



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาตัวกรองเซรามิกผสม ไดอะทอมไมต์ในการดูดซับโลหะหนัก

Development of Diatomite Mixed Ceramic Filter for Heavy Metals Adsorption

นามผู้วิจัย นางสาวพัชราภรณ์ สมทรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์พัฒนา อนุรักษ์พงษ์พร, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาตัวกรองเซรามิกผสมไดอะทอมไมต์ในการดูดซับโลหะหนัก

Development of Diatomite Mixed Ceramic Filter for Heavy Metals Adsorption

โดย

นางสาวพัชราภรณ์ สมทรง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

พัชราภรณ์ สมทรง 2552: การพัฒนาตัวกรองเซรามิกผสมไคอะทอไมด์ในการดูดซับ โลหะหนัก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. 84 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการนำไคอะทอไมด์ซึ่งเป็นสินแร่ที่พบมากในจังหวัดลำปาง และมีคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถใช้เป็นตัวดูดซับมาใช้ร่วมกับดินขาวลำปางเพื่อขึ้นรูปเป็นตัวกรองเซรามิก โดยศึกษาสถานะและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก 4 ชนิดคือ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี รวมทั้งการฟื้นฟูสภาพของตัวกรองแบบเม็ดหลังจากการใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับของไคอะทอไมด์และดินขาวลำปางในสัดส่วนผสม 1:1 ซึ่งเหมาะสมในการขึ้นรูป โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใช้เวลาในการสัมผัสสารละลายโลหะหนัก 10 นาที ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก 4 ชนิดคือ ร้อยละ 66.90, 81.65, 44.30 และ 76.63 ตามลำดับ และจากการฟื้นฟูสภาพตัวกรองแบบเม็ดหลังจากการนำไปใช้ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกรองแบบเม็ดลดลงมากกว่าร้อยละ 65 การขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก พบว่าการผสมผงถ่านในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละสูตรทำให้น้ำหนักของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรนั้นแตกต่างกัน โดยในสูตรที่ผสมผงถ่านในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีน้ำหนักเบาที่สุด และรองลงมาคือสูตรผสมสัดส่วนที่ร้อยละ 25, 15 และ 0 ตามลำดับ เนื่องจากผงถ่านเป็นตัวที่ช่วยเพิ่มความพรุนตัวให้กับไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก ประสิทธิภาพในการดูดซับของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก พบว่า ในอัตราส่วนผสมที่เติมผงถ่านลงไปร้อยละ 35 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้ดีกว่าในสูตรอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมผงถ่านลงไปให้ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้นตามอัตราส่วนการเติมซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของน้ำให้สูงขึ้น และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นจึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้ดี โดยสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทำเป็นไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก คือ ไคอะทอไมด์ : ดินขาวลำปาง : อะลูมิเนียมออกไซด์ : โคลโลไมด์ : ผงถ่าน กัดเป็นร้อยละ 29.25 : 3.25 : 22.75 : 9.75 : 35 ตามลำดับ

Pacharaporn Somtrong 2009: Development of Diatomite Mixed Ceramic Filter for Heavy Metals Adsorption. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jukkrit Mahujchariyawong, Ph.D. 84 pages.

Diatomite was used in producing ceramic filter, due to the adsorption characteristics and abundance in Lampang province. The good mixing ratio of diatomite and Lampang kaolin was 1:1 followed by heating at 500 °C for 3 hours. Within 10 minutes contact time, the adsorption efficiency in 4 heavy metal solution, cadmium, copper, nickel and zinc were 66.90, 81.65, 44.30 and 76.63%, respectively. Adsorption efficiency of grained filter was decrease more than 65% after recovered with acid. In the case study of ceramic filters, two types of filters were designed; outside-feed filter and inside-feed filter. The carbon mixing ratios showed the different weight of filters passed heat treatment processes. Ratio of 35% carbon was the lightest ceramic filter and 25, 15 and 0% carbon, respectively. Charcoal powder mixing in clay composition, increased the pores inside ceramic filters, and promoted the efficiency of adsorption. Copper adsorption testing indicated that the higher carbon mixing ratio was, the more effective filter was. In this case, the ceramic filter with 35% carbon was the highest performance according to the number and size of pores enhanced permeability and surface area. The proper combination of clay composition for forming two types of filters, Diatomite : Lampang kaolin : Aluminium oxide : Dolomite : Charcoal powder was 29.25 : 3.25 : 22.75 : 9.75 : 35, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนา อนุรักษ์พงษธร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณไพจิตร เจ้าของโรงงานปั้นดินเซรามิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำงานวิจัยรวมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาปัญหาต่างๆ อย่างดีโดยตลอด

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับอุปกรณ์และสถานที่ในการทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท และน้องๆ ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจ กำลังใจ คำแนะนำต่างๆ และบรรยากาศในการทำงานที่ดีตลอดการทำวิจัย และขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือต่างๆ จนทำให้มีวันนี้ได้

พัชราภรณ์ สมทรง

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	37
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
สรุป	57
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	59
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก ผลการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี	64
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ไอโซโทมการดูดซับโลหะหนัก	70
ภาคผนวก ค ค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	82
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	84

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์จากแหล่งต่างๆ หลังการอบแห้งด้วยความร้อน	9
2	องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวลำปาง	12
3	การใช้โลหะหนักในอุตสาหกรรมและแหล่งปนเปื้อนของโลหะหนัก	14
4	ปริมาณสังกะสีที่ต้องการต่อวันของมนุษย์	16
5	ปริมาณทองแดงที่ต้องการต่อวันของมนุษย์	18
6	อัตราส่วนผสมของน้ำดิน	35
7	อัตราส่วนผสมของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตร	35
8	ผลการดูดซับของวัสดุดูดซับไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ไม่ผ่านการเผา และผ่านการเผาในช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง	39
9	ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	42
10	ผลของอุณหภูมิในการเผาเซรามิก โดยใช้เซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	45
11	ผลการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	46
12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด หลังการฟื้นฟูสภาพด้วยกรด HCl และ H ₂ SO ₄ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10	48
13	เปรียบเทียบน้ำหนักของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรน้ำดิน	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	ผลการดูดซับของวัตถุบิไดอะทอไมด์และดินขาวลำปางที่ไม่ผ่านการเผา และผ่านการเผาในช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง	65
ก2	ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดอะทอไมด์และดินขาวลำปางที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด	66
ก3	ผลของอุณหภูมิในการเผาเซรามิกที่เหมาะสม	66
ก4	ผลการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของเซรามิกผสมไดอะทอไมด์	67
ก5	ผลการฟื้นฟูสภาพของเซรามิกผสมไดอะทอไมด์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด	67
ก6	ผลการดูดซับโลหะหนักของไส้กรองเซรามิก	68
ก7	ผลการดูดซับโลหะหนักของหัวกรองเซรามิก	69
ค1	ค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	83

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปร่างและลักษณะของเปลือกไคอะตอม	4
2	ภาพถ่ายเปลือกไคอะตอมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	4
3	ตำแหน่งและการแพร่กระจายของไคอะทอไมต์ที่มีการสำรวจพบในบริเวณ จังหวัดลำปาง	5
4	บ่อเหมืองในเขตอำเภอแม่ทะที่พบไคอะทอไมต์	6
5	บ่อเหมืองที่มีชั้นของไคอะทอไมต์	6
6	การเทียบเคียงลักษณะของชั้นไคอะทอไมต์	7
7	ไคอะตอม ชั้นกลุ่มสายพันธุ์ <i>Aulacosiera granulate var. valida Assemblage</i>	8
8	การเตรียมวัตถุคืบ	37
9	ภาพถ่ายไคอะทอไมต์ชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	38
10	ภาพถ่ายดินขาวลำปางชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	38
11	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ และดินขาวลำปางชนิดผงที่ ไม่ได้ผ่านการเผา	40
12	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ ที่ผ่านการเผาในระยะเวลา ต่างๆ	41
13	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของดินขาวลำปาง ที่ผ่านการเผาในระยะเวลา ต่างๆ	42
14	ไคอะทอไมต์ผสมดินขาวลำปางที่ทำการขึ้นรูปแบบเม็ด	43
15	ภาพถ่ายเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน	43
16	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่อัตราส่วนต่างๆ	44
17	เซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส	45
19	ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ดอัตราส่วนผสมร้อยละ 50 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	47
20	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด หลังการฟื้นฟูสภาพด้วยกรด HCl และ H ₂ SO ₄ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10	49
21	ภาพถ่ายอะลูมิเนียมออกไซด์ชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	50
22	ภาพถ่ายโคโลไมต์ชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	50
23	ขั้นตอนการขึ้นรูปไส้กรองน้ำและหัวกรองน้ำ โดยวิธีการหล่อขึ้นดิน	51
24	ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกที่ขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ	52
25	การติดตั้งระบบกรอง	53
26	ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 1 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	53
27	ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 2 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	54
28	ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 3 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	54
29	ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 4 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	55
30	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไส้กรองเซรามิกสูตรต่างๆ	56
31	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของหัวกรองเซรามิกสูตรต่างๆ	56
ภาพผนวกที่		
ข1	Equilibrium Time Sorption ของโลหะหนักทองแดง	72
ข2	Equilibrium Time Sorption ของโลหะหนักแคลเซียม	72
ข3	Equilibrium Time Sorption ของโลหะหนักนิกเกิล	73
ข4	Equilibrium Time Sorption ของโลหะหนักสังกะสี	73
ข5	Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักทองแดง	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข6	Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักแคดเมียม	75
ข7	Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักนิกเกิล	76
ข8	Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักสังกะสี	77
ข9	Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักทองแดง	78
ข10	Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักแคดเมียม	79
ข11	Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักนิกเกิล	80
ข12	Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักสังกะสี	81

การพัฒนาตัวกรองเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ในการดูดซับโลหะหนัก

Development of Diatomite Mixed Ceramic Filter for Heavy Metals Adsorption

คำนำ

การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหามลพิษที่สำคัญ เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่มีพิษและสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ แหล่งกำเนิดมลพิษเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากการบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ปัจจุบันกระบวนการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน การกรองผ่านเมมเบรน ซึ่งสามารถแยกโลหะหนักได้ดี แต่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีประสิทธิภาพ เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ และยังสามารถนำเอาทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศมาพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย นับได้ว่าเป็นการช่วยรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรอีกทางหนึ่ง การศึกษาในงานวิจัยนี้จึงคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการดูดซับคือ ไคอะทอไมต์ (diatomite) ซึ่งเป็นสินแร่ที่พบมากในจังหวัดลำปาง เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของโครงสร้างเปลือกแข็งของสาหร่ายเซลล์เดียวที่เรียกว่า ไคอะตอม (diatom) จำนวนมากอีกทั้งมีตะกอนขนาดเล็กส่วนหนึ่งพัฒนาสะสมปะปน ไคอะทอไมต์มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Khraisheh *et al.*, 2004) จึงเป็นคุณสมบัติเฉพาะที่สามารถนำเอาไคอะทอไมต์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง

การวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาตัวกรองเซรามิกผสมไคอะทอไมต์สำหรับใช้ในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี รวมทั้งการศึกษาความเป็นไปได้ในการฟื้นฟูสภาพตัวกรองให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของวัสดุดิบในการผลิตเซรามิกคือ ไคอะทอไมต์และดินขาวลำปาง
2. ขึ้นรูปและทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ของ ตัวกรองเซรามิกที่ผลิตจากไคอะทอไมต์และดินขาวลำปาง
3. พัฒนารูปแบบการใช้งานตัวกรองเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของไคอะทอไมต์ และดินขาวลำปาง ในการบำบัดแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนและสถานะที่เหมาะสมของไคอะทอไมต์และดินขาวลำปาง ทำการขึ้นรูปเป็นไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกตามอัตราส่วนที่เหมาะสม และทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก ศึกษาความเป็นไปได้และทดสอบประสิทธิภาพการฟื้นฟูตัวกรองที่ใช้แล้ว กลับมาใช้ซ้ำใหม่

การตรวจเอกสาร

1. ไคอะทอไมต์

1.1 ความรู้ทั่วไปของไคอะทอไมต์

ไคอะทอไมต์ มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ดินเบา (Diatomite, Diatomaceous earth) เป็นหินตะกอนที่มีความแตกต่างจากหินชนิดอื่นๆ อย่างชัดเจนตรงที่มีน้ำหนักเบามาก บางก้อนลอยน้ำได้เป็นเวลานาน เนื้อหินเปราะและมักจะมีสีอ่อน เช่น ขาว ครีม น้ำตาลหรือเหลือง หินชนิดนี้เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของเปลือกหรือ โครงสร้างส่วนแข็ง (frustules) ของสาหร่ายเซลล์เดียวที่เรียกว่า “ไคอะตอม (diatom)” จำนวนมหาศาล และมีตะกอนพัคพาขนาดละเอียดอีกจำนวนหนึ่งสะสมปะปนอยู่ด้วย

ไคอะตอมซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของหินชนิดนี้มีน้ำร้อยละสามสิบ อาจพบได้ทั้งในน้ำทะเล น้ำกร่อยและน้ำจืด แต่ ในบริเวณที่ไคอะตอมสามารถแพร่พันธุ์ได้ดีคือเขตน้ำตื้นที่น้ำใสหรือมีตะกอนพัคพาเข้ามาถึงน้อย มีอากาศอบอุ่น และที่สำคัญต้องมีการเติมซิลิกาเข้ามาในแอ่งสะสมตัวอย่างต่อเนื่องในปริมาณมากพอที่ไคอะตอมจะนำไปสังเคราะห์เป็นเปลือก ดังนั้นจึงมักพบไคอะทอไมต์ในพื้นที่ภูเขาไฟซึ่งสามารถให้ซิลิกาทั้งในรูปของตะกอนพัคพา สารละลาย และซิลิกาจากการระเบิด

เปลือกของไคอะตอมประกอบด้วยซิลิกาไร้ผลึกในรูปของโอปอล (opaline silica, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกไปมากมายอาจเป็นท่อนกลมเป็นจานเป็นสามเหลี่ยมหรืออื่นๆ (ภาพที่ 1) มีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 50-100 ไมครอน เปลือกเหล่านี้มีลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งคือมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (ภาพที่ 2) การที่เปลือกไคอะตอมมีรูปร่างแตกต่างกันทำให้การจัดเรียงตัวเมื่อเกิดการทับถมไม่เป็นระเบียบหรือว่าอัดตัวกันอย่างไม่สนิท ไคอะทอไมต์จึงมีความพรุน (porosity) ในเนื้อดินค่อนข้างสูง ทำให้เกิดเป็นคุณสมบัติเฉพาะของไคอะทอไมต์ที่สามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)



ภาพที่ 1 รูปร่างและลักษณะของเปลือกไคอะตอม

ที่มา: Khraisheh *et al.* (2004)



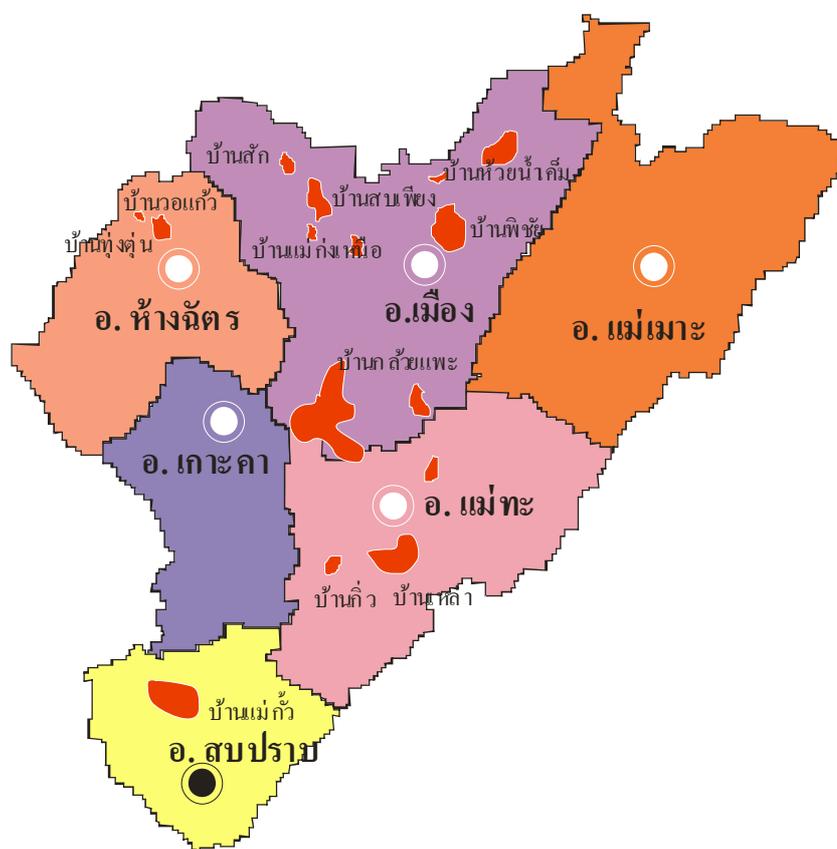
ภาพที่ 2 ภาพถ่ายเปลือกไคอะตอมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา: Khraisheh *et al.* (2004)

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาไคอะทอไมต์ในประเทศไทยได้รับความสนใจค่อนข้างน้อยเนื่องจากมีคุณภาพด้อยกว่ามาตรฐานที่ซื้อขายกันในตลาดโลก เพราะมีปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3) และสนิมเหล็ก (Fe_2O_3) สูงกว่าประเทศอื่นๆ จึงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการนำไปใช้ประโยชน์ แต่เมื่อประมาณปี พ.ศ.2539 ไคอะทอไมต์เริ่มได้รับความสนใจอีกครั้งหนึ่งเมื่อมีการศึกษาวิจัยถึงความเป็นไปได้ในการใช้ไคอะทอไมต์สำหรับงานด้านสิ่งแวดล้อม (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

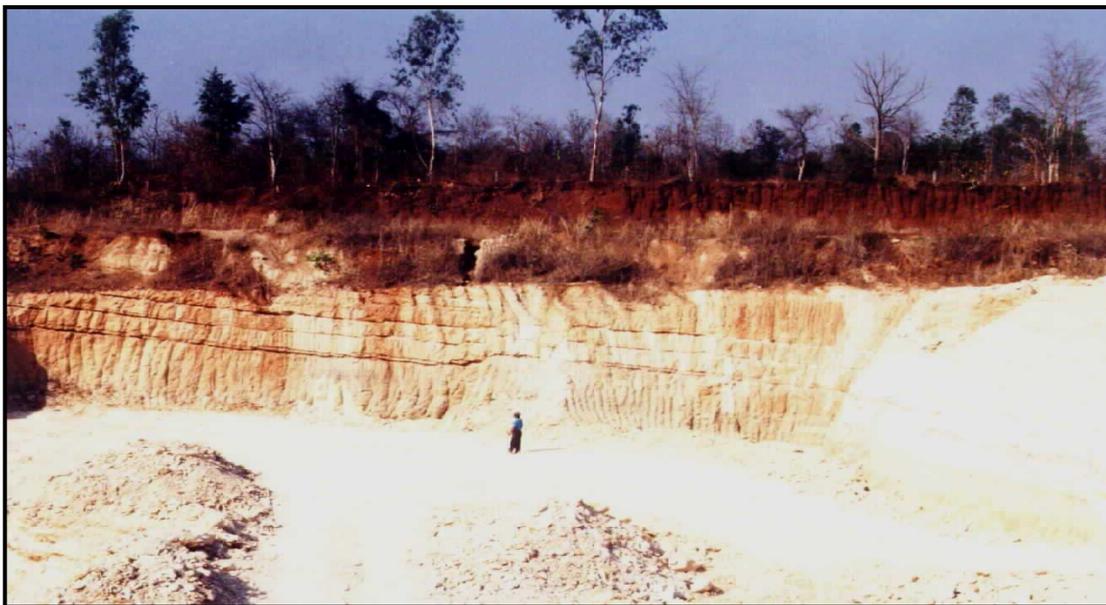
1.2 แหล่งที่พบในประเทศไทย

แหล่งไคอะทอไมต์ในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณจังหวัดลำปาง กระจายตัวอยู่ทางตอนกลางของจังหวัดในพื้นที่ 5 อำเภอ (ภาพที่ 3) เริ่มจากทางทิศใต้สุดตามแนวถนนพหลโยธิน จากบ้านแม่กัวะ ตำบลแม่กัวะ อำเภอสบปราบ ถึงบ้านห้วยน้ำเค็ม ตำบลเสด็จ อำเภอเมือง ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านทิศเหนือสุดที่มีการพบไคอะทอไมต์ คิดเป็นพื้นที่รวมกันประมาณ 4,300 ตารางกิโลเมตร จึงได้มีการทำบ่อเหมืองไคอะทอไมต์ในเขตอำเภอแม่ทะซึ่งมีไคอะทอไมต์อยู่ในบริเวณนี้มากกว่าในบริเวณอื่นๆ (ภาพที่ 4, 5) (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

