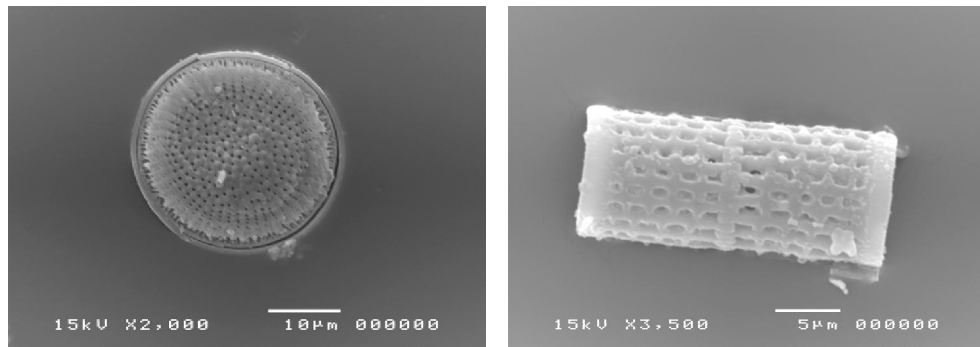
ภาพที่ 11 SEM ของไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุง

จากการตรวจสอบรูปร่างของไดอะทอไมต์ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) แสดงดังภาพที่ 11 (ก) จะมีลักษณะเหมือนจานขนาดอนุภาคเฉลี่ย ประมาณ 10 ไมโครเมตร และภาพที่ 11 (ข) มีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 15 ไมโครเมตร พบว่าไดอะทอไมต์มีความพรุนสูงโดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 0.50 ไมโครเมตร

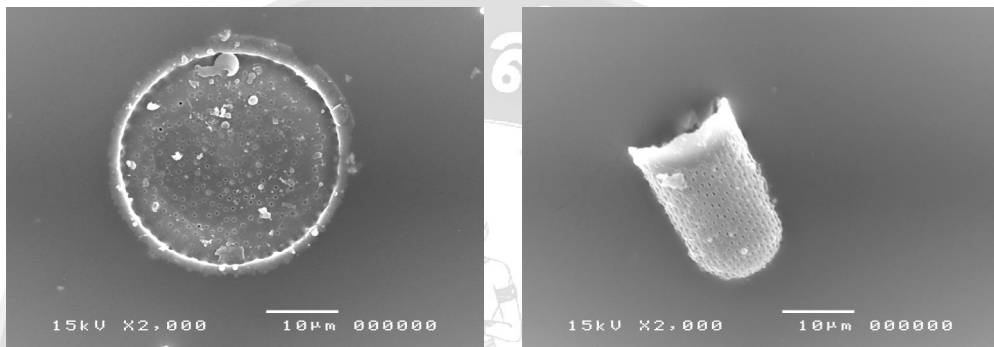
3.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุง

3.2.1 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์

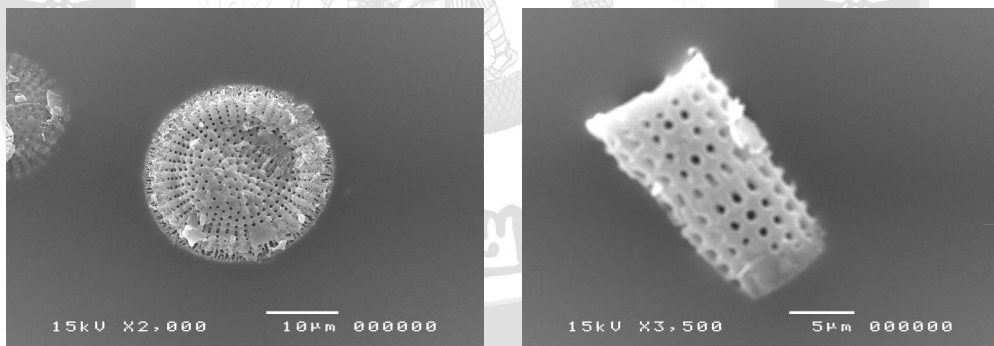
ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของ ไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12



(ก)



(ข)



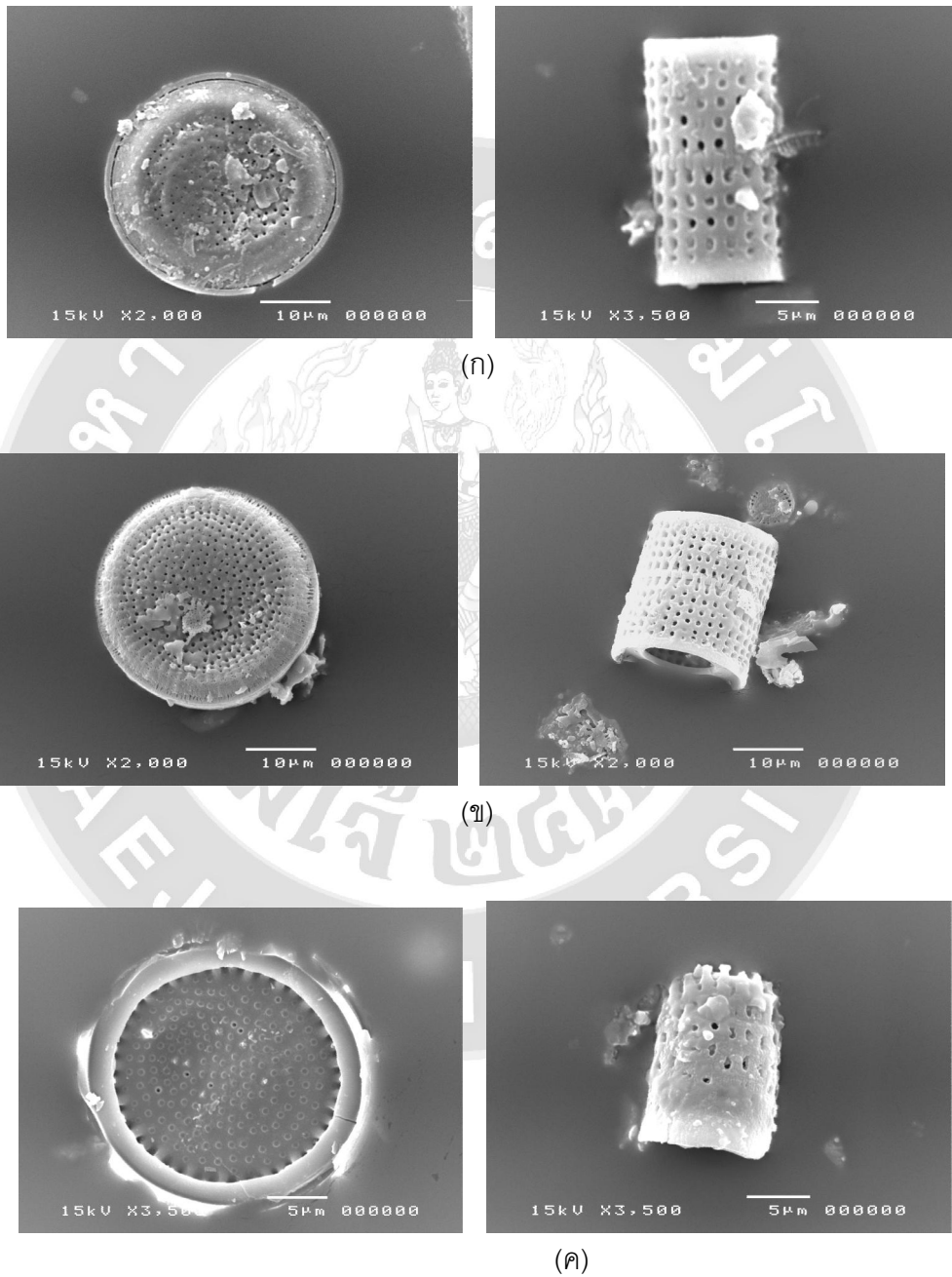
(ค)

ภาพที่ 12 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 12 แสดงลักษณะของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการปรับปรุงด้วยกรด

ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ไดอะทอมไมต์มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

3.2.2 การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์

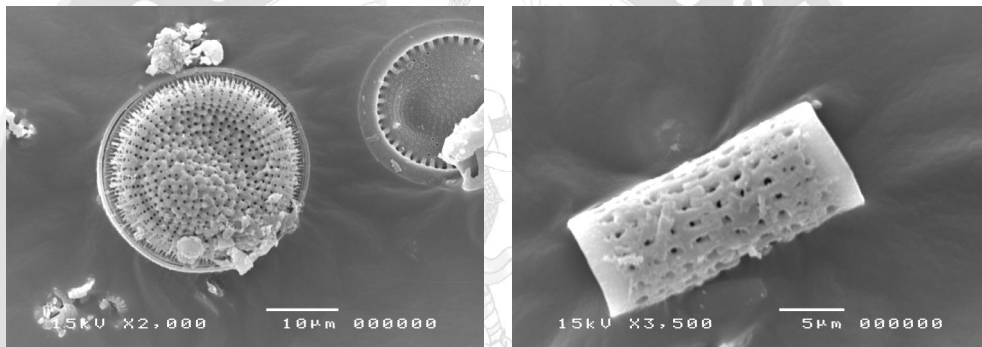


ภาพที่ 13 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง

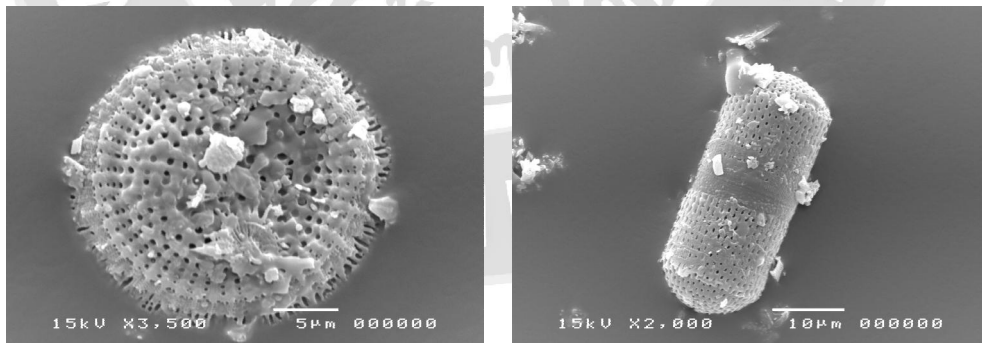
ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของ ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นในการปรับปรุง ด้วยกรด ไฮโดรคลอริก ทำให้ ไดอะทอมไมต์มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

3.2.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์

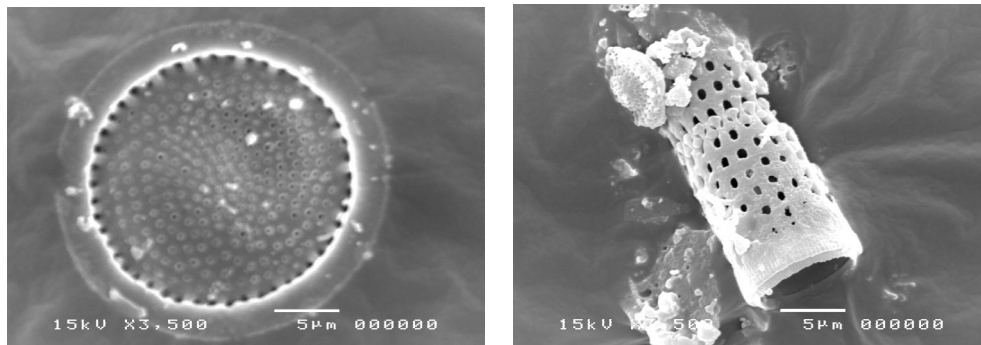
ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ สแกนของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 14



(ก)



(ข)



(ค)

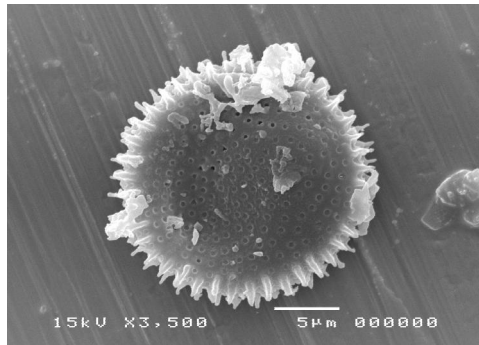
ภาพที่ 14 SEM ของไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา (ก) 1, (ข) 3 และ (ค) 5 ชั่วโมง

จากภาพที่ 15 แสดงลักษณะของไคอะทอไมด์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและเวลาในการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก จะทำให้ ไคอะทอไมด์มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

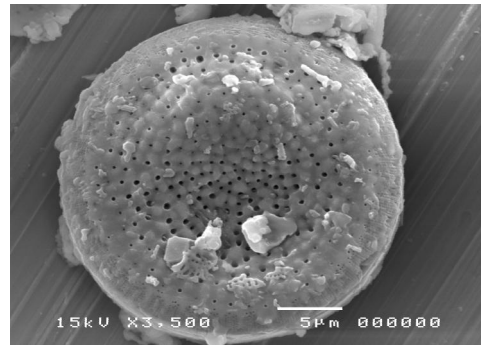
3.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไคอะทอไมด์ที่ผ่านการดูดซับโดยสารละลาย มาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี

3.3.1 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุงด้วย กรดไฮโดรคลอริก

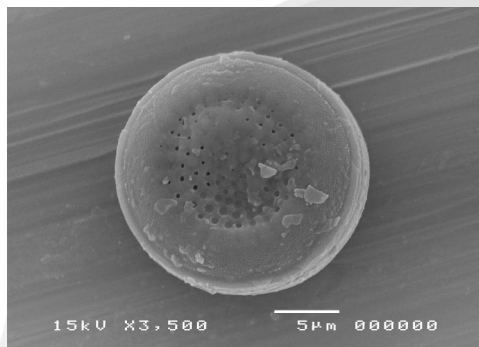
ไคอะทอไมด์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก นำมาผ่านกระบวนการดูดซับ โดยสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดัง
ภาพที่ 15



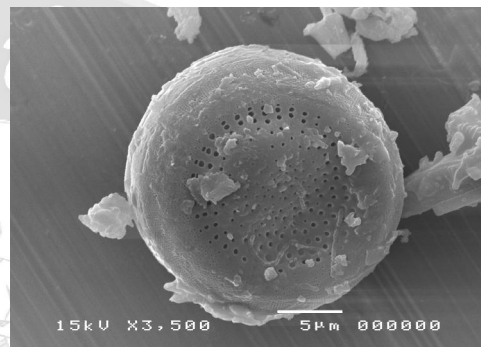
(ก)



(ข)



(ค)



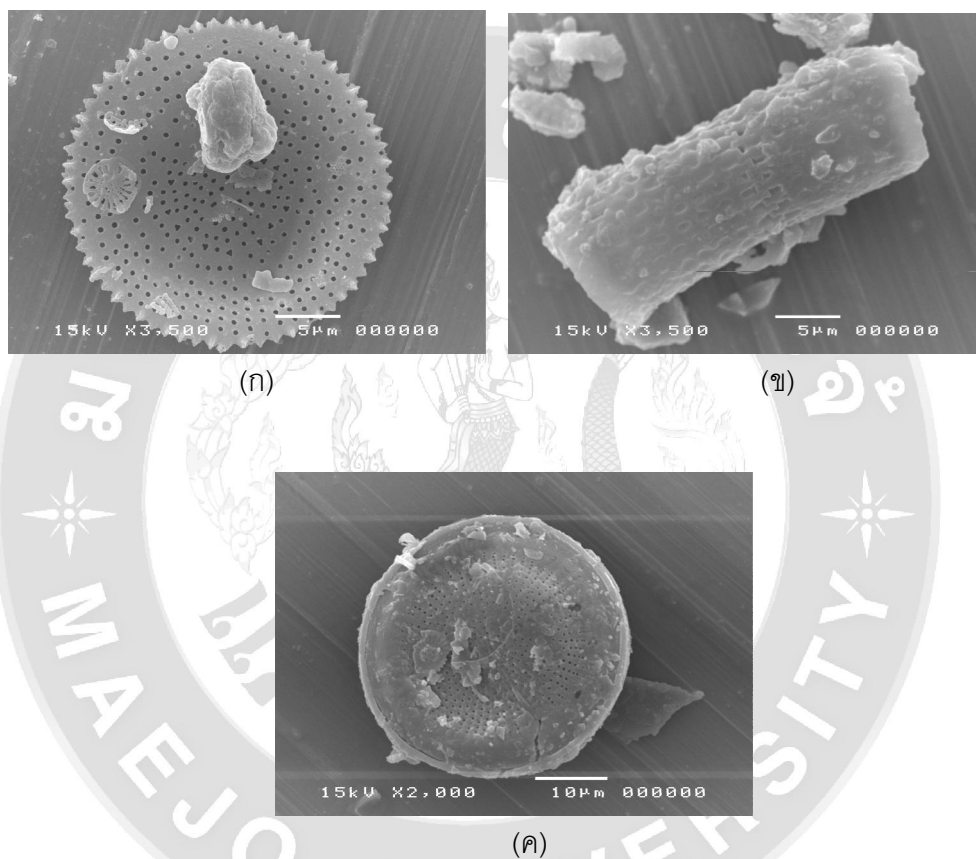
(ง)

ภาพที่ 15 SEM ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกและผ่านการดูดซับโดยสารละลายมาตรฐาน (ก) ทองแดง (ข) แคดเมียม (ค) ตะกั่ว และ (ง) สังกะสี

จากภาพที่ 15 พบว่า ลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง พบว่า ไม่แตกต่างกันมากนัก ไดอะทอมไมต์มีรูพรุนน้อยและขนาดรูพรุนมีขนาดเล็ก

3.3.2 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3, 7 โมลาร์ ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 16



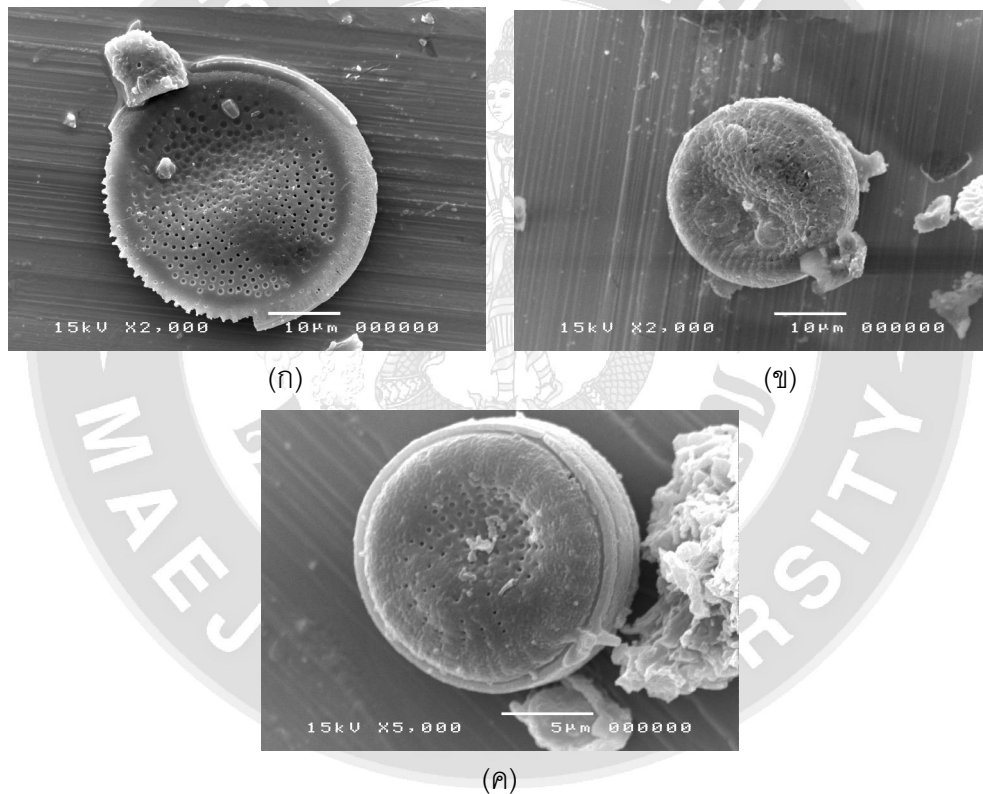
ภาพที่ 16 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น

(ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5, 10 และ 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 16 ลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดหลังดูดซับทองแดงโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 3, 7 โมลาร์ ผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และไดอะทอม

ไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ ผ่านการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ลักษณะของไดอะทอมไมต์ก่อนการดูดซับมีความพรุนสูงมากจนสังเกตเห็นได้ชัดเจน และส่วนใหญ่ไดอะทอมไมต์จะมีลักษณะเป็นรูปร่าง และเมื่อเปรียบเทียบกับไดอะทอมไมต์หลังการดูดซับจะสังเกตเห็นว่าไดอะทอมไมต์มีรูปร่างเปลี่ยนไปจากเดิมค่อนข้างมาก และแทบจะมองไม่เห็นรูพรุนเนื่องจากการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้าไปแทนที่รูพรุน

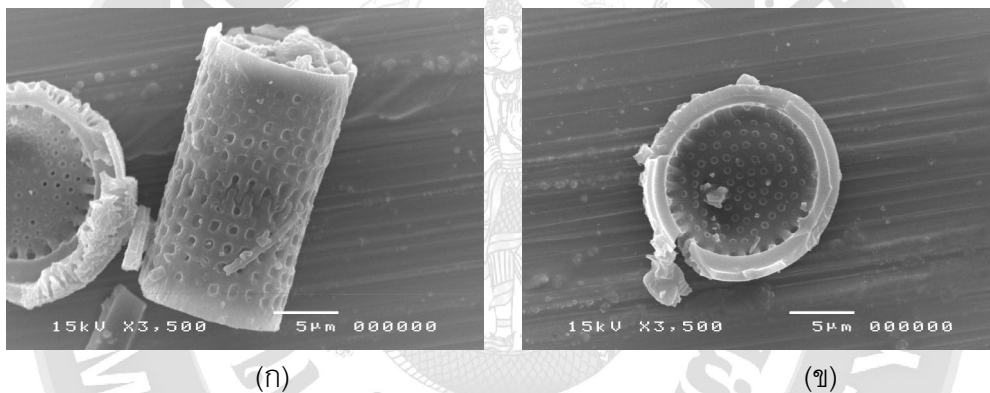
ไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำในช่วงความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10, 10 และ 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 17 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็มและไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังการดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานแคดเมียม 10 พีพีเอ็ม พบว่า ลักษณะของไดอะทอมไมต์ความพรุนสูงลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกขึ้น เนื่องจากการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้าไปแทนที่ในรูพรุนของไดอะทอมไมต์

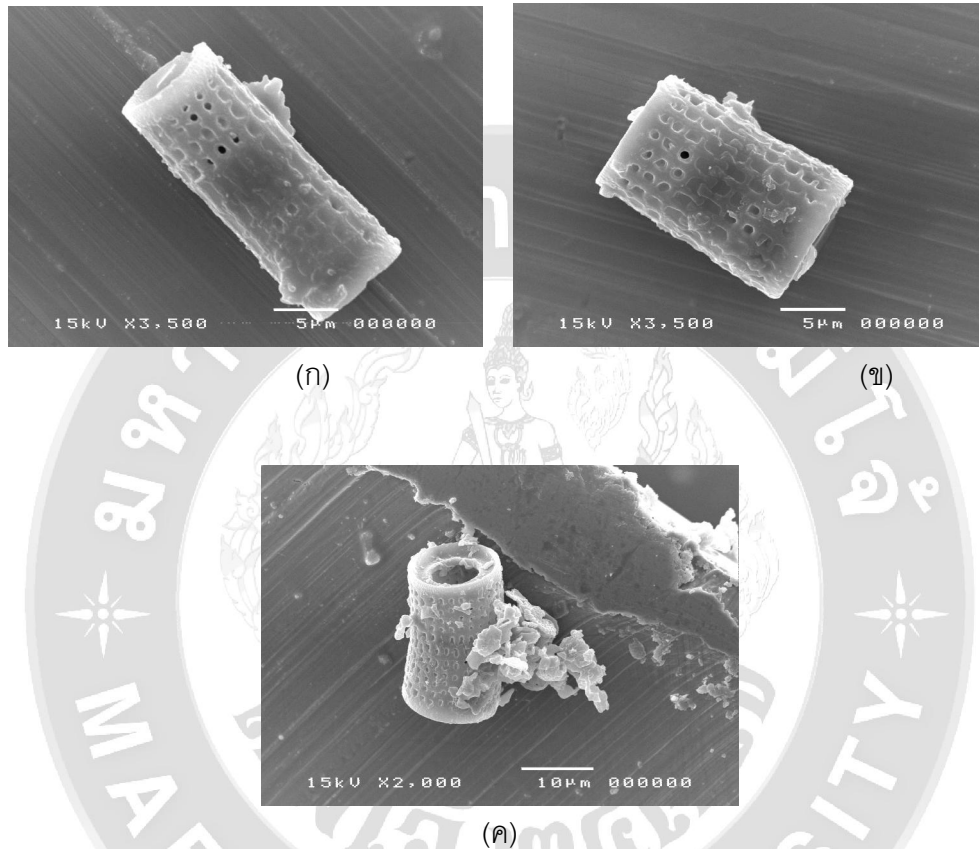
ไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลาร์ และผ่านการดูดซับโดยสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น (ก) 5 และ (ข) 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 18 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 5 และ 10 พีพีเอ็ม ตามลำดับ พบว่า ลักษณะของไดอะทอมไมต์มีความพรุนค่อนข้างสูงและขนาดรูพรุนมีขนาดเล็กอาจเนื่องมาจากการดูดซับตะกั่วเข้าไปมากทำให้เข้าไปแทนที่รูพรุน จึงส่งผลทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง

ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 19



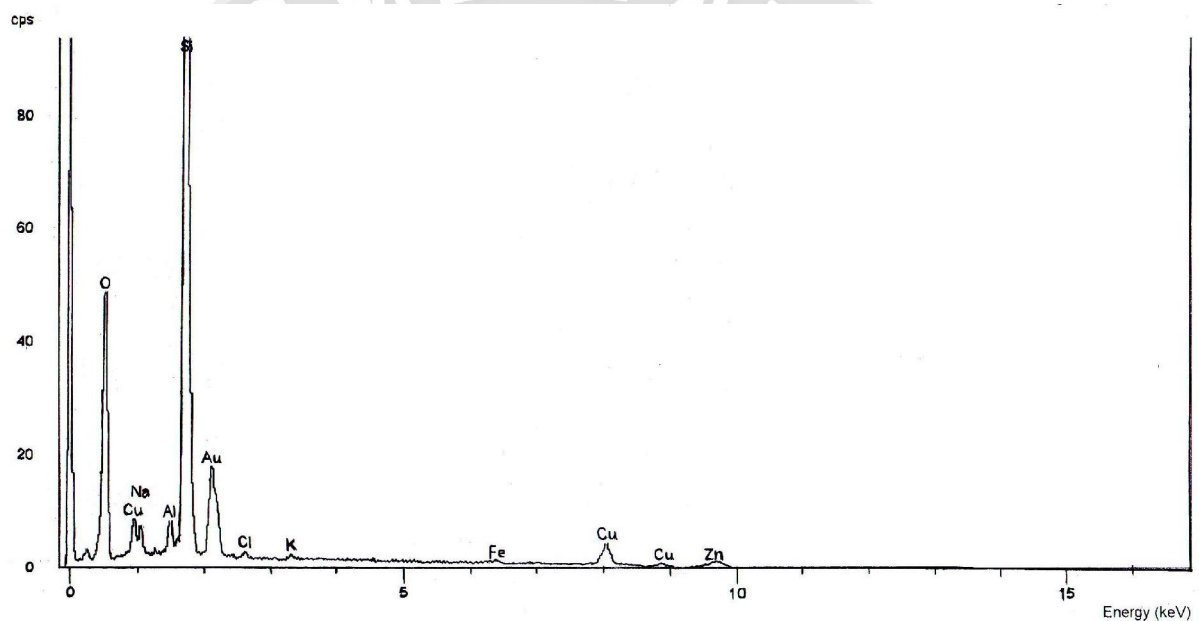
ภาพที่ 19 SEM ของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5, 10 และ 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 19 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสีโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 5 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1

ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม พบว่า ลักษณะของไดอะทอมไมต์ มีความพรุนมากพอสมควรและรูพรุนถูกดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานสังกะสี

4 การหาค่าประกอบของไดอะทอมไมต์โดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ (EDS)

4.1 การหาค่าประกอบของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทรมิเตอร์ (EDS)



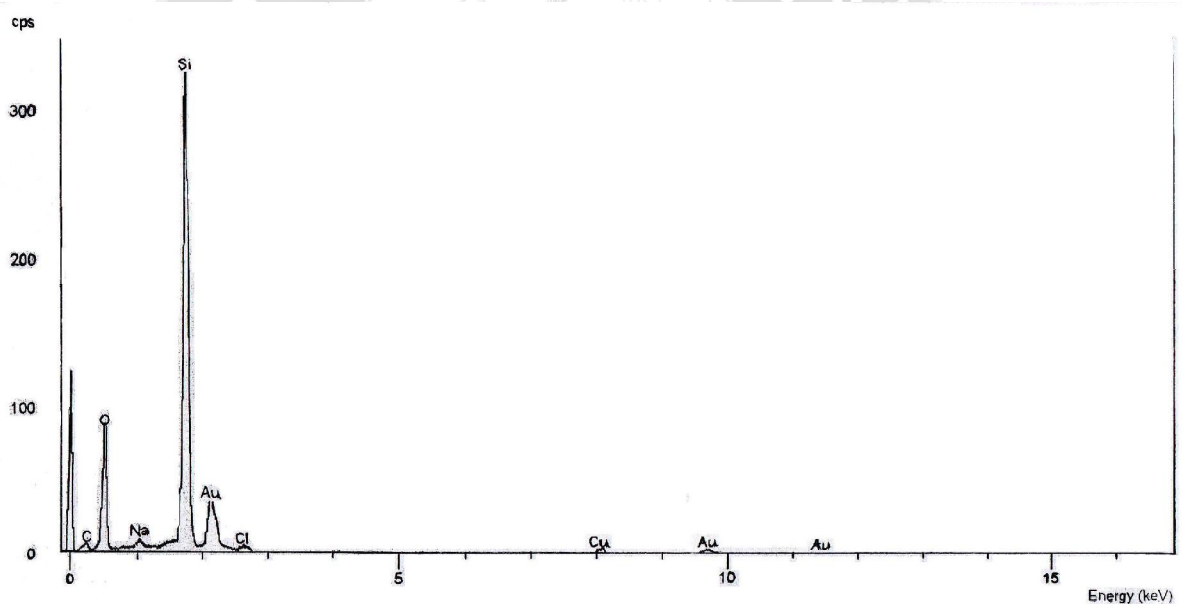
ภาพที่ 20 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง

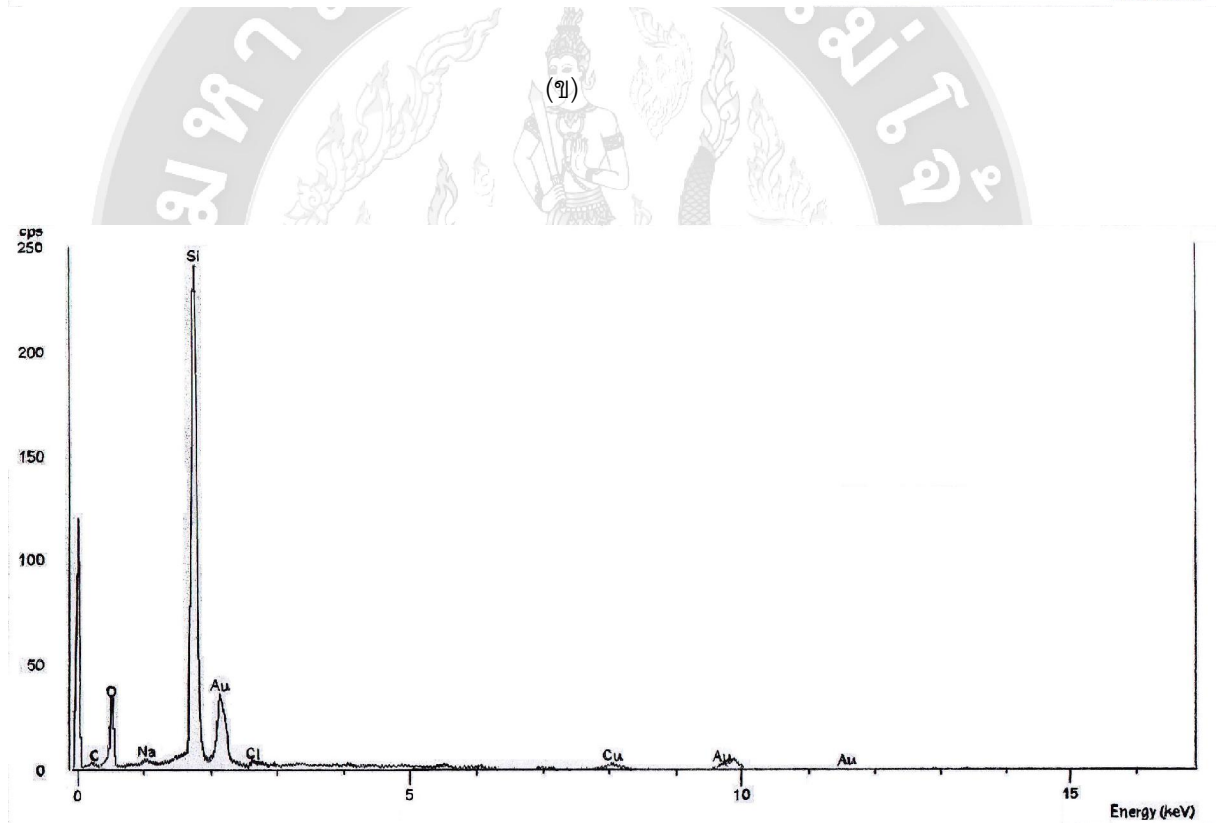
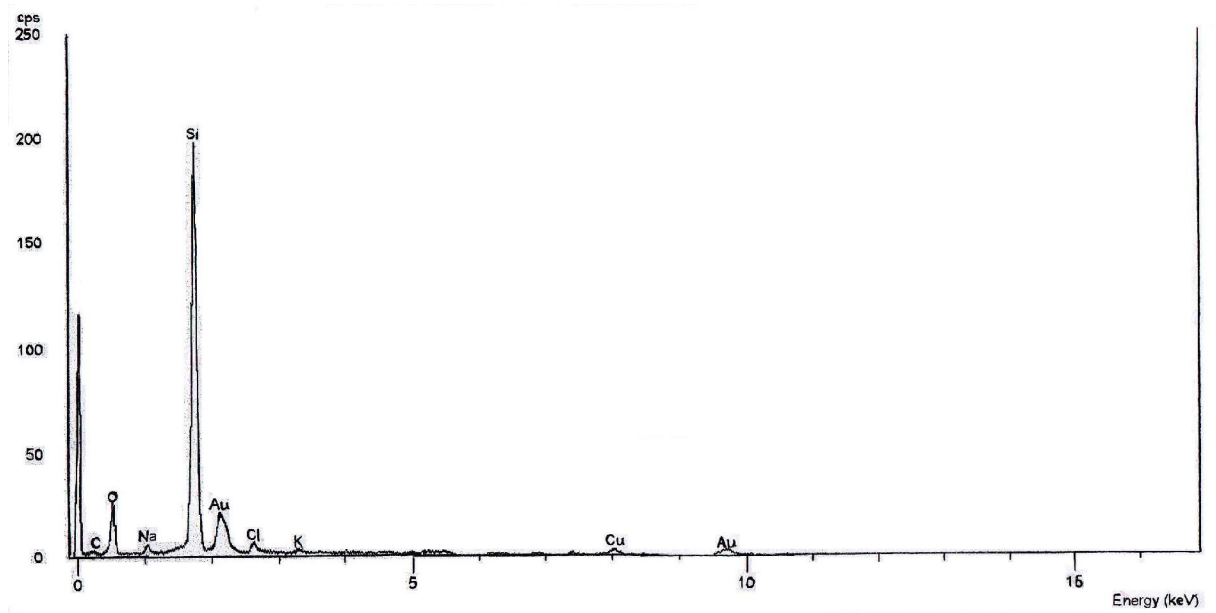
จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโทรมิเตอร์ (EDS) ของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า มีปริมาณซิลิกอน (Si) สูงที่สุด รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มักจะพบในไดอะทอมไมต์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) นอกจากนี้ ยังพบสารประกอบอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ไดอะทอมไมต์ โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) คือ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), เหล็ก (Fe), อลูมิเนียม (Al) และยังพบสารองค์ประกอบอื่นที่ปนเข้ามาและไม่พบในการวิเคราะห์ไดอะทอมไมต์โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) คือ คาร์บอน (C), ทองแดง (Cu), ทองคำ

(Au), คลอรีน (Cl) และ สังกะสี (Zn) ซึ่งคาดว่าคาร์บอน (C) น่าจะมาจากเทปทองแดงที่ติดสตั๊ปในการเตรียมชิ้นงาน และทองคำ (Au) มาจากการเคลือบผิวของชิ้นงานเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า

4.2 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์ (EDS)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์ (EDS) แสดงดังภาพที่ 21





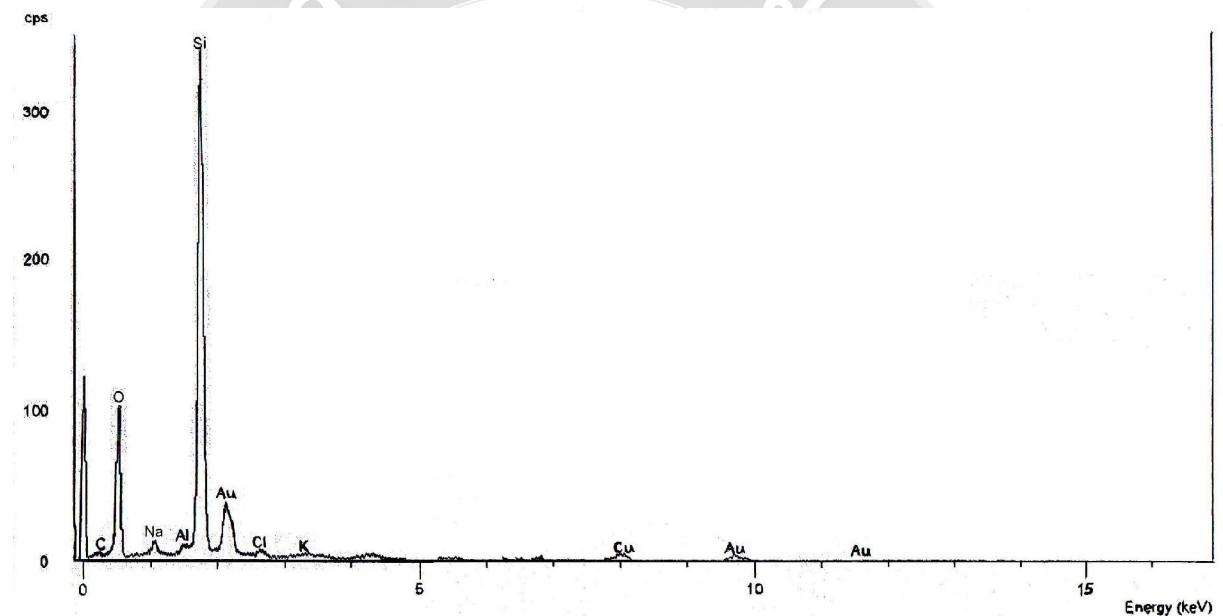
(ค)

ภาพที่ 21 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้น 3 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง