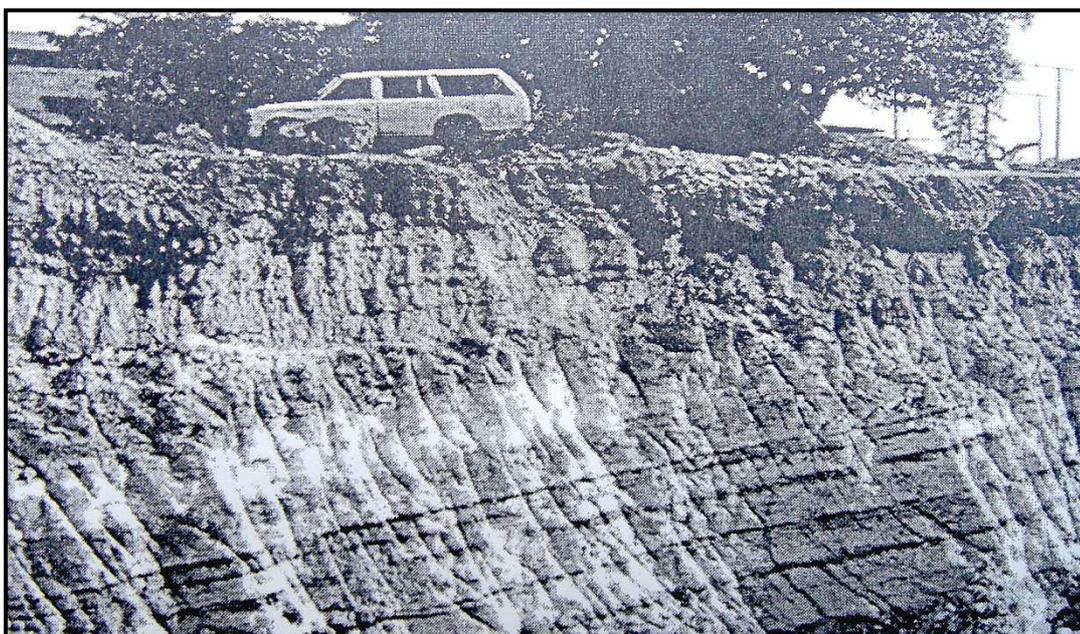


ภาพที่ 3 ตำแหน่งและการแพร่กระจายของไคอะทอไมต์ที่มีการสำรวจพบ ในบริเวณจังหวัดลำปาง

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)



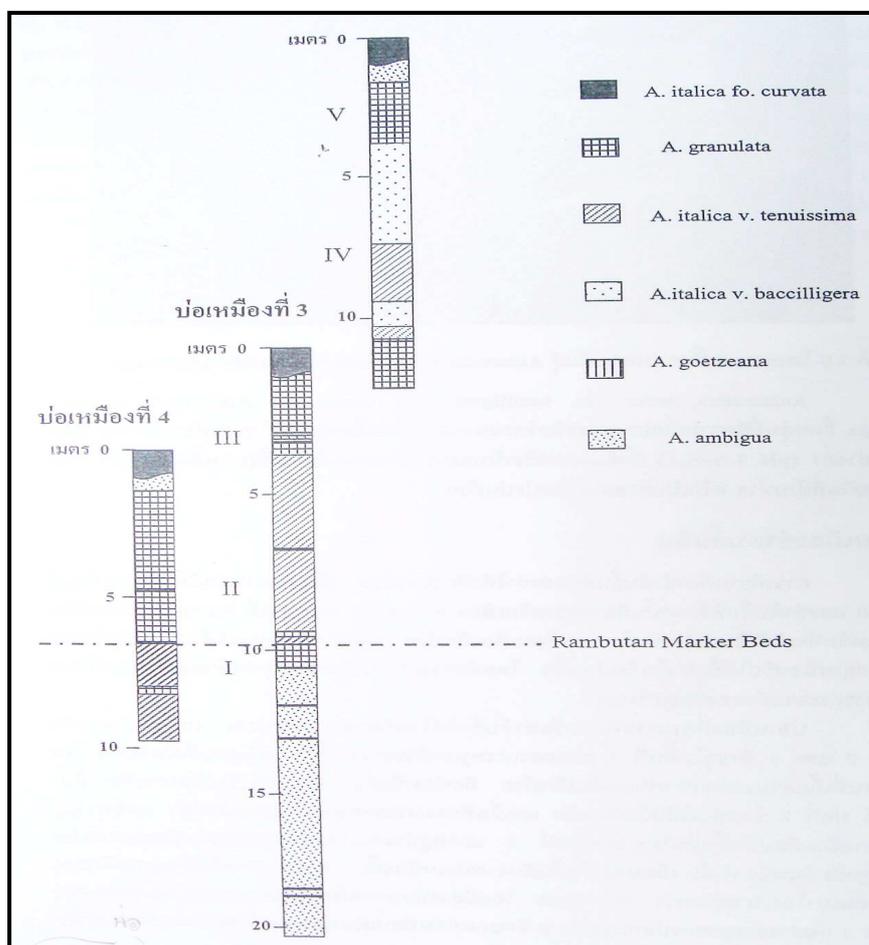
ภาพที่ 4 บ่อเหมืองในเขตอำเภอแม่ทะที่พบไดอะทอไมต์
ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)



ภาพที่ 5 บ่อเหมืองที่มีชั้นของไดอะทอไมต์
ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)

1.3 สายพันธุ์ของไคอะตอม

การศึกษาสายพันธุ์ของไคอะตอมชนิดต่างๆ ในแหล่งไคอะตอไม้จังหวัดลำปาง ได้ริเริ่มเมื่อปี 1997 โดย Dr. R.B. Owen จาก Hong Kong Baptist University ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านตะกอนวิทยาและสายพันธุ์ไคอะตอม ผลการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังสูง พบว่า ไคอะตอมมีสายพันธุ์สายเดียวคือ *Aulacosiera* และมีความหลากหลายของชนิดในสายพันธุ์ไม่มากนัก (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การเทียบเคียงลักษณะของชั้นไคอะตอไม้
ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)

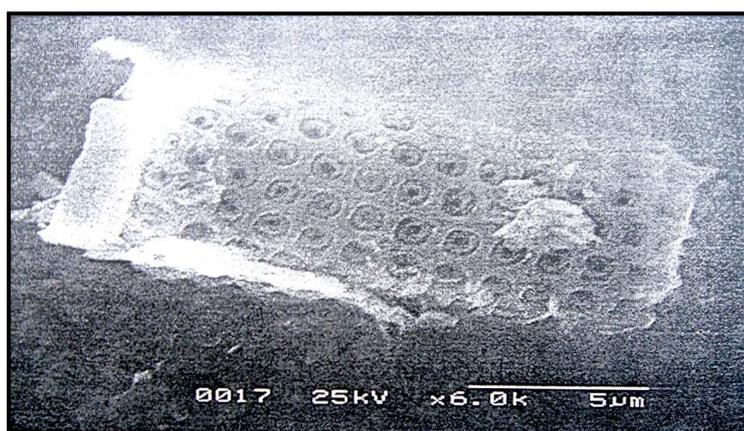
สายพันธุ์ของไดอะตอมในบริเวณจังหวัดลำปางสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชั้นกลุ่ม ส่วนใหญ่บ่งบอกคุณสมบัติของน้ำในทะเลสาบที่เป็นที่สะสมตัวว่ามีสภาพเป็นน้ำจืด (fresh water) ไปจนเป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline water) ชั้นกลุ่มสายพันธุ์ที่ตรวจพบได้แก่

Aulacosiera granulate Assemblage บ่งชี้สภาพทะเลสาบน้ำจืดในเขตอากาศร้อนชื้น ค่าความเป็นกรดด่างปานกลางและมีพิสัยกว้าง (pH 6.5-9) มีปริมาณซิลิกาละลายอยู่มากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

Aulacosiera agassizi Assemblage สะท้อนการปรับเปลี่ยนสภาพน้ำที่ตื้นขึ้น หรือเป็นส่วนตื้นริมทะเลสาบใหญ่ น้ำมีค่าความเป็นกรดด่างปานกลาง (pH 7-8) ในชั้นหินพบลักษณะที่เกิดจากรากไม้ ซึ่งยืนยันระดับน้ำตื้นมาก

Aulacosiera goetzeana Assemblage แสดงสภาพน้ำจืดคล้ายชั้นกลุ่มแรก แต่มีค่าความเป็นกรดด่างน้อยกว่า เปลือกไดอะตอมแตกหักมากและมีตะกอนพัดพาปน แสดงถึงพลังงานน้ำสูงใกล้ชายฝั่ง

Aulacosiera granulate var. valida Assemblage ไดอะตอมชนิดนี้มักพบในน้ำที่มีความเป็นด่างสูง (pH > 8.5) มีปริมาณซิลิกาละลายมากกว่า 54 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับน้ำลึกปานกลาง (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ไดอะตอม ชั้นกลุ่มสายพันธุ์ *Aulacosiera granulate var. valida Assemblage*
ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)

Aulacosiera italica var. *bacilligera*, var. *tenuissima*, *Aulacosiera ambigua* Assemblage ชั้นกลุ่มนี้มีความซับซ้อนของชนิดไดอะตอมมากกว่าชั้นกลุ่มอื่นๆ สะท้อนสภาพน้ำที่จัด ความเป็นด่างต่ำ (pH 7.5-8.4) น้ำตื้นมากหรือเป็นแอ่งน้ำขังขนาดเล็กในที่ลุ่ม (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

1.4 องค์ประกอบทางเคมีของไดอะตอไมต์

องค์ประกอบทางเคมีของไดอะตอไมต์หลักๆ ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 72.50 อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 11.42 และสนิมเหล็ก (Fe_2O_3) ร้อยละ 5.81 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 1.48 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 0.25 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 7.21 และโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ร้อยละ 0.69 ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของไดอะตอไมต์จากแหล่งต่างๆ ในโลกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไดอะตอไมต์จากแหล่งต่างๆ หลังการอบแห้งด้วยความร้อน