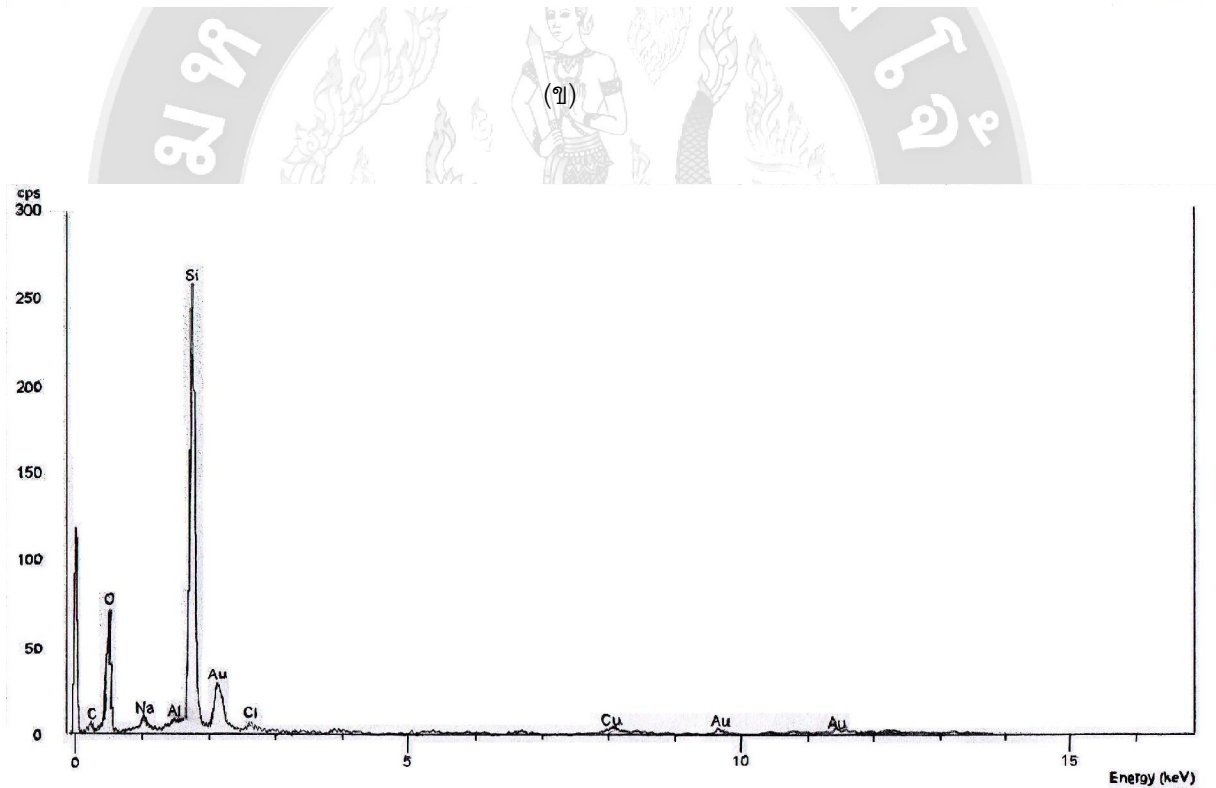
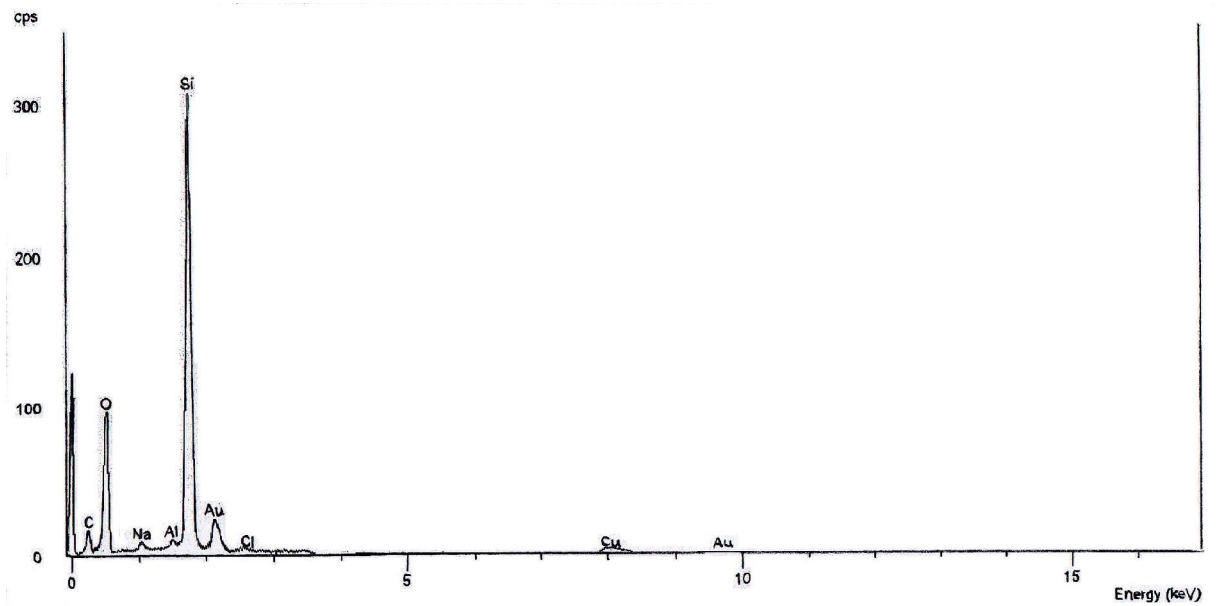
จากภาพที่ 21 (ก) พบว่าองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมด์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุด ที่ตำแหน่งพลังงานประมาณ 1.836 keV รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ที่ตำแหน่งพลังงานประมาณ 0.525 keV

และจากภาพที่ 21 (ข) และ (ค) พบว่าองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมด์มีปริมาณซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) มากที่สุดเช่นกัน และพบในตำแหน่งพลังงานเดียวกัน คือ 1.836 keV และ 0.525 keV

และเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมด์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์ (EDS) แสดงดังภาพที่ 22



(ก)



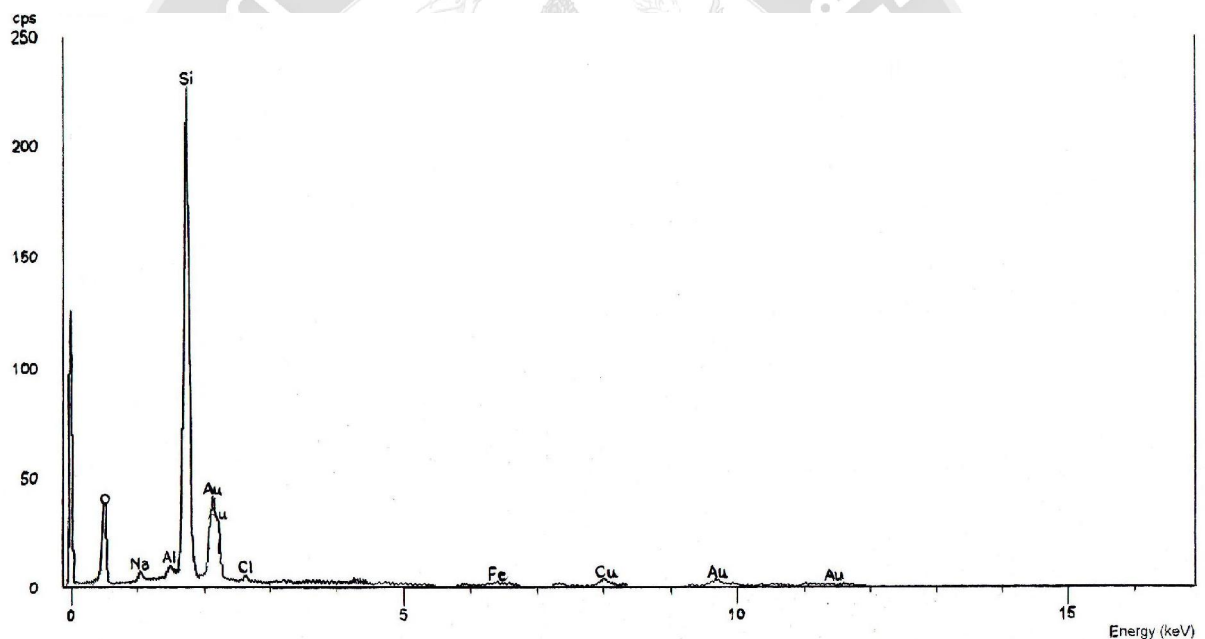
(ค)

ภาพที่ 22 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก
ความเข้มข้น 5 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง

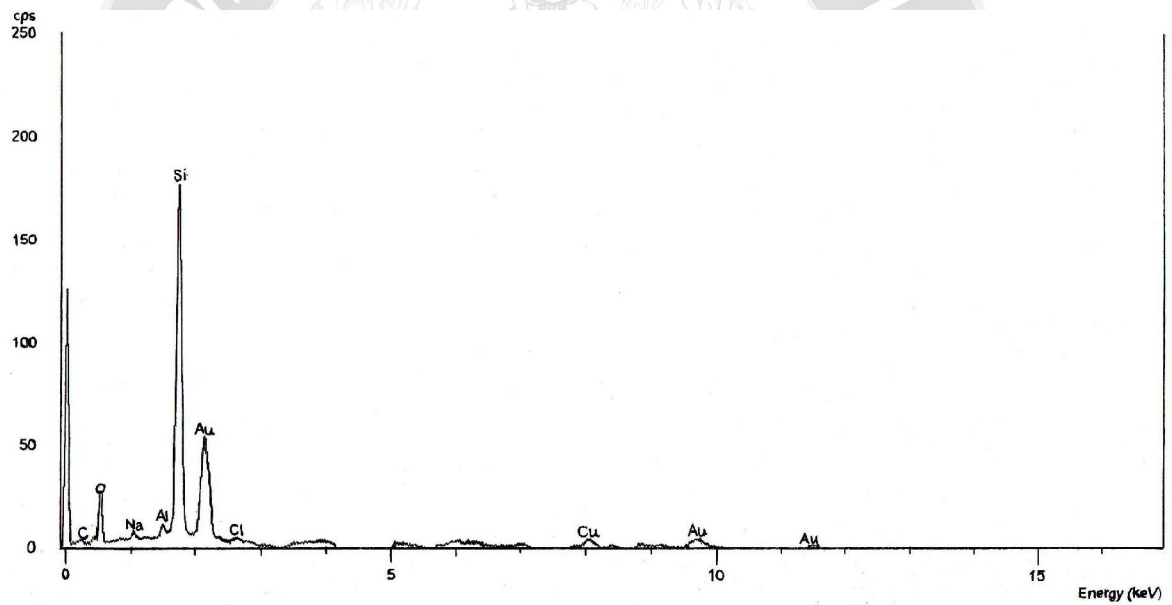
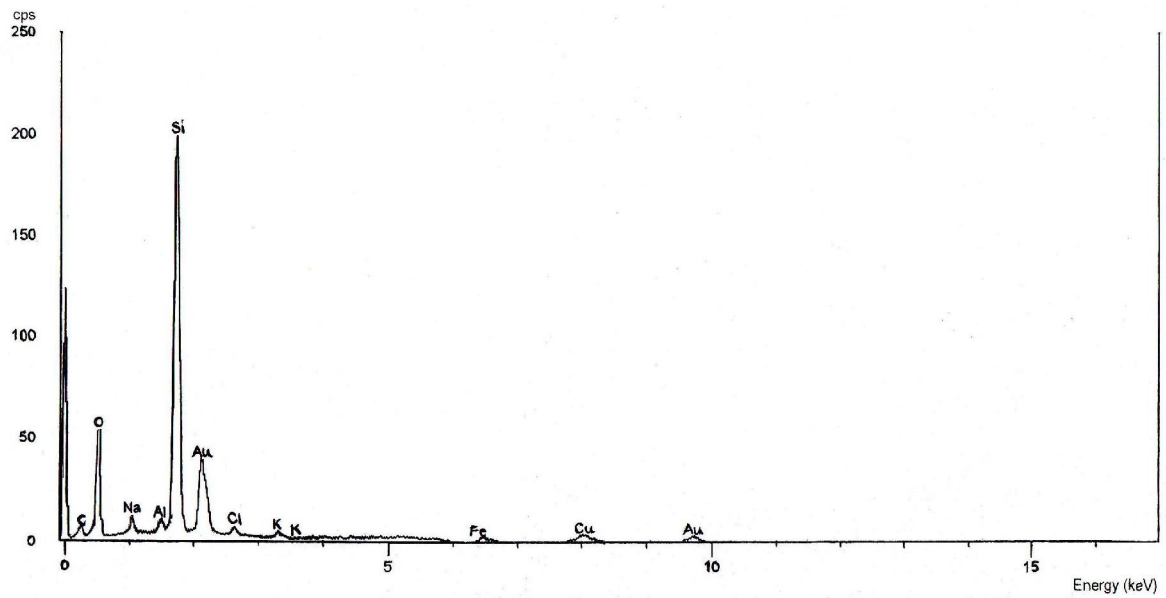
จากภาพที่ 22 (ก) พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุด คือ ที่ตำแหน่งพลังงานประมาณ 1.836 keV รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ที่ตำแหน่งพลังงานประมาณ 0.525 keV

จากภาพที่ 22 (ข) พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ซิลิกอน (Si) ซึ่งน้อยกว่า การปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ 1 ชั่วโมง และพบ ออกซิเจน (O) เท่ากัน และจากภาพที่ 23 (ค) พบ ซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) มีปริมาณลดลง จากการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ 1 และ 3 ชั่วโมง

และเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมงด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโตรมิเตอร์ (EDS) แสดงผลดังภาพที่ 23



(ก)



(ค)

ภาพที่ 23 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ความเข้มข้น 7 โมลาร์ (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 3 ชั่วโมง และ (ค) 5 ชั่วโมง

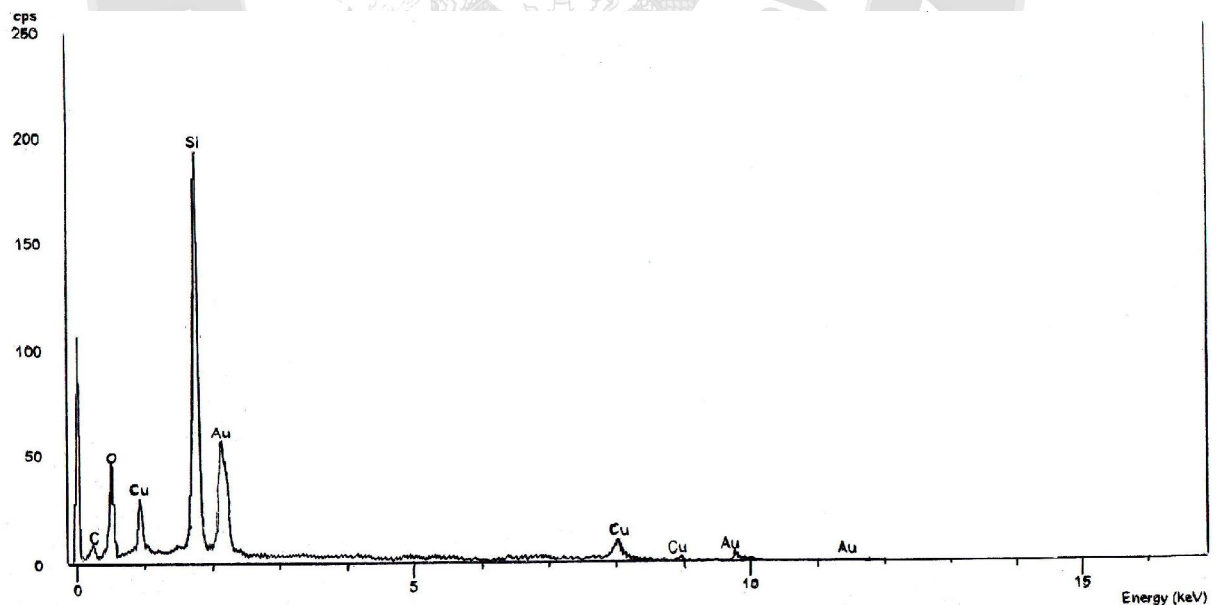
จากภาพที่ 23 (ก) พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุด รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) และจากภาพที่ 23 (ข) และ (ค) พบ ซิลิกอน (Si) และ ออกซิเจน (O) ที่ตำแหน่งพลังงานเท่าเดิม คือ 1.836 และ 0.525 keV