Chemical position	USA	Spain	Denmark	China
SiO_2	89.7	88.6	67.8	90.1
Al_2O_3	3.7	0.6	10.3	2.0
Fe_2O_3	1.1	0.2	6.9	0.7
CaO	0.3	3.0	1.4	0.4
MgO	0.6	0.8	1.6	0.3
Na_2O	0.3	0.5	0.5	0.2
K_2O	0.4	0.4	1.5	0.4

ที่มา: สุดา (2545)

1.5 การใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ของไคอะทอไมต์

ด้านการเกษตร ได้มีการนำเอาไคอะทอไมต์เป็นตัวเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ในการรักษาความชื้น ดูดซับธาตุอาหาร ทำให้ผิวดินมีอากาศถ่ายเทได้ดีขึ้น

ด้านการปศุสัตว์ ในประเทศสหรัฐอเมริกาและในประเทศรัสเซีย มีการใช้ไคอะทอไมต์ผสมอาหารให้สัตว์กิน เช่น สัตว์ปีกและสุกร ปรากฏว่าให้ผลดีกว่าให้อาหารปกติเพียงอย่างเดียว

ด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวกรองหรือสารช่วยกรอง (filter aid) ไคอะทอไมต์บริสุทธิ์ที่ผลิตได้จำนวนครั้งหนึ่ง จะถูกนำไปใช้เป็นตัวกรองหรือสารช่วยกรองในการผลิตเครื่องดื่ม แอลกอฮอล์จำพวกเบียร์ วิสกี้ ไวน์ อุตสาหกรรมน้ำซักและน้ำผลไม้ น้ำอ้อย น้ำตาล น้ำมันพืช ตัวกรองน้ำในสระว่ายน้ำ เป็นต้น และยังใช้เป็นตัวเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ (functional fillers) อย่างเช่นการใช้ไคอะทอไมต์เป็นตัวเติมเต็ม (filler) เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น พลาสติก สี ยาง เกล็ดกันน้ำ ยาสีฟัน ผงซัก และเคมีภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ไคอะทอไมต์ยังใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) เนื่องจากไคอะทอไมต์มีพื้นที่ผิวมากและหนา ผงไคอะทอไมต์สามารถดูดน้ำได้เป็น 2.5 เท่าของน้ำหนักตัวเอง จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำวัสดุรองพื้นสำหรับสัตว์

การใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ทำฉนวนกันความร้อนและเสียง ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุขัดสีอย่างอ่อนซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องเงิน โลหะ และรถยนต์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างอีกด้วย (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

2. ดินขาว

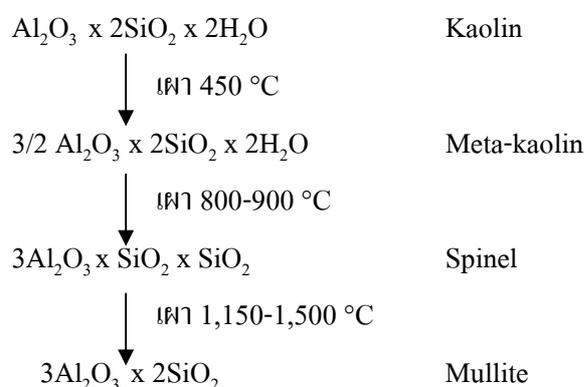
ดินขาว (Kaolin or China clay) เป็นแร่ที่เกิดจากการที่แร่อะลูมิเนียมซิลิเกต ที่เป็นโครงสร้างของหินชนิดต่างๆ เช่น หินฟันม้า (Feldspar) ไมกา (Mica) หินควอตซ์ (Quartz) หินปูน (Limestone) ฯลฯ ที่เกิดการผุพังสลายตัว ทำให้เปลี่ยนแปลงสภาพจากหินที่แข็งเป็นดินที่อ่อนนุ่ม โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่กลุ่ม Kaolinite ดินขาวมักเกิดบนที่ราบสูงทั่วไป ในบางแหล่งอาจพบใกล้แหล่งน้ำในที่ราบลุ่ม เนื่องจากการไหลตัวลงสู่ที่ราบโดยอาศัยกระแส น้ำพัดพาทำให้มีสีขาวหม่นและค่อนข้างเป็นสีเทา หรือมีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมีสารมลทินต่างๆ เจือปน สารมลทิน

เหล่านี้ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม ซึ่งทำให้ความบริสุทธิ์ของเนื้อดินขาวลดน้อยลงและไม่สามารถแยกออกไปได้ ถ้าสารมลทินมีปริมาณมากความทนไฟของดินขาวจะน้อยลง เพราะสารมลทินเหล่านี้เป็นตัวช่วยหลอมละลาย และถ้ามีเหล็ก แมงกานีส และไทเทเนียมอยู่ด้วยจะทำให้ดินขาวเหล่านั้นเปลี่ยนสีไปจากเดิม

จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเม็ดดินขาวจะมีรูปเป็นผลึก ลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน หรือรูปหกเหลี่ยม ดินขาวในประเทศไทยพบมากที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ชลบุรี นครศรีธรรมราช ระนอง และนราธิวาส (อายุวัฒน์, 2543)

2.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินขาว

องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 46.50, Al_2O_3 ร้อยละ 39.50 และ H_2O ร้อยละ 14 โดยดินขาวมีปฏิกิริยาในเตาในตัวในขั้นตอนการเผา ดังนี้คือ



2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินขาว

ขนาดของอนุภาคดินจะมีผลต่อความเหนียว และการหดตัวของเนื้อดินปั้นเมื่อแห้ง ดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าเม็ดหยาบ โดยรูปร่างของอนุภาคจะเป็นแผ่นหกเหลี่ยมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50-10.0 ไมครอน มีการหดตัวน้อยเมื่อแห้ง มีความแข็งแรงน้อย เพราะแตกหักได้ง่ายเมื่อแห้งเนื่องจากมีความเหนียวต่ำ คุณสมบัติหลังจากการเผาโดยทั่วไปดินขาวจะหดตัวหลังจากการเผาแล้วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

2.3 ประโยชน์ของดินขาว

ดินขาวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ ดังนี้ ใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น ถ้วยชาม เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ เป็นต้น ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เช่น อิฐก่อสร้าง อิฐปูพื้น ท่อระบายน้ำ กระเบื้องมุงหลังคา ใช้ทำเป็นเบ้าหลอมในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและหล่อเหล็ก ใช้ทำเป็นฉนวนไฟฟ้า ใช้เป็นตัวฟอกสี และตัวเร่งปฏิกิริยา ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ใช้ในการเกษตร เช่น เป็นส่วนผสมของสารฆ่าแมลงและปุ๋ย

2.4 แหล่งดินขาวลำปาง

ดินขาวแหล่งนี้เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินฟันม้าที่แปรสภาพมาจากหิน Liperite จึงทำให้มีปริมาณของหินแข็งปะปนอยู่มาก ดินขาวที่เกิดอยู่ในแหล่งนี้จะสะสมตัวอยู่บนไหล่เขา ตอนบนเท่านั้น ความหนาไม่เกิน 5 เมตร และมีผิวดินปกปิดตอนบนหนาประมาณ 0.50 เมตร โดยดินขาวแหล่งนี้มีสีแตกต่างกันและลักษณะการแข็งร่วนแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวลำปาง

สารประกอบ	ร้อยละ
SiO ₂	59.70
Al ₂ O ₃	27.60
Fe ₂ O ₃	0.84
CaO	0.13
MgO	0.25
Na ₂ O	0.15
K ₂ O	5.85
TiO ₂	0.07

ที่มา: आयวัฒน์ (2543)

3. เซรามิก (ceramics)

เซรามิก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินหรือวัสดุต่างๆ เช่น หินทราย แร่ธาตุ ผสมกันแล้ว ขึ้นรูปตามต้องการ และผ่านการเผาเพื่อเปลี่ยนเนื้อของวัตถุนั้นให้มีความแข็งแรง ซึ่งแบ่งประเภทของเนื้อผลิตภัณฑ์จากเนื้อดินแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ เนื้อดินเอิร์ทแวร์ (earthenware) เนื้อดินสโตนแวร์ (stoneware) และเนื้อดินปอร์ซเลน (porcelain) แต่บางครั้งก็นิยมแบ่งด้วยอุณหภูมิการเผาเหมือนน้ำเคลือบ เช่น เนื้อดินเผาในอุณหภูมิต่ำ 800-1,000 องศาเซลเซียส เนื้อดินเผาในอุณหภูมิปานกลาง 1,150-1,200 องศาเซลเซียส เนื้อดินเผาในอุณหภูมิสูง 1,230-1,300 องศาเซลเซียส เนื้อดินเผาในอุณหภูมิสูงมาก 1,400 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (ไพจิตร, 2541)

4. โลหะหนัก

ชัยศรี (2542) กล่าวว่าโลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไปเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ในจำนวนธาตุทั้งหมด 105 ธาตุ ซึ่งอยู่ในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งสิ้น 68 ธาตุ มีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) มีคุณสมบัติทางกายภาพ คือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี เป็นมันวาวสะท้อนแสง เหนียว นำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ซึ่งโลหะหนักและสารประกอบโลหะหนักเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป

โลหะหนักสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic compound) ซึ่งเป็นพิษและสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านตามห่วงโซ่อาหาร ความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิดเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์อาจมีผลทำให้เกิดการพิการหรือเสียชีวิตได้ โลหะหนักบางชนิด เช่น ปรอท แคดเมียม อาร์เซนิก ตะกั่ว จัดเป็นโลหะหนักประเภทที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งสามารถสะสมในร่างกายมนุษย์และสัตว์น้ำได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ออกจากของเสีย เช่น ตะกอนที่ปนเปื้อนโลหะหนักหรือน้ำเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่วัฏจักรของน้ำหรือผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร