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์, 5 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1, 3 และ 5 ชั่วโมง นอกจากจะพบ ธาตุองค์ประกอบในไดอะทอไมต์เป็น ซิลิกอน (Si) และ ออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของไดอะทอไมต์ชนิดซิลิกาไร้ผลึกแล้ว

4.3 การหาองค์ประกอบของไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ที่ผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานโดยใช้เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรมิเตอร์ (EDS)

4.3.1 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง

จากการหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 24

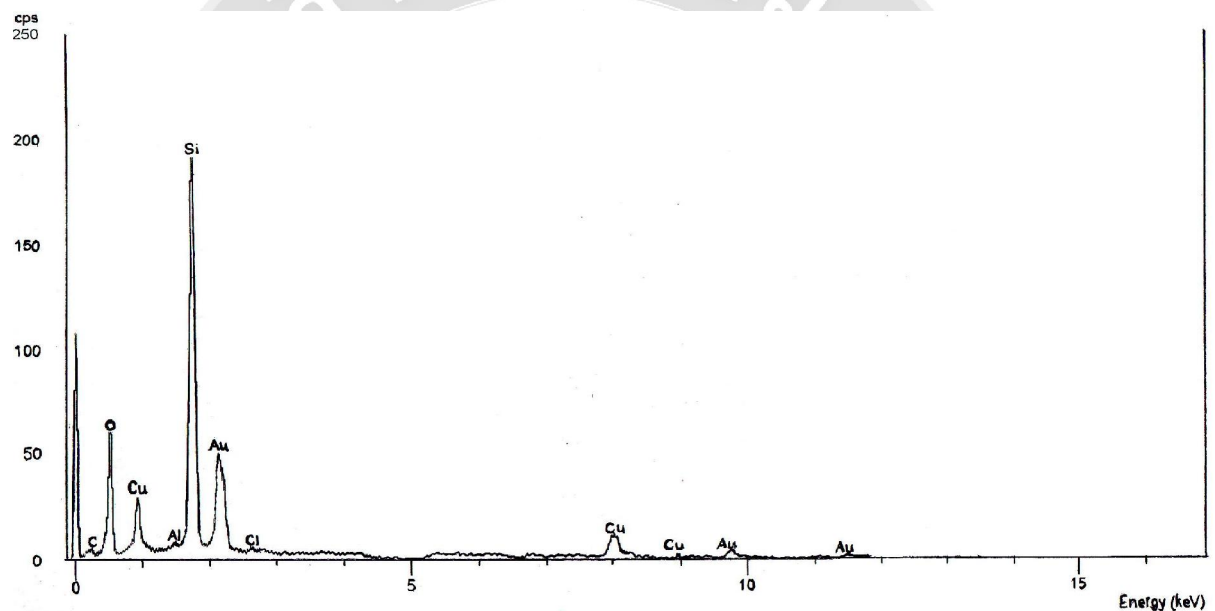


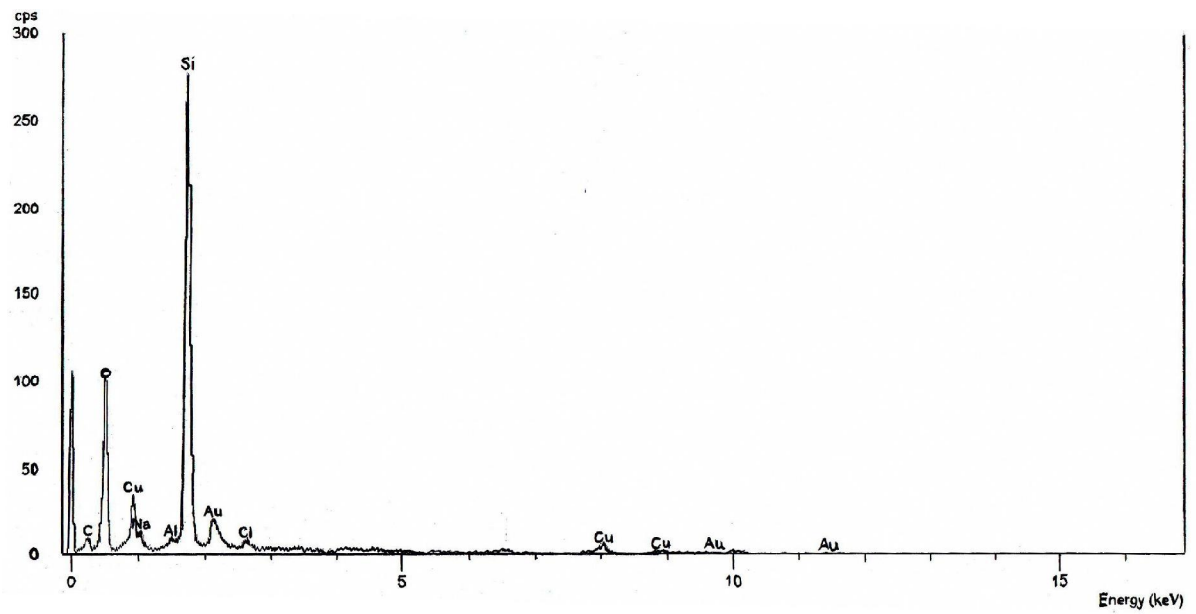
ภาพที่ 24 EDS สเปกตรัมของไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงและผ่านการดูดซับ

สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 24 พบว่าองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือออกซิเจน (O) และ ทองแดง(Cu) ที่ตำแหน่งพลังงาน เท่ากับ 1.836, 0.525 และ 0.905 keV ตามลำดับ

จากการหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม และ ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 25





(ค)

ภาพที่ 25 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

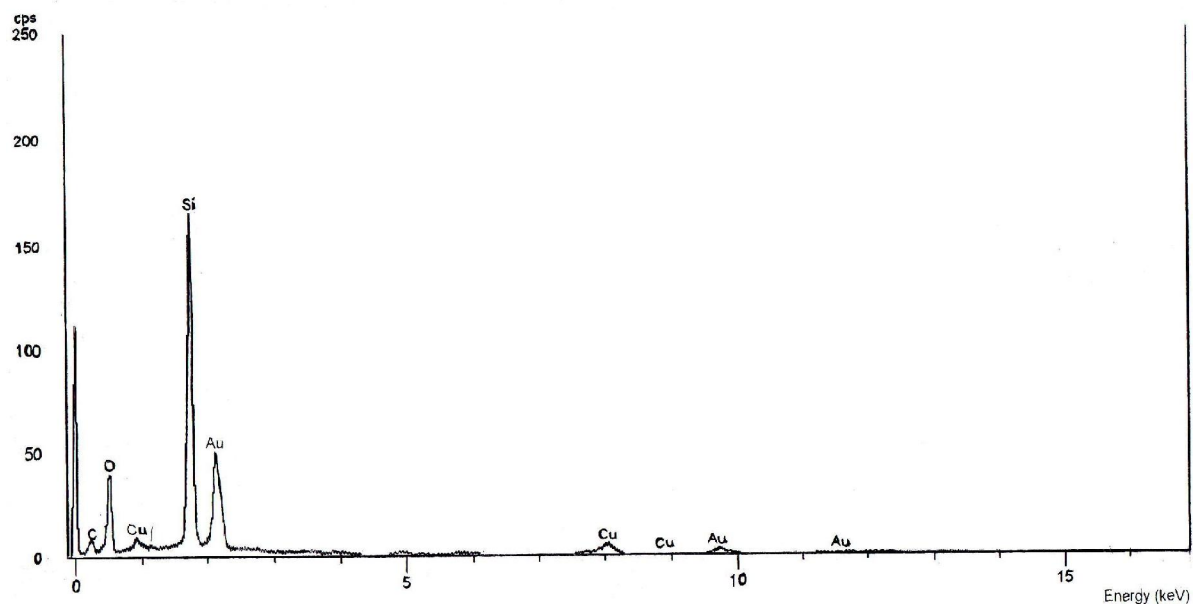
ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ หลังดูดซับ

สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5, 10 และ 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 25 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณสูงสุด คือ ซิลิกอน (Si) รองลงมาคือออกซิเจน (O) ตามลำดับ และยังพบองค์ประกอบอื่นๆในไดอะทอมไมต์ คือ โซเดียม (Na) ฟอสฟอรัส (K) อลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) ที่ตำแหน่งพลังงานเท่ากับ 1.0, 3.4, 1.5 และ 6.3 keV ตามลำดับ พบว่า สารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu) อยู่ที่ตำแหน่ง 0.950 keV

4.3.2 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม

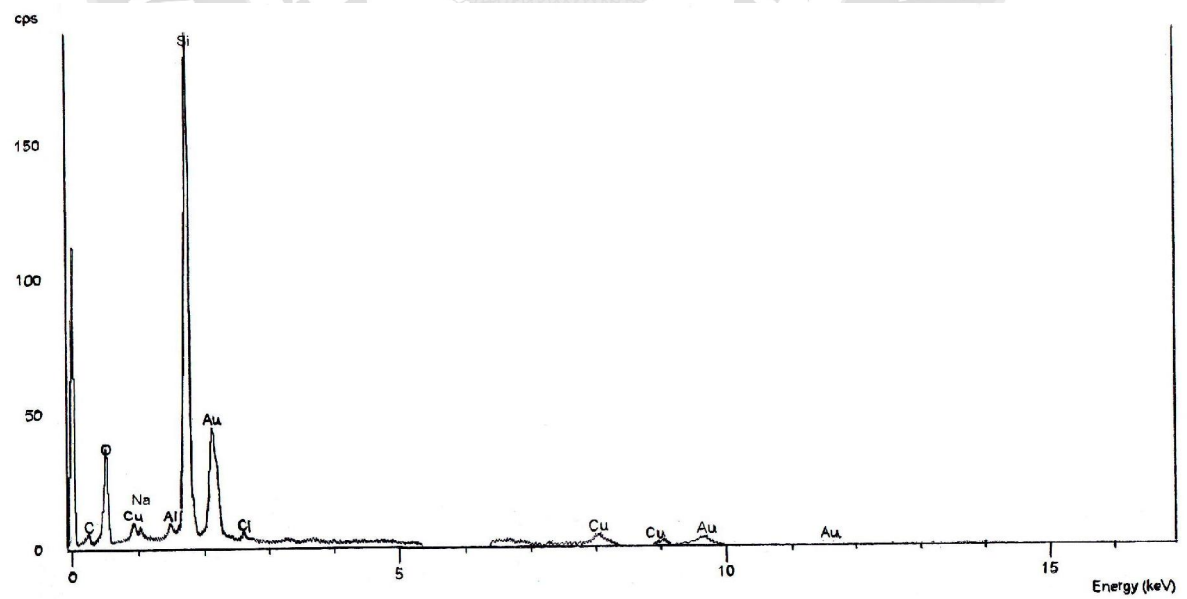
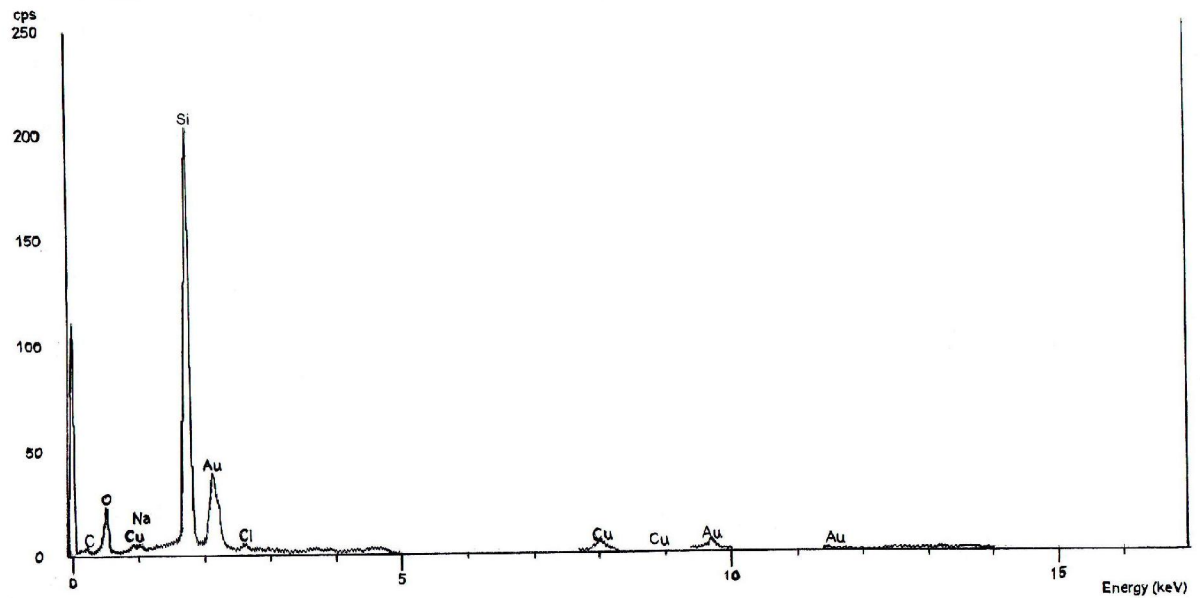
จากการหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 26

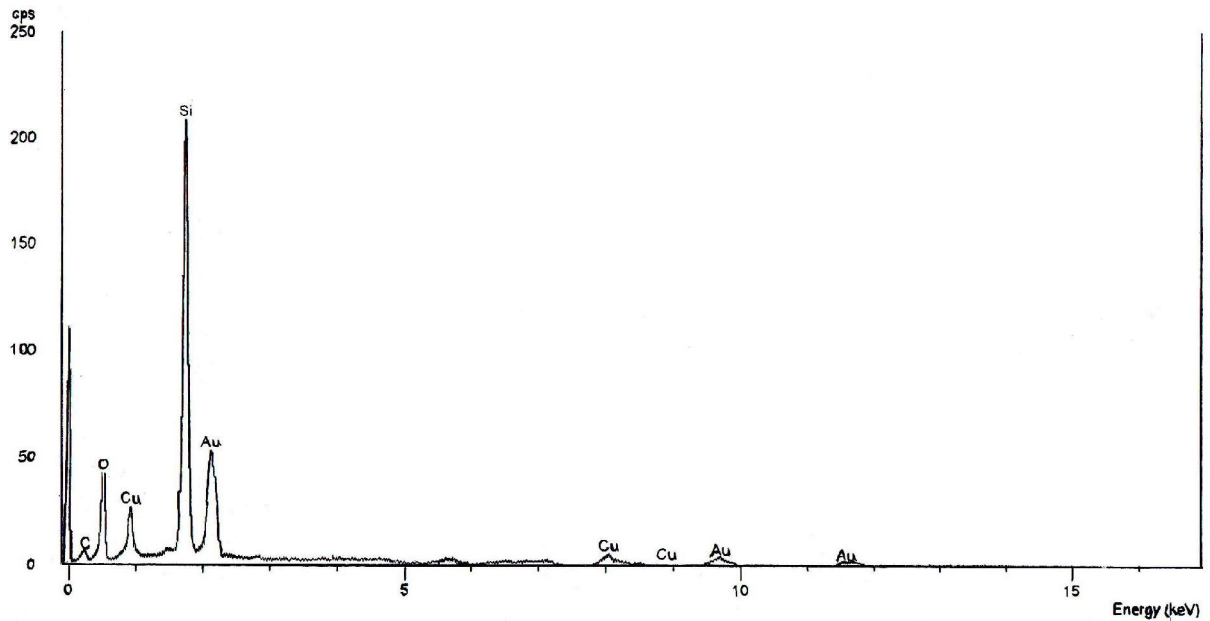


ภาพที่ 26 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 26 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.836 และ 0.525 keV และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมมีปริมาณน้อยเกินไป โดยพลังงานของแคดเมียมจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0.603 keV

จากการหาค่าประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 5 โมลาร์ และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังดูดซับ สารละลายมาตรฐานแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงผลดังภาพที่ 27





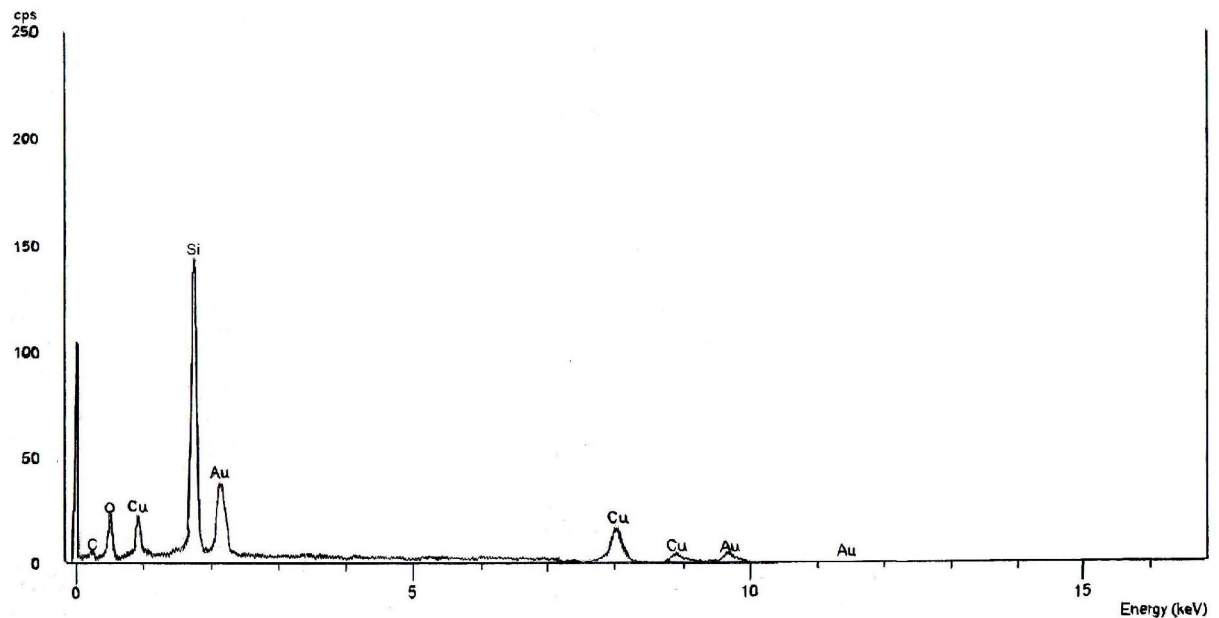
(ค)

ภาพที่ 27 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ และ (ค) 7 โมลาร์ และผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 27 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณสูงสุด คือ ซิลิกอน (Si) รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ตามลำดับ และยังพบสารองค์ประกอบอื่นๆในไดอะทอมไมต์ คือ โซเดียม (Na) อลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.071, 1.487 และ 6.391 keV ตามลำดับเช่นเดียวกับการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมอาจเนื่องมาจากพีคมีการซ้อนทับกัน ซึ่งสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ที่ใช้จะแสดงพลังงานของแคดเมียมจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0.603 keV

4.3.3 การหองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

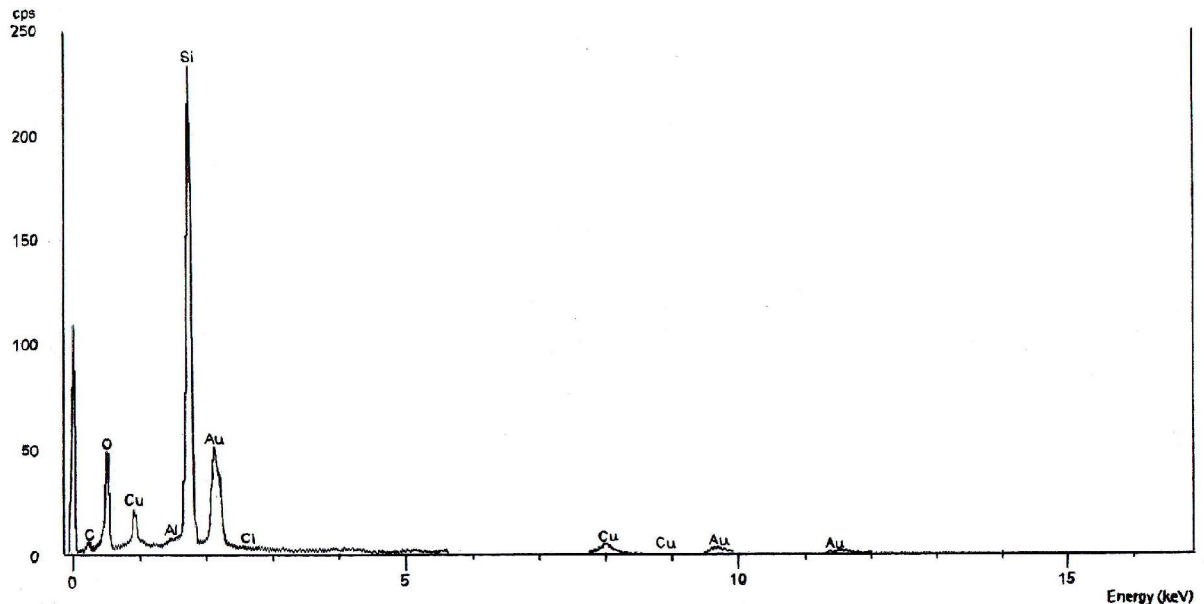
จากการหองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 28 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุดเช่นกัน รองลงมา คือ ออกซิเจน (O) ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง และแคดเมียม ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.836 และ 0.525 keV และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานตะกั่วอาจเนื่องมาจากการซ้อนทับกับพีคของทองคำ (Au) ซึ่งสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ที่ใช้ ตะกั่วจะอยู่ที่ตำแหน่ง 2.345 keV

จากการหาค่าองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 29

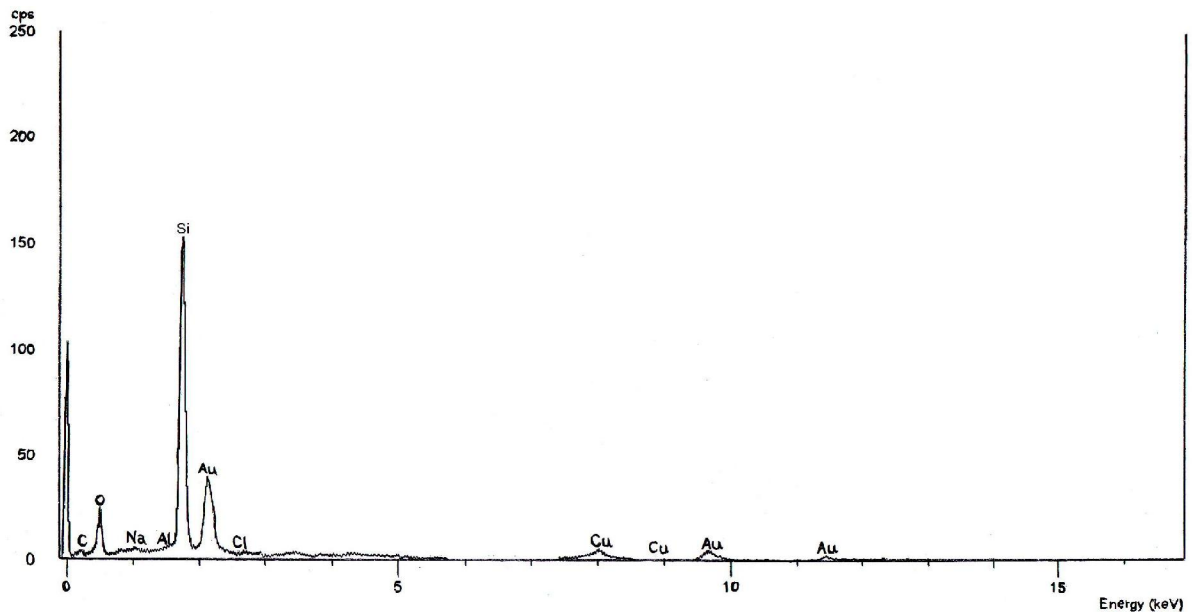


ภาพที่ 29 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ และผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 29 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ที่ปริมาณสูงที่สุดยังคงเป็น ซิลิกอน (Si) รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) และยังพบสารองค์ประกอบอื่นๆในไดอะทอมไมต์ คือ โซเดียม (Na), อลูมิเนียม (Al) และ เหล็ก (Fe) ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.041, 1.487 และ 6.391 keV ตามลำดับ และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานตะกั่วอาจเนื่องมาจากการซ้อนทับกับพีคของทองคำ (Au) ซึ่งสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ที่ใช้ตะกั่วจะอยู่ที่ตำแหน่ง 2.345 keV

4.3.2 การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงหลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี

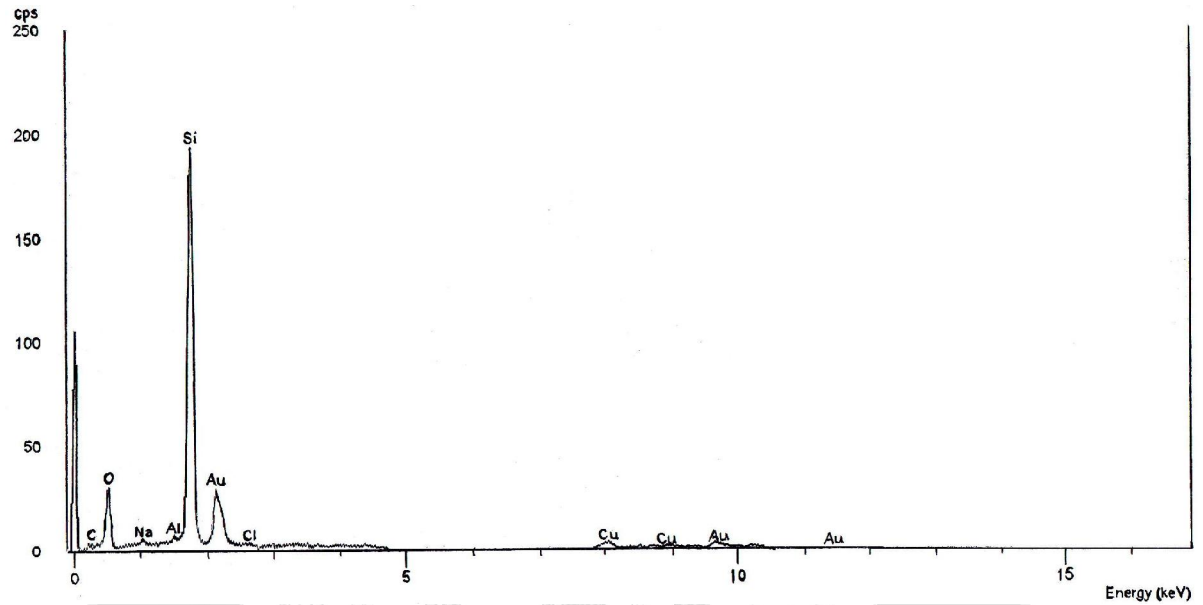
จากการหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม แสดงดังภาพที่ 30