ตารางที่ 3 การใช้โลหะหนักในอุตสาหกรรมและแหล่งปนเปื้อนของโลหะหนัก

โลหะหนัก	ประโยชน์ใช้สอย	แหล่งปนเปื้อน
แคดเมียม	โลหะผสม สารกันสนิม แบตเตอรี่ เม็ดสี ยาง พลาสติก	กากตะกอนน้ำเสีย
โครเมียม	โลหะผสม สี พรม น้ำมัน วัตถุระเบิด กระจก ปู	น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ชุบโลหะ
นิกเกิล	เหล็กกล้า เหล็กผสม ตัวเติมในน้ำมัน	ปุ๋ย ไอเสียน้ำมัน
สังกะสี	โลหะผสม ทองเหลือง สี เครื่องสำอาง	น้ำเสีย ขยะอุตสาหกรรม
ตะกั่ว	สารตัวเติมในน้ำมัน แบตเตอรี่ โลหะบัดกรี ฉนวนหุ้มสายเคเบิล ท่อ โรงหล่อตัวพิมพ์	ไอเสียน้ำมัน โรงถลุง ปุ๋ย สารฆ่าศัตรูพืช
ปรอท	สารอุดฟัน ยา สวิตช์ไฟฟ้า หลอดนีออน เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สารฆ่ารา แบตเตอรี่ สี	สารฆ่ารา ไอปรอท
สารหนู	ยา สี สารฆ่าศัตรูพืช แก้ว	โรงงานอุตสาหกรรม
ทองแดง	เหรียญ ท่อ โลหะผสม ลวดไฟฟ้า สารฆ่ารา	ฝุ่นโรงงาน น้ำเสีย สารฆ่ารา

ที่มา: นริศรา (2547)

5. ประเภทของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

5.1 สังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นธาตุในกลุ่ม IIB ของระบบตารางธาตุ มีเลขอะตอม 30 เลขมวล 65.37 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 มีสีขาวแกมเทา ความถ่วงจำเพาะ 7.14 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 419 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 907 องศาเซลเซียส มีความแข็งแต่เปราะ ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในกรดเจือจาง โดยปกติแล้วจะไม่พบสังกะสีในรูปอิสระในธรรมชาติพบในรูปของแร่หรือสารประกอบ

5.1.1 การค้นพบ

มนุษย์รู้จักนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานแล้ว แต่การรู้จักสังกะสีในรูปของโลหะหรือธาตุอิสระเกิดขึ้นหลังมากเมื่อเปรียบเทียบกับทองแดงและตะกั่ว เพราะในสมัยโบราณมักใช้สังกะสีในรูปของโลหะเจือ เริ่มมีการถลุงและสกัดสังกะสีที่ไม่มีบริสุทธิ์ในประเทศจีนและอินเดียประมาณปี ค.ศ. 1000 และได้มีการนำสังกะสีที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ เรียกว่า slab zinc หรือ spelter เข้าไปยังยุโรปในศตวรรษที่ 17 ซึ่งในขณะนั้นยังไม่ได้มีชื่อเป็นทางการสำหรับโลหะนี้และได้มีการเรียกชื่อต่างๆ กัน เช่น tutanege, Indian tin, calamine หรือ spiauter ในปี ค.ศ. 1697 Lohneyes เรียกชื่อธาตุนี้ว่า "Zink" ซึ่งต่อมากลายเป็น "Zinc"

5.1.2 บทบาทของสังกะสีต่อมนุษย์

สังกะสีจะพบในร่างกายมากเป็นอันดับสองรองจากเหล็ก สังกะสีมีบทบาทในร่างกายทั้งในด้านระบบประสาท ภูมิคุ้มกันของร่างกาย การป้องกันอนุมูลอิสระและการแบ่งตัวในระดับเซลล์ การขาดสังกะสีไม่ค่อยพบในคนปกติยกเว้นผู้ที่ติดเหล้าหรือมีปัญหาในการดูดซึมอาหาร อาการของการขาดสังกะสี เช่น มีผื่นแดงขึ้นที่หน้า ท้องเสีย เบื่ออาหาร ผอมร่วง เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้แผลหายช้า การรับรสและกลิ่นเสียไป มีความผิดปกติในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ในผู้สูงอายุหรือผู้เจ็บไข้ได้ป่วยที่ลิ้นรับรสอาหารไม่ดี การได้รับสังกะสีจะช่วยให้การรับรสที่ลิ้นดีขึ้น

5.1.3 การเกิดพิษเนื่องจากสังกะสี

การเกิดพิษจากระบบทางเดินอาหาร การได้รับสังกะสีเข้าไป จะทำให้เกิดการกักร่อนบริเวณทางเดินอาหารส่วนต้น ได้แก่ หลอดอาหาร และกระเพาะอาหาร ทำให้มีอาการอักเสบและปวดอย่างรุนแรง เมื่อหายแล้วทำให้ทางเดินอาหารตีตันได้

การเกิดพิษจากระบบทางเดินหายใจ การสูดหายใจเอาสังกะสีเข้าไป ทำให้เกิดอาการแบบไข้หวัดใหญ่ เริ่มด้วยอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ มีไข้สูง ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ ไอ เหนื่อย เหนื่อออก และหนาวสั่น รุ้สึกของโลหะ ซึ่งมักเกิดขึ้น 4-12 ชั่วโมง หลังการสัมผัส ตามด้วยการมีไข้สูง เหนื่อออก และหนาวสั่น (สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 4 ปริมาณสังกะสีที่ต้องการต่อวันของมนุษย์

อายุ	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
3-5 เดือน	3
6-11 เดือน	5
1-9 ปี	10
10 ปีขึ้นไป	15
หญิงตั้งครรภ์	20
หญิงให้นมบุตร	25

ที่มา: อรพิน (2550)

ถ้าร่างกายมนุษย์ขาดธาตุสังกะสีจะเกิดโรคแคระแกรน (Dwarfism) และเกิดความบกพร่องในการเจริญเติบโต (hypogonadism) เสื่อมสมรรถภาพทางเพศ ถิ่นจะขาดการรู้รสอาหาร เช่น อร่อย หวาน เปรี้ยว มัน เค็ม เป็นต้น ต่อมลูกหมากโต มีจุดขาวๆ ที่เล็บ เซื่องซึม เหนื่อยง่าย ผอมร่วง โลหิตจาง การไหลเวียนของเลือดไม่ดี หลอดเลือดแข็ง กระดูกพรุน เด็กมีร่างกายเตี้ยและแคระ

สังกะสีเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในปริมาณน้อย มักพบในอาหารที่มีโปรตีนสูง เช่น เนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ ตับ นม เนยแข็ง อาหารทะเล ปู กุ้ง หอยนางรม โดยเฉพาะหอยนางรมให้สังกะสีสูงที่สุดประมาณ 745 มิลลิกรัมต่อหอย 1 กิโลกรัม ส่วนพืชผัก ได้แก่ ข้าวกล้อง รำข้าวสาลี เมล็ดทานตะวัน เมล็ดฟักทอง ถั่วลิสง ถั่วเขียว วุ้นเส้นไม่ฟอกขาว งา เมล็ดอัลมอลด์ ผักใบเขียว ผักขม หัวหอมมันฝรั่ง มะเขือเทศ ผลไม้ ได้แก่ มะม่วง แอปเปิล สับปะรด เป็นต้น (พัฒนา, 2546)

5.1.4 การใช้ประโยชน์

สังกะสีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะเจือ เช่น ใช้ร่วมกับทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) ในการผลิตแผ่นโลหะเจือ ใช้เคลือบผิว (galvanizing) เหล็กกล้าเพื่อ

ป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ พิวส์ไฟฟ้า แอโนดของเซลล์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย (dry cell) เป็นต้น

5.2 ทองแดง (Copper)

ทองแดงเป็นธาตุในกลุ่ม IB ของระบบตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1,083 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 2,582 องศาเซลเซียส ทองแดงเป็นโลหะที่ใช้มากที่สุดโลหะหนึ่งเพราะมีสมบัติดีเยี่ยมหลายประการ เช่น สมบัติการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนในอากาศได้ดีกว่าเหล็ก ทองแดงบริสุทธิ์มีความอ่อนปานกลาง ไอของทองแดงเป็นสีเขียว ซึ่งทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ดีกว่าออกซิเจน ปกติไม่พบทองแดงในรูปอิสระ แต่พบในรูปแร่และสารประกอบ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรง ดึงเป็นเส้นและตีเป็นแผ่นบางๆ ได้

5.2.1 บทบาทของทองแดงต่อมนุษย์

ทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์ที่สำคัญธาตุหนึ่ง แต่ร่างกายต้องการทองแดงในปริมาณน้อยมาก คือต้องการเพียงวันละประมาณ 2 มิลลิกรัมเท่านั้น ธาตุทองแดงเป็นธาตุที่พบอยู่ในเนื้อเยื่อ (tissue) หลายแห่งและในของเหลวในร่างกาย (body fluids) ของมนุษย์หลายแห่ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าส่วนของเนื้อเยื่อที่มีทองแดงมากที่สุดคือ เม็ดเลือดแดง (erythrocytes) และสมอง (brain) ส่วนของเหลวในร่างกายที่มีทองแดงมากที่สุดคือ เหงื่อ (sweat) และน้ำเหลือง (serum) (Berman, 1980)

5.2.2 การเข้าสู่ร่างกายของทองแดง

ทองแดงสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ 2 ทางด้วยกันคือ

ทางเดินอาหาร โดยการรับประทานอาหารที่มีธาตุทองแดงเข้าไป ซึ่งอาหารที่มีทองแดงมาก ได้แก่ ถั่ว เห็ด เนื้อสัตว์ อาหารทะเล เช่น หอยนางรม ถั่วและผลไม้เปลือกแข็งต่างๆ เช่น นัท เป็นต้น

ทางเดินหายใจ โดยการหายใจเอาฝุ่นของสารประกอบทองแดงและไอทองแดง อันเกิดจากโรงงานหลอมโลหะทองแดง และโลหะผสมของทองแดงเข้าไป ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อระบบหายใจได้

5.2.3 การเกิดพิษเนื่องจากทองแดง

การเกิดพิษจากระบบทางเดินอาหาร เกิดจากรับประทานอาหารที่มีทองแดงปะปนอยู่ปริมาณสูงเข้าไป การเกิดพิษลักษณะนี้ทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และท้องร่วง นอกจากนี้ยังเกิดอาการเมื่อดื่มน้ำแดงถูกทำลาย เกิดอาการตับวาย มีเลือดออกในทางเดินอาหาร ปัสสาวะน้อยกว่าปกติ ปัสสาวะมีโลหิต ความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นเร็ว กล้ามเนื้อมีอาการหดเกร็งอย่างรุนแรง มีอาการโคม่าและตายในที่สุด (อภิชาติ, 2536)

การเกิดพิษจากระบบทางเดินหายใจ เกิดจากการที่ร่างกายได้รับสารประกอบทองแดง หรือไอทองแดงโดยการหายใจเข้าไป ซึ่งทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบในระบบทางเดินหายใจ ถ้าร่างกายได้รับไอของทองแดงเป็นปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นไข้ (metal fume fever) และบางครั้งทำให้ผมและผิวหนังเปลี่ยนสีได้ การหายใจเอาฝุ่นและสารประกอบทองแดงในปริมาณที่มากพอสมควรเข้าภายในร่างกาย ทำให้เกิดอาการเลือดคั่งในเยื่อ นอกจากนี้สารประกอบทองแดงเมื่อเข้าตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง ตาอักเสบ และตาขุ่นมัวได้ (สิทธิชัย, 2528)

ตารางที่ 5 ปริมาณทองแดงที่ต้องการต่อวันของมนุษย์

อายุ	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
3-5 เดือน	0.5-0.7
6-11 เดือน	0.7-1.0
1-6 ปี	1.0-2.0
7-9 ปี	2.0-2.5
10 ปีขึ้นไป และผู้ใหญ่	2.0-3.0

ที่มา: อรพิน (2550)

5.2.4 การใช้ประโยชน์

ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดและใช้มากที่สุดโลหะหนึ่ง (รองจากเหล็ก) ซึ่งสามารถใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่างๆ นอกจากนี้ทองแดงยังใช้เคลือบผิวของโลหะและใช้ทำโลหะเจือ เช่น ทองเหลือง (brass) คือโลหะเจือของทองแดงร้อยละ 70 และสังกะสีร้อยละ 30 ทองสัมฤทธิ์ (bronze) เป็นโลหะเจือของทองแดง เป็นต้น

5.3 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียมเป็นธาตุในกลุ่ม IIB ของระบบตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.40 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 321 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 767 องศาเซลเซียส

5.3.1 การค้นพบ

แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากจากธรรมชาติ มักจะอยู่ร่วมกับกำมะถันเป็นแคดเมียมซัลไฟด์มีสีเหลืองและมักพบอยู่ในแร่สังกะสีซัลไฟด์ การนำเอาแคดเมียมเข้ามาใช้ประโยชน์เป็นสาเหตุให้โลหะแคดเมียมเข้ามาเจือปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งที่มักคนทำเหมืองแร่สังกะสี (รวมทั้งตะกั่ว ทองแดง) การเผาไหม้ของทิ้งที่เป็นพวกพลาสติกและยางโรงงานทำโลหะเจือและชุบโลหะ อีกแหล่งที่มาของแคดเมียมคือควันบุหรี่

พ.ศ.2463 ในประเทศญี่ปุ่น มีการระบาดของโรคอิไต-อิไต เกิดขึ้นตามริมฝั่งของแม่น้ำจินตัสชู ชาวบ้านแถบนั้นเกิดอาการสาวยตาผิดปกติ ปวดกระดูกตามน่อง ซี่โครงและสันหลังส่วนมากเป็นในเพศหญิงโดยเฉพาะหญิงที่มีประจำเดือนหมดแล้วรวมทั้งหญิงมีครรภ์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากแคดเมียมเป็นพิษเพราะแถบนั้นเป็นที่ทำเหมืองและถลุงโลหะของบริษัทมิตซูชิ ซึ่งผลิตโลหะทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ได้ทิ้งกากโลหะและน้ำทิ้งจากโรงงานลงสู่แม่น้ำ ทำให้บริเวณนั้นมีแคดเมียมในปริมาณที่สูงทั้งทางอากาศและทางน้ำ เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะสะสมในร่างกาย ซึ่งการสะสมแคดเมียมในร่างกายในปริมาณที่สูงทำให้คนและสัตว์เป็นหมันและเป็นมะเร็งได้ นอกจากนี้แล้วยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ก่อความเสียหายต่อตับและไต

5.3.2 ความเป็นพิษ

คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจจะอยู่ในน้ำที่เราดื่ม และได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปะปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบ และการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดครั้งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไตทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน หรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือรู้สึกคลื่นไส้อย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อกเนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

ความเป็นพิษต่อกระดูก ที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อีไต อีไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือกระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง โค้งงอได้ จะทำให้กระดูกเสียรูปทรง แตกร้าว และหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง (ไชพกา, 2537)

5.3.3 ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภคบริโภคนี้ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ เพื่อเพิ่มความเหนียว และความทนทานต่อการกัดกร่อน ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทย์ เป็นต้น ใช้ผลิตแบตเตอรี่โดยการใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิล ซึ่งนำมาทำเป็นแบตเตอรี่ใช้ในเครื่องคิดเลข แพลตถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆ เป็นต้น และใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

5.4 นิกเกิล (Nickel)

นิกเกิลเป็นธาตุในกลุ่ม VIII ของระบบตารางธาตุ มีเลขอะตอม 28 น้ำหนักอะตอม 58.71 จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1,453 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 2,730 องศาเซลเซียส

5.4.1 การค้นพบ

นิกเกิลสกัดได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1751 โดย Cronstedt ในปี ค.ศ. 1804 Richter สามารถเตรียมนิกเกิลที่ค่อนข้างบริสุทธิ์และได้ศึกษาถึงสมบัติของนิกเกิล และในปี ค.ศ. 1870 Fleitmann ได้พบว่าถ้าผสมแมกนีเซียมเล็กน้อยกับนิกเกิล จะสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้

5.4.2 ความเป็นพิษ

นิกเกิลสามารถดูดซึมได้ทั้งทางระบบหายใจ ทางเดินอาหารและทางผิวหนัง ทำให้เกิดปฏิกิริยาภูมิแพ้ที่ผิวหนัง เมื่อนิกเกิลเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจจะทำให้เกิดอาการไข้ ไอ เจ็บหน้าอก หายใจลำบาก ปวดศีรษะ หลังจากนั้น 12-36 ชั่วโมง อาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน ซึ่งทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตจากภาวะการหายใจล้มเหลว การฟื้นตัวจากปอดอักเสบนี้ใช้เวลาหลายเดือน ซึ่งผู้ป่วยจะยังคงมีอาการอ่อนเพลีย และเหนื่อยง่ายในระยะยาว

การสัมผัสนิกเกิลที่ผิวหนังอาจทำให้เกิดภาวะผิวหนังอักเสบเป็นผื่นในส่วนต่างๆ ของร่างกายซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นภูมิแพ้ ผู้ป่วยที่แพ้จะเกิดผื่นได้แม้สัมผัสนิกเกิลเพียงเล็กน้อย ผู้ที่ดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนนิกเกิลอาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดมวนท้อง และท้องเสีย (โยธกา, 2537)

5.4.3 การใช้ประโยชน์

มากกว่ากึ่งหนึ่งของโลหะนิกเกิลที่ผลิตได้ทั้งหมดใช้ในอุตสาหกรรมโลหะเจือ (alloy) เช่น เหล็กกล้าปลอดสนิม (stainless steel) ที่นิยมใช้ชนิดหนึ่งมีนิกเกิลร้อยละ 8 และ โครเมียมร้อยละ 18 เป็นองค์ประกอบ การใช้ประโยชน์อื่นๆ ของนิกเกิล เช่น ใช้ชุบโลหะ ใช้ทำ แบตเตอรี่ เป็นต้น

6. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารไปเกาะอยู่บนผิวสัมผัสของของแข็งหรือของเหลว โดยโมเลกุลของสารที่ไปเกาะ เรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งหรือของเหลวที่พื้นผิวถูกสารนั้นไปเกาะเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

6.1 ลักษณะการดูดซับ

ลักษณะของการดูดซับ อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

การดูดซับทางกายภาพ ซึ่งเป็นการดูดซับที่เกิดจากความแตกต่างของพลังงาน หรือ แรงดึงดูดทางไฟฟ้าอย่างอ่อนๆ ที่เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ โดยการดูดซับลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดความหนาของชั้น โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจำนวนชั้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโมเลกุลสารดูดซับหรือตัวถูกละลาย จำนวนชั้นของโมเลกุลจะมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย การย้อนกลับของกระบวนการดูดซับทางกายภาพขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดูดซับระหว่างสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงมีค่าน้อยการหลุดออกของสารที่ถูกดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารดูดซับเกิดเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งแตกต่างจากการดูดซับทางกายภาพ กระบวนการนี้จะมี ความหนาของโมเลกุลเพียงชั้นเดียวและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้เอง เนื่องจากมีการจับตัวทางเคมีสร้างสารประกอบใหม่ที่ผิวของสารดูดซับ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่จะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

6.2 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

6.2.1 การดูดซับทางกายภาพ ไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนประจุหรือการใช้ อิเล็กตรอนร่วมกัน

6.2.2 การดูดซับทางกายภาพไม่จำกัดบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเกิดเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะทางเคมีได้เท่านั้น

6.2.3 การดูดซับทางกายภาพ เป็นลักษณะของการดูดซับที่สามารถแยกเอาสารที่ถูกดูดซับออกจากสารดูดซับได้ง่าย โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเรียกว่า desorption ในขณะที่การดูดซับทางเคมีนั้น การ desorption จะเป็นไปได้ยาก

6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

6.3.1 สมบัติของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากมีรูพรุนมากทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นด้วย ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น

6.3.2 ค่าความเป็นกรดค่าของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากค่าความเป็นกรดค่ามีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ

6.3.3 อุณหภูมิ พบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะมากขึ้นแต่ อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น

6.3.4 เวลาสัมผัส เป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับในการบำบัดน้ำเสีย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนที่จะนำไปใช้จริง

6.4 ประโยชน์ของการดูดซับ

สารดูดซับที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อประโยชน์ดังต่อไปนี้คือ กำจัดสี กลิ่น รส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ กำจัดคลอรีน กำจัดโลหะหนัก กำจัดสารฆ่าแมลง กำจัดผงซักฟอก กำจัดฟีนอลและสารประกอบฟีนอล และกำจัดไฮโดรเจน เป็นต้น

แม้ว่าถ่านกัมมันต์จะเป็นสารดูดซับที่มีประสิทธิภาพแต่มีราคาค่อนข้างแพง จึงได้มีการศึกษาการใช้สารชนิดอื่นๆ เป็นสารดูดซับแทน (ปวีตรา และวัลยา, 2549) ซึ่งการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไคอะทอไมต์มาพัฒนาเป็นตัวกรองเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนัก คือ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชฎาภรณ์ (2545) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม โครเมียม และอาร์เซนิก จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไคอะทอไมต์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย โลหะหนัก ปริมาณไคอะทอไมต์ ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย และช่วงเวลาในการสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ โดยจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมคือ ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ไคอะทอไมต์ปริมาณ 2 กรัม ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเท่ากับ 5 เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 99.92 สำหรับการดูดซับโครเมียมสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ไคอะทอไมต์ปริมาณ 1 กรัม ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเท่ากับ 4 เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 98.82 และการดูดซับอาร์เซนิกสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอาร์เซนิกเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ไคอะทอไมต์ปริมาณ 1 กรัม ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเท่ากับ 4 เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที และช่วงเวลาสัมผัส 6 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 99.96

ชัชฎาพร (2545) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว พบว่า

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากกามมะพร้าว มีประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะทองแดง นิกเกิล และสังกะสี จากน้ำเสียสังเคราะห์สูงกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง และใบสับปะรด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 67.72, 22.55 และ 44.78 ตามลำดับ และผลของการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของทองแดง นิกเกิล และสังกะสีเริ่มต้นเท่ากับ 3.930, 4.034 และ 0.567 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ากามมะพร้าวชนิดที่ยังไม่ได้ปรับสภาพสามารถบำบัดโลหะหนักได้สูงกว่าชนิดที่ทำการปรับสภาพ โดยสามารถบำบัดโลหะหนักได้ร้อยละ 85.80, 65.13 และ 90.43 ตามลำดับ

ชัยศรี (2543) ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมไดอะทอมไมต์เพื่อใช้เป็นสารช่วยกรอง โดยทำการศึกษาไดอะทอมไมต์จากจังหวัดลำปางซึ่งเป็นแหล่งที่มีแร่ดินชนิดนี้อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในการเตรียมไดอะทอมไมต์นี้ทำโดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่ความเข้มข้นของกรด 0.5-4.0 M โดยทำการสกัดทิ้งไว้เป็นเวลา 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่า ไดอะทอมไมต์ที่ผ่านการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่ความเข้มข้น 2.0 M เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงและโครเมียม ที่ความเข้มข้น 10 mg/l และตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 40 mg/l ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ระยะเวลาสัมผัส 1 นาที โดยให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทั้งสามชนิดสูงที่สุดถึงร้อยละ 93-100 ซึ่งเมื่อเทียบกับไดอะทอมไมต์ที่มีขายตามท้องตลาดพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ใกล้เคียงกัน

ปวีตรา และ วัลยา (2549) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสังกะสี ทองแดง และแคดเมียม ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของสังกะสี 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดงและแคดเมียม 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 โดยใช้ปริมาณน้ำเสีย 50 มิลลิลิตร ปริมาณไดอะทอมไมต์ 15 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับโลหะสังกะสี ทองแดง และแคดเมียม คิดเป็นร้อยละ 92.29, 100.00 และ 96.50 ตามลำดับและเมื่อใช้ไดอะทอมไมต์ชนิดเม็ด โดยมีปูนปลาสเตอร์เป็นแกนกลาง และเคลือบด้วยผงไดอะทอมไมต์ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับ คิดเป็นร้อยละ 82.50, 88.88 และ 94.00 ตามลำดับ

อรรวรรณ และ อภิรักษ์ (2544) ได้ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเบาจากแหล่งแม่ทะ จังหวัดลำปาง เพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนักทั้งวิธีทางกายและทางเคมี จากนั้นนำดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วมาตรวจสอบความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ แคดเมียม และตะกั่ว ซึ่งวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเบาทำโดยการเผาดินเบาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศา

เซลเซียส แล้วนำไปผสมกับกรดหรือด่างชนิดต่างๆ พร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 7-8 ชั่วโมง ล้างดินแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบการดูดซับโลหะหนักแคดเมียมและตะกั่ว ผลการทดลองพบว่า ดินเบาที่ปรับปรุงคุณภาพโดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับ $\text{KOH} + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถดูดซับโลหะหนักแคดเมียมที่ความเข้มข้น 5 ppb ได้ดีที่สุดคือ 4.5510 mg/l และดินเบาที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แล้วนำไปผสมกับ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ และ Al_2O_3 สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วที่ความเข้มข้น 20 ppb ได้ดีที่สุดคือ 19.9998 mg/l

Al-Degs *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้ไคอะทอไมต์ และแมงกานีสไคอะทอไมต์ ในการดูดซับตะกั่ว พบว่าการใช้ไคอะทอไมต์ที่ดัดแปลงคุณภาพโดยสารแมงกานีสออกไซด์ ทำให้พื้นผิวของไคอะทอไมต์มีความเป็นประจุลบเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าการใช้ไคอะทอไมต์ดิบ ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 ซึ่งความสามารถในการดูดซับตะกั่วของไคอะทอไมต์ และแมงกานีสไคอะทอไมต์คือ 24 และ 99 mg/g ตามลำดับ

Alkan and Dogan (2001) ทดลองใช้เพอร์ไลต์ดิบ(unexpanded perlite) และเพอร์ไลต์เผา(expanded perlite) ที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริกมาศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนทองแดงออกจากสารละลาย โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังนี้คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ความแรงของไอออน(ionic strength) และอุณหภูมิ พบว่าการดูดซับทองแดงในเพอร์ไลต์ทั้งสองชนิดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่าง และลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้กระตุ้น ส่วนการเพิ่มความแรงของไอออนและอุณหภูมิทำให้การดูดซับทองแดงด้วยเพอร์ไลต์ทั้งสองชนิดลดลง โดยเพอร์ไลต์ดิบมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าเพอร์ไลต์เผา

Benguella and Bennaissa (2002) ศึกษาการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยไคดิน โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง(batch) พบว่าตัวแปรหลักๆ ที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดแคดเมียมคือความเข้มข้นของแคดเมียม ขนาดอนุภาคและปริมาณไคดิน ส่วนตัวแปรอื่นๆ เช่น อัตราเร็วในการเขย่า อุณหภูมิ จะมีผลต่อการศึกษาทางจลศาสตร์ ส่วนการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่า เป็นไปตาม Langmuir Isotherm โดยที่ความสามารถในการกำจัดแคดเมียมที่ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 14 มิลลิกรัมต่อไคดิน 1 กรัม

Erdal (2006) ได้ทำการศึกษาการใช้ไคอะทอไมต์ในการกำจัดสารกัมมันตรังสีจากน้ำเสีย ซึ่งกำจัดสารกัมมันตรังสี 3 ชนิดคือ Cs137, Cs134 และ Co60 โดยใช้การไหลของน้ำเสียผ่านคอลัมน์ อัตราการไหลที่ 4 L/min พบว่าสามารถกำจัดความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีจากเดิม 2.60 Bq/ml เหลือ 0.40 Bq/ml

Erdem (2005) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีข้อมโดยใช้ไคอะทอไมต์ โดยใช้สี 3 ชนิดในการทดสอบคือ สีน้ำเงิน (SB) สีแดง (EBR) และสีเหลือง (IY) โดยทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณไคอะทอไมต์ ขนาดของไคอะทอไมต์ ความเข้มข้นของสารละลาย และเวลาที่ใช้ในการเขย่า พบว่า เมื่อมีปริมาณของไคอะทอไมต์เพิ่มขึ้นก็สามารถกำจัดสีข้อมได้ดี ปริมาณที่เหมาะสมคือ 5 กรัม ไคอะทอไมต์ที่มีขนาดเล็กสามารถกำจัดสีข้อมได้ดีกว่าขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของไคอะทอไมต์ที่เหมาะสมคือ 63 ไมครอน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นไคอะทอไมต์จะสามารถกำจัดสีได้น้อยลง ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และเวลาที่ใช้ในการเขย่าคือ 3 นาที จากนั้นได้นำสภาวะที่เหมาะสมนี้มาทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับสีข้อม สีน้ำเงิน (SB) สีแดง (EBR) และสีเหลือง (IY) พบว่าไคอะทอไมต์สามารถดูดซับ สีแดง (EBR) ได้ดีกว่า สีน้ำเงิน (SB) และสีเหลือง (IY)

Khraisheh *et al.* (2004) ศึกษาไคอะทอไมต์และแมงกานีสไคอะทอไมต์ เพื่อทดสอบการดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้ง เมื่อนำไคอะทอไมต์มาทำให้อิ่มตัวที่ผิวหน้าด้วย 0.38 gg^{-1} แมงกานีสออกไซด์ จะทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้น 2.4 เท่า พบว่าพื้นที่ผิวของไคอะทอไมต์เพิ่มขึ้นจากเดิม $33 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ เป็น $80 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ จากการศึกษาพบว่าแมงกานีสไคอะทอไมต์สามารถกำจัดตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม จากน้ำทิ้งได้สูงกว่าไคอะทอไมต์ โดยความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของไคอะทอไมต์คือ 24.94, 27.55 และ 16.08 mgg^{-1} ตามลำดับ และความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของแมงกานีสไคอะทอไมต์ คือ 99.00, 55.56 และ 27.86 mgg^{-1} ตามลำดับ

Mathialagan and Viraraghavan (2002) ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยเพอร์ไลต์ โดยทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่างและเวลาสัมผัส พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับคือ 6 และเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 6 ชั่วโมง โดยที่อัตราการดูดซับแคดเมียมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ในการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าไอโซเทอมการดูดซับสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm ซึ่งสามารถกำจัดแคดเมียมได้มากที่สุดคือ 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วน

การทดลองในคอลัมน์แบบต่อเนื่อง ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมของเพอร์ไลต์ได้เท่ากับ 0.42 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อเพอร์ไลต์หนึ่งกรัม

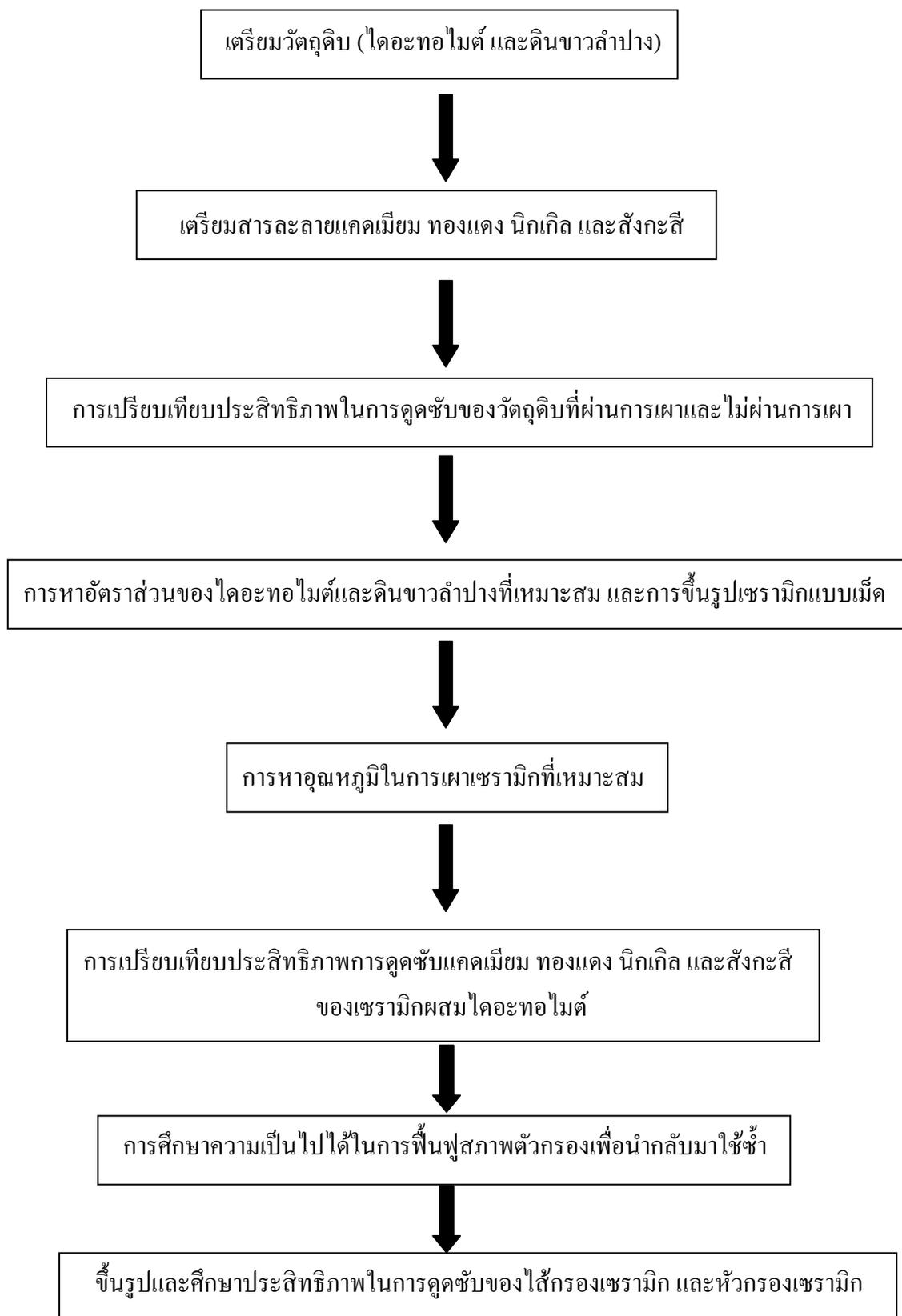
Singh *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แร่เฮมาไทต์(hematite) ในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียด้วยกระบวนการดูดซับ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ความเข้มข้นของแคดเมียม ค่าความเป็นกรดค่าข นาดอนุภาคของแร่เฮมาไทต์ อัตราเร็วในการเขย่า และอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 44.88 ไมโครโมลต่อลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดค่าขเท่ากับ 9.2 โดยใช้แร่เฮมาไทต์ที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 200 ไมโครเมตร ในปริมาณ 40 กรัมต่อลิตร อัตราเร็วในการเขย่าเท่ากับ 125 รอบต่อนาที โดยที่สภาวะที่เหมาะสมนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ร้อยละ 98

Tee and Khan (1988) ได้ทำการศึกษาการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสีในน้ำเสียด้วยไบชา โดยไบชาที่นำมาใช้เป็นไบชาที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปทางการเกษตร จากผลการทดลองพบว่า การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) เมื่อเพิ่มปริมาณกากไบชาจะสามารถกำจัดโลหะทั้ง 3 ชนิดได้มากขึ้น โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดที่ค่าความเป็นกรดค่าข 6 และประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี เท่ากับ 0.38, 0.28 และ 0.18 มิลลิโมลต่อกรัมของไบชา ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองแบบคอลัมน์พบว่า โลหะทั้ง 3 ชนิดถูกกำจัดได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ไบชา 1.87 กรัม ต่อน้ำเสียที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ค่าความเป็นกรดค่าข 6 นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์มีค่า 5.0-8.3 มิลลิลิตรต่อนาที และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย และเพิ่มอัตราการไหลพบว่าความสามารถในการกำจัดโลหะหนักลดลง

Viraraghavan and Ganesh (1991) ศึกษาการกำจัดแคดเมียมและโครเมียมจากน้ำเสียโดยกระบวนการดูดซับด้วยซีดีแอลอย โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ เวลาสัมผัส ค่าความเป็นกรดค่าข และอุณหภูมิ พบว่าสมดุลการดูดซับเกิดขึ้นที่เวลา 3 ชั่วโมง และค่าความเป็นกรดค่าขที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมและโครเมียมคือ 7-8 และ 2-3 ตามลำดับ ส่วนผลของอุณหภูมิพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมและโครเมียมลดลง และจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่า การดูดซับแคดเมียมสอดคล้องกับ Langmuir Isotherm ในขณะที่การดูดซับ

โครเมียมสอดคล้องกับ Freundlich Isotherm โดยที่ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมและโครเมียมเป็น 93 และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แผนการวิจัย



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAnalyst 800 ยี่ห้อ Perkin Elmer instruments
2. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง
3. เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องเขย่า
5. ตู้อบความร้อน
6. เดซิเกตเตอร์
7. ปีกเกอร์
8. ขวดรูปชมพู่
9. ขวดวัดปริมาตร
10. ปีเปต
11. กระจกตวง
12. ตะแกรงร่อน
13. หลอดหยด
14. กรวยกรอง
15. แ่งแก้วคน
16. ช้อนตักสาร
17. กระจกน้ำกลั่น
18. กระจกกรองวอทแมน เบอร์ 42
19. แบบสำหรับขึ้นรูปตัวกลางในการกรอง
20. อะลูมิเนียมฟอยล์
21. ถุงมือ
22. ขวดพลาสติก

สารเคมี

1. สารละลายแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสีมาตรฐาน ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

วิธีการ

การวิจัยแบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำไดอะทอไมต์ และดินขาวล้างมาตากให้แห้ง แล้วทำการบดเป็นผงจนละเอียด
2. ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 600 ไมครอน และเก็บใส่ภาชนะให้มิดชิด
3. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สังกะสี ที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก Zinc nitrate AAS standard ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียสังเคราะห์ของทองแดง แคดเมียม และนิกเกิล เตรียมที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก Copper (II) nitrate AAS standard, Cadmium nitrate AAS standard, Nickel nitrate AAS standard ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. ทำการปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับ 3 ด้วย NaOH และ HCl ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของวัตถุดิบที่ผ่านการเผา และไม่ผ่านการเผา

1. นำไดอะทอไมต์และดินขาวล้างที่ผ่านการบดละเอียดมาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง
2. นำวัตถุดิบที่ไม่ได้ผ่านการเผาและผ่านการเผาที่ช่วงเวลาต่างๆ มาชั่งปริมาณ 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

3. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1, 5, 10 และ 15 นาที
4. กรองตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS กำหนดประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุคิบทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านการเผาและไม่ผ่านการเผา

ขั้นตอนที่ 3 การหาอัตราส่วนของไดอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่เหมาะสม และการขึ้นรูปเซรามิกแบบเม็ด

1. ผสมไดอะทอไมต์ในดินขาวลำปางที่อัตราส่วนร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70
2. ทำการขึ้นรูปแบบเม็ดโดยใช้พิมพ์แบบเม็ด แล้วผึ่งลมให้แห้ง
3. นำตัวอย่างแบบเม็ดที่อัตราส่วนต่างๆ มาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ชั่งตัวอย่างเซรามิกแบบเม็ดที่อัตราส่วนต่างๆ ใสลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 15 กรัม
5. เติมน้ำละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ทุกขวด
6. กรองตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับและคัดเลือกอัตราส่วนผสมของตัวกรองที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 การหาอุณหภูมิในการเผาเซรามิกที่เหมาะสม

1. นำไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 มาเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งตัวอย่างให้เย็นในเดซีเคเตอร์
2. ชั่งตัวอย่างเซรามิกแบบเม็ดที่ทำการเผาตามอุณหภูมิต่างๆ ใสลงในขวดรูปชมพู่จำนวน 15 กรัม
3. เติมน้ำละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ทุกขวด
4. กรองตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของ เซรามิกผสมไดอะทอไมต์

1. นำเซรามิกผสมไดอะทอไมต์แบบเม็ด ที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนที่เหมาะสมคือร้อยละ 50 มาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ใสลงในขวดรูปชมพู่ 15 กรัม
2. เติมน้ำละลายน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสีที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่
3. กรองตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ
4. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการฟื้นฟูสภาพตัวกรองเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

1. นำเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ผ่านการใช้งานในการดูดซับสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงจากขั้นตอนข้างต้น มาล้างมาให้แห้งแล้วนำตัวอย่างมาใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมน้ำกรดกรด HCl และ H_2SO_4 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด
3. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
4. กรองตัวอย่างออก ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปล้างให้แห้ง
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้ว มามาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเช่นเดิมอีกครั้งหนึ่ง นำไปวิเคราะห์ปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS คำนวณการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการฟื้นฟูสภาพ

ขั้นตอนที่ 7 การขึ้นรูปไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก

1. ทำการผสมอัตราส่วนไส้กรองและตัวกรองโดยใช้วัตถุดิบดังนี้คือ ไดอะทอไมต์ ดินขาวลำปาง อะลูมิเนียมออกไซด์ และโคโลไมต์

ตารางที่ 6 อัตราส่วนผสมของน้ำดิน

สูตรน้ำดิน	ไคอะทอไมต์	ดินขาวลำปาง	อะลูมิเนียมออกไซด์	โพลีไมต์
อัตราส่วน (ร้อยละ)	45	5	35	15

ตารางที่ 7 อัตราส่วนผสมของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตร

สูตรที่	น้ำดิน (ร้อยละ)	ผงถ่าน (ร้อยละ)
1	100	-
2	85	15
3	75	25
4	65	35

2. เมื่อผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้วนำไปเติมน้ำ จากนั้นนำไปกวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันก็จะได้น้ำดินที่ใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นไส้กรอง และหัวกรอง (ตารางที่ 6)

3. เมื่อได้น้ำดินก็นำมาเติมผงถ่านลงไปในแต่ละสูตรตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 7) กวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

4. นำน้ำดินที่