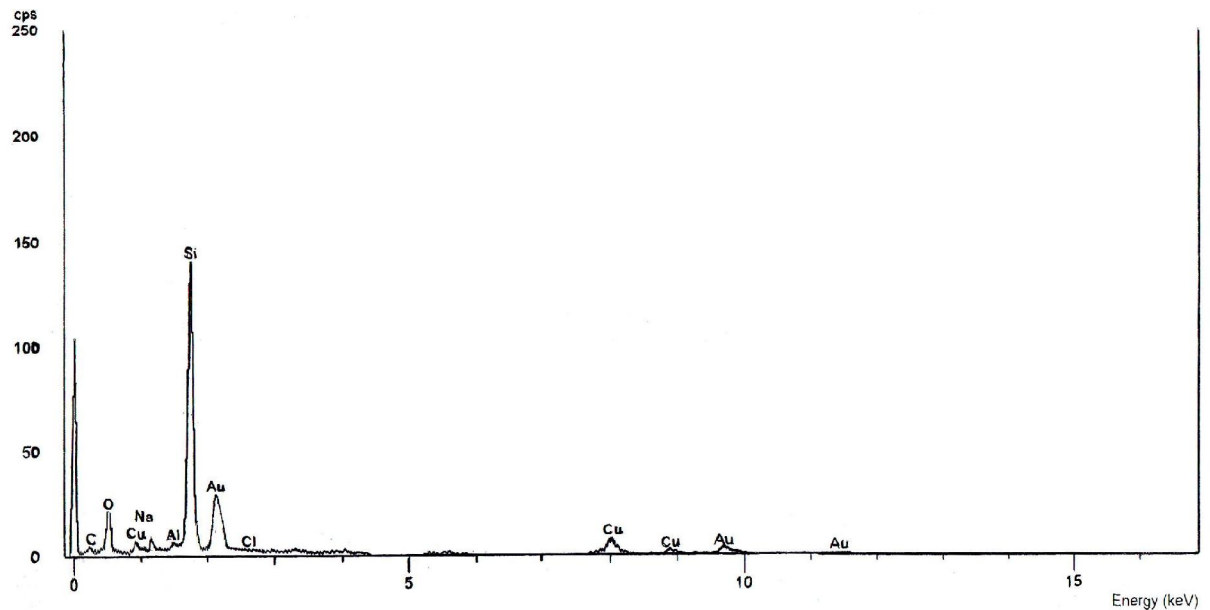


ภาพที่ 30 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 30 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณซิลิกอน (Si) มากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง และแคดเมียม แต่มากกว่า การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.836 และ 0.525 keV ตามลำดับ และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานสังกะสีอาจเนื่องมาจากมีปริมาณสารละลายมาตรฐานสังกะสีน้อยเกินไปเครื่องจึงตรวจไม่พบ ซึ่งสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Pb) ที่ใช้สังกะสีจะอยู่ที่ตำแหน่ง 8.05 keV

จากการหาค่าประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3, 5 และ 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5- 10 พีพีเอ็ม แสดงผลดังภาพที่ 31





ภาพที่ 31 EDS สเปกตรัมของไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น (ก) 3 โมลาร์ (ข) 5 โมลาร์ (ค) 7 โมลาร์ และผ่านการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5, 10 และ 10 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

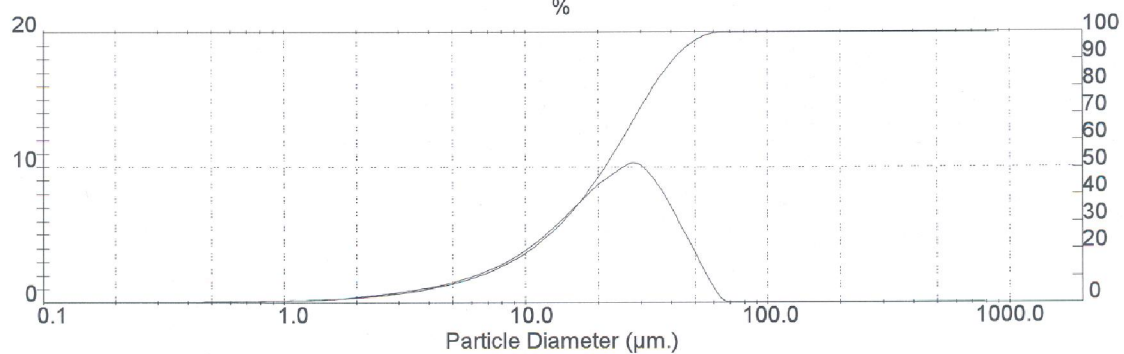
จากภาพที่ 31 พบว่า องค์ประกอบของธาตุในไดอะทอมไมต์มีปริมาณสูงสุด ยังคงเป็นซิลิกอน (Si) รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ตามลำดับ และไม่ปรากฏพีคของสารละลายมาตรฐานสังกะสีอาจเนื่องมาจากการซ้อนทับกับพีคของทองแดง (Cu) ซึ่งสารละลายมาตรฐานสังกะสี (Pb) ที่ใช้สังกะสีจะอยู่ที่ตำแหน่ง 8.05 keV และยังพบสารองค์ประกอบอื่นๆในไดอะทอมไมต์ คือ โซเดียม (Na) อลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) ที่ตำแหน่งพลังงาน 1.041, 1.487 และ 6.391 keV ตามลำดับเช่นเดียวกับการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ตามลำดับ

4. การหาขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์ โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)

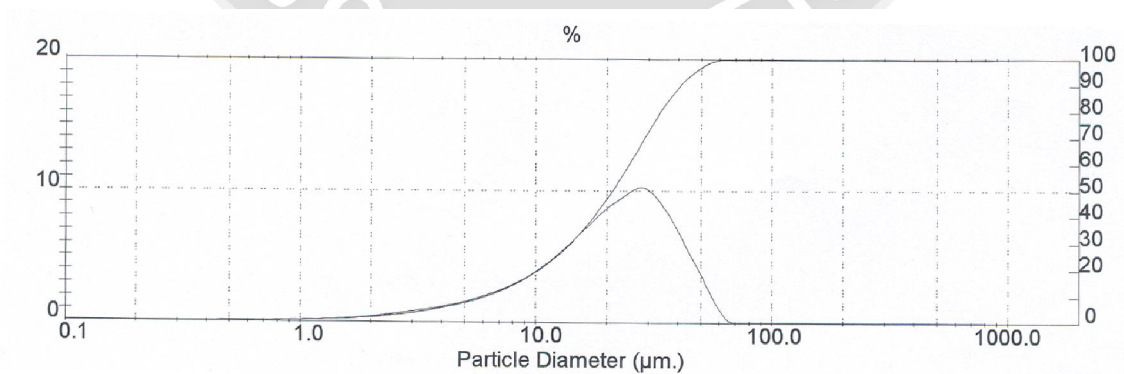
ผลการหาขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาคที่ผ่านการทำอัลตราโซนิก เป็นเวลา 0, 2 และ 4 นาที แสดงดังตารางที่ 25 และภาพที่ 32

ตารางที่ 25 ผลการหาขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์

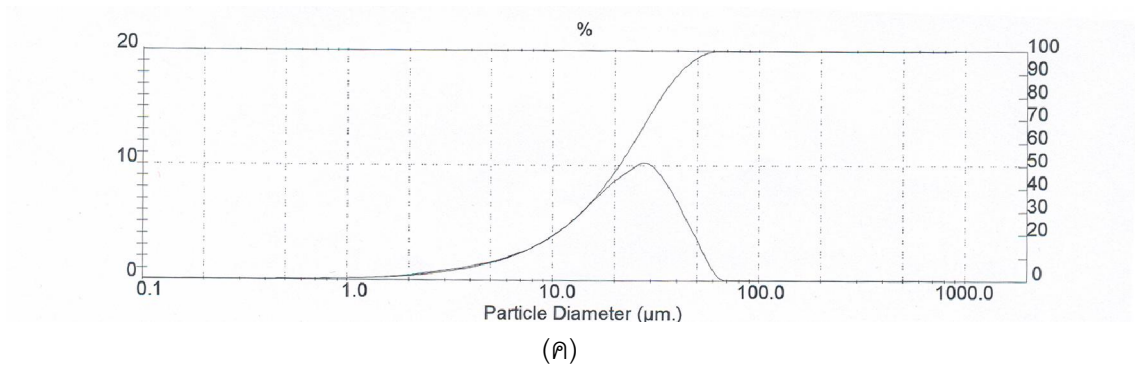
ตัวอย่าง	อัลตราโซนิก (นาที)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)
ไดอะทอมไมต์	-	22.71
	2	22.49
	4	22.34



(ก)



(ข)



ภาพที่ 32 ขนาดอนุภาคของไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุงและผ่านการทำอัลตราโซนิก เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 2 และ (ค) 4 นาที ตามลำดับ

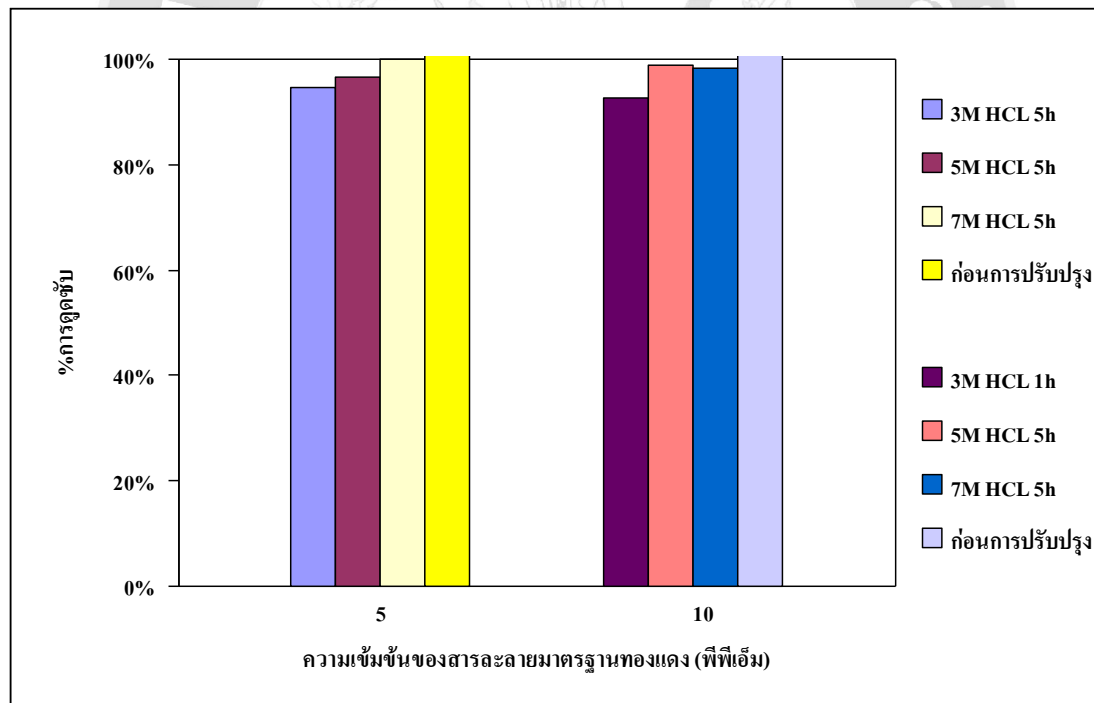
จากตารางที่ 25 และภาพที่ 32 พบว่า ขนาดของไดอะทอมไมต์ ที่ไม่ผ่านการทำอัลตราโซนิก จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 22.71 ไมโครเมตรและจะมีขนาดลดลง แต่ไม่นับสำคัญเมื่อเวลาในการทำอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้น คือ เมื่อใช้เวลาในการทำอัลตราโซนิกเป็น 2 และ 4 นาที ขนาดของไดอะทอมไมต์เฉลี่ยประมาณ 22.48 และ 22.31 ไมโครเมตร ตามลำดับเนื่องจากว่า ในการทำอัลตราโซนิกเป็นการช่วยลดการเกาะตัวกันของไดอะทอมไมต์ ดังนั้นเมื่อใช้เวลาในการทำอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า ในการปรับปรุงคุณภาพในการดูดซับโลหะหนักโดยไดอะทอมไมต์นั้น ปัจจัยที่มีผล คือ เวลาและความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งไดอะทอมไมต์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก จะมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ไม่แตกต่างกับไดอะทอมไมต์ที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ แต่จะทำให้มีปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ลดลง ส่วนสารประกอบอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณน้อยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณมากนัก

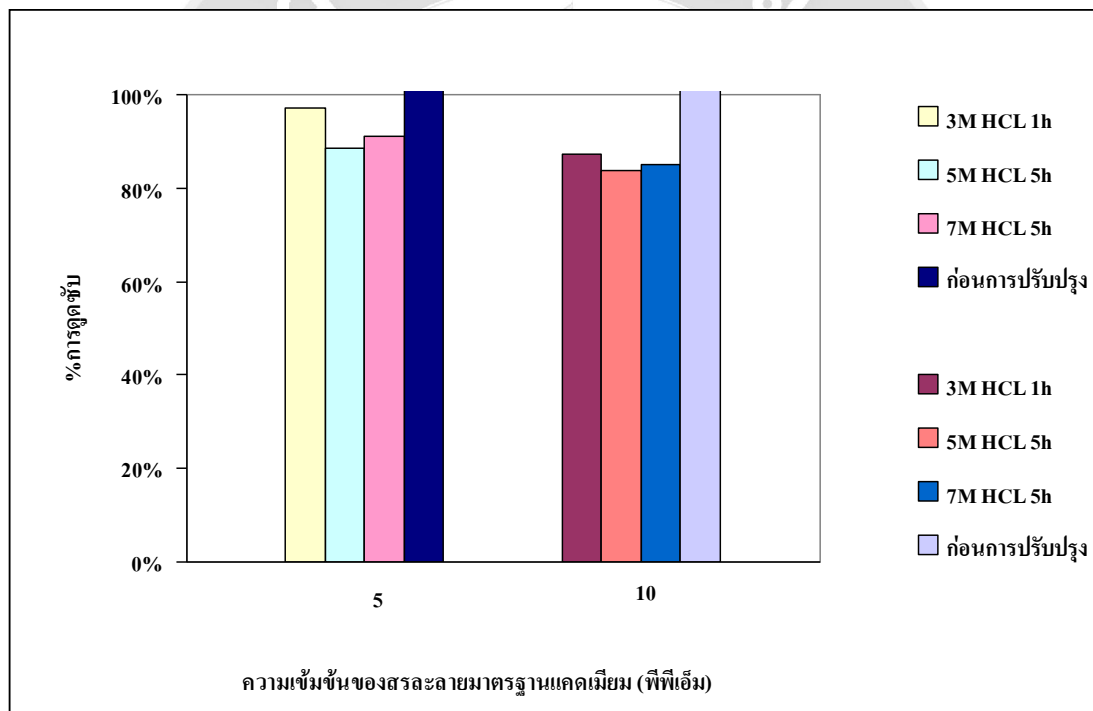
สภาวะเครื่องอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโตรโฟมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีการดูดกลืนคลื่นแสงของ ทองแดง (Cu), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 324.8, 228.2, 283.3 และ 213.9 นาโนเมตร ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะทำให้อะตอมเกิดการแตกตัวกลายเป็นอะตอมอิสระ เมื่อดูดกลืนแสงจะทำให้ความเข้มแสงลดลง

การดูดซับของสารละลายมาตรฐานทองแดงโดยไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยกรดไฮโดรคลอริก แสดงดังภาพที่ 33



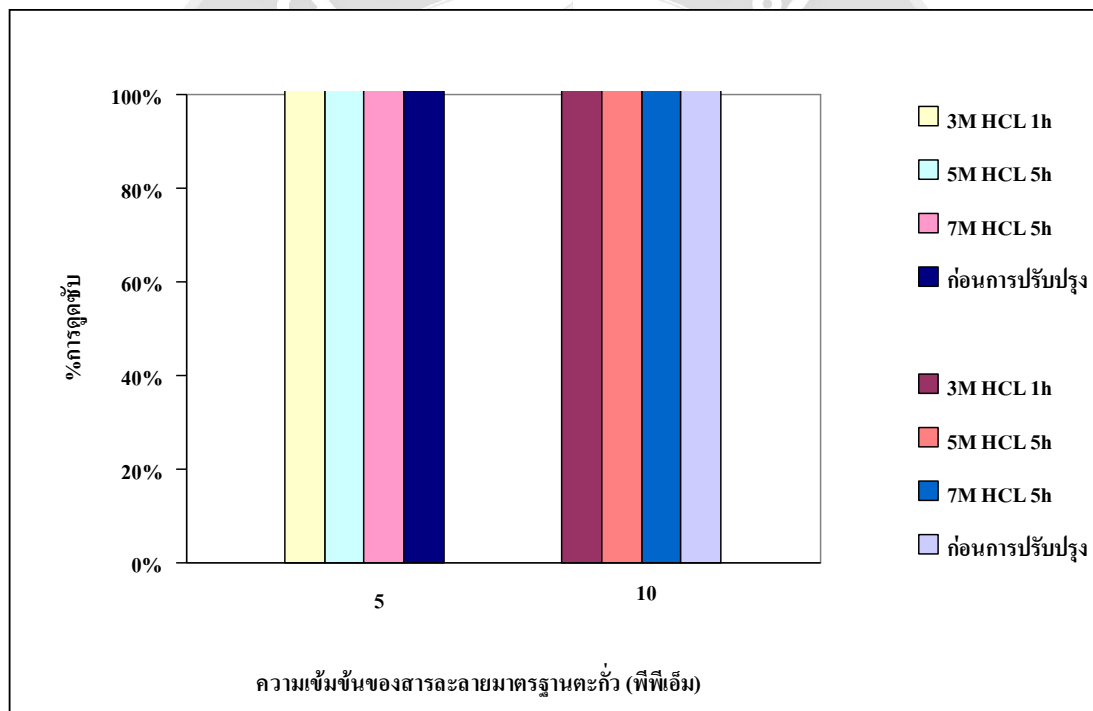
ภาพที่ 33 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 33 เป็นการเปรียบเทียบ% การดูดซับโลหะหนักของไดอะทอมไมต์ก่อนและการปรับปรุงคุณภาพ จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทองแดงสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าลดลง และการดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 99.96% และ 99.95% ตามลำดับ ซึ่งไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และ ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 99.86% และ 98.97% ตามลำดับ



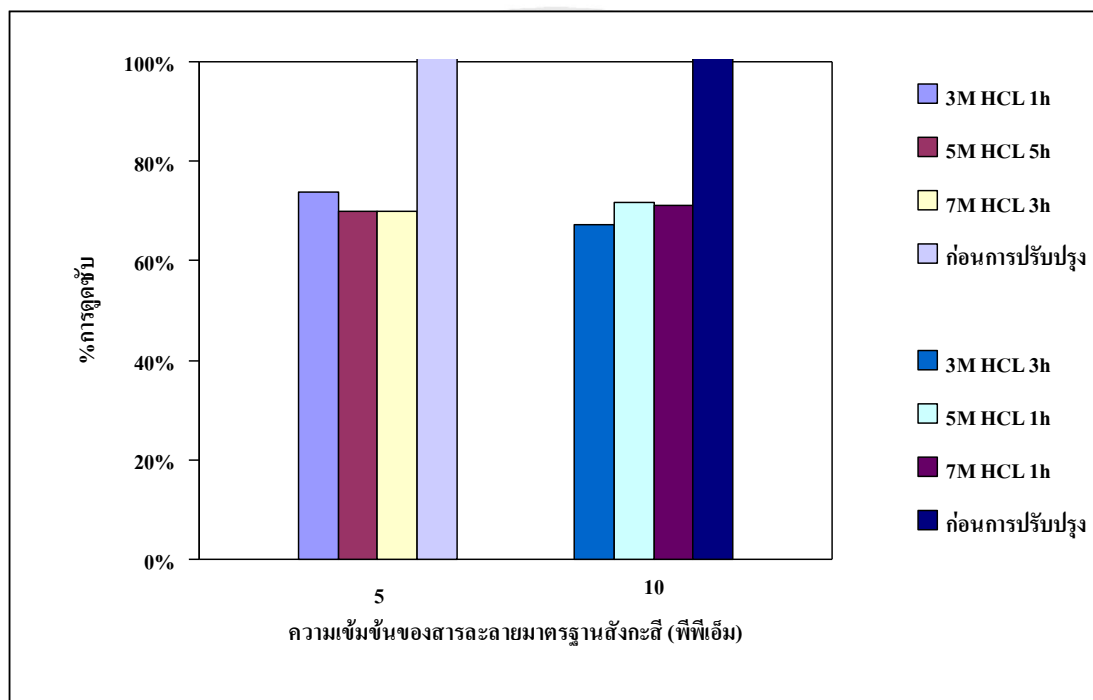
ภาพที่ 34 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 34 เป็นการเปรียบเทียบ% การดูดซับโลหะหนัก ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคดเมียมสูงขึ้น การดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าลดลง และการดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 98.76% และ 99.15% ตามลำดับ ซึ่งไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และ ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดูดซับสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 97.24% และ 87.13% ตามลำดับ



ภาพที่ 35 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 35 เป็นการเปรียบเทียบ% การดูดซับโลหะหนัก ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วสูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การดูดซับสารละลายมาตรฐานตะกั่วด้วยไดอะทอมไมต์ที่ปรับปรุงแล้วที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และ 10 พีพีเอ็ม พบว่า ไม่สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับได้ เนื่องจากสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ถูกไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงแล้วดูดซับไปจนหมด



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบ % การดูดซับไดอะทอมไมต์ก่อนและหลังการปรับปรุง ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ หลังการดูดซับ สารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม

จากภาพที่ 36 เป็นการเปรียบเทียบ%การดูดซับโลหะหนัก ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีมีผลต่อการดูดซับ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีสูงขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงขึ้นตามไปด้วยการดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 และ 10 พีพีเอ็ม ด้วยไดอะทอมไมต์ก่อนการปรับปรุง มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 94.98% และ 95.49% ตามลำดับ ซึ่งไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดูดซับสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และ ไดอะทอมไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดูด

ชั้นสารละลายมาตรฐานสังกะสี ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงที่สุด คือ 73.76% และ 71.86% ตามลำดับ

ดังนั้นผลจากการวิเคราะห์การดูดซับสารละลายมาตรฐานทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน พบว่า ไดอะทอไมต์ก่อนและหลังปรับปรุงสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยไดอะทอไมต์ก่อนการปรับปรุงสามารถดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะบางชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 94-99% แต่สำหรับไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก และดูดซับสารละลายมาตรฐานโลหะบางชนิดมีค่าอยู่ในช่วง 71-99%

การหาลักษณะพื้นฐานของไดอะทอไมต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ไดอะทอไมต์มีความพรุนสูงและมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอก ซึ่งเป็นไดอะทอไมต์ชนิดซิลิกาไร้ผลึกชนิดโอปอล และมีช่วงขนาดอนุภาค เท่ากับ 10-25 ไมโครเมตร และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ เท่ากับ 24.84 ตารางเมตรต่อกรัม โดยมีขนาดรูพรุน เท่ากับ 4.81 นาโนเมตร และขนาดของอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 22.71 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการวัดขนาดของรูพรุน ด้วยเทคนิคของการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (BET method)

และลักษณะของไดอะทอไมต์หลังการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการปรับปรุงด้วยกรดไฮโดรคลอริก ไดอะทอไมต์มีรูพรุนเพิ่มขึ้นและขนาดรูพรุนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น

การหาองค์ประกอบของธาตุในไดอะทอไมต์โดยใช้ เครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ (EDS) ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า มีซิลิกอน (Si) สูงที่สุด รองลงมาคือ ออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มักจะพบในไดอะทอไมต์ในรูปของ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และยังพบสารประกอบอื่นๆ คือ โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), เหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al)

การหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไดอะทอไมต์ โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค ที่ผ่านการทำอัลตราโซนิก พบว่า ขนาดของไดอะทอไมต์ จะมีขนาดลดลงเมื่อเวลาในการทำอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้น คือ เมื่อใช้เวลาในการทำอัลตราโซนิกเป็น 2 และ 4 นาที ขนาดของไดอะทอไมต์เฉลี่ย มีค่าประมาณ 22.48 และ 22.31 ไมโครเมตร ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

1. ชัยศรี ไชยวุฒิ. การเตรียมไดอะทอมไมต์เพื่อใช้เป็นสารช่วยกรอง, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544.
2. สุพัตรา วุฒิชชาติวาณิช, **แร่ของไทย**, ข่าวสารการธรณี, ปีที่ 18 ฉบับที่ 12, 2526. หน้า 81-84.
3. Bateman, A.M., *Economic Mineral Deposits*, 2nd Ed., Tuttle Company, London, 1970.
4. วิชัย ศุภสาธิตกุล, **อิฐเบาไดอะทอมไมต์**, รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2529.
5. จวีวรรณ พันวัน, **การศึกษาระบบอะลูมินา-ดิน และระบบอะลูมินา-ไดอะทอมไมต์**, รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.
6. อานภาพ ญาณิสราพันธ์, **ตัวช่วยกรองดินเบา**, ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2535.
7. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี**, ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ, สำนักพัฒนา อุตสาหกรรม, รายงานสาขา การส่งเสริมอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, พฤษภาคม 2540.
8. "Colorimeter LF 90 for measurement of color and remission on surfaces and powders", *Operating Instructions*, 1982.
9. University of Texas Map Collection. 1999. "Maps of the World." [online]. Available <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-diatomite-producers.html> (5 September 2006)
10. Department of the Biochemical. 1996. "Biochemical America online." [online]. Available http://www.seis.natsci.csulb.edu/bperry/biochemical_sedimentary_rock.htm (29 August 2006)
11. สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2547. "เทคนิคการวิเคราะห์ SEM." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaiscience.com> (25 ตุลาคม 2550)
12. แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม, หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, โรงพิมพ์ ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ 2534.
13. แม้น อมรสิทธิ์และสมชัย อัครทิวา, **วัสดุวิศวกรรม**, แมคกรอและฮิล, กรุงเทพฯ, 2544
14. ณรงค์ ไชยสุต, **วิธีการวิเคราะห์โดยอุปกรณ์**, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2538.

15. Portdar, H.S, Singh, P., Deshpande, S.B., Godbole, P.D. and Date, S.K., Low-temperature synthesis of ultrafine barium titanate (BaTiO_3) using organometallic barium and titanate precursors, *Mater. Lett.*, 1990, **10**, 112-117.
16. วีรศักดิ์ อุดมกิจจา และ คณะ, **เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ทฤษฎีและหลักการเบื้องต้น**, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
17. Allen T., Particle Size Measurement, 3rd Ed., Chapman and Hall, New York, 1981.
18. สัมพันธ์ วงศ์นาวา, เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์: สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2539.

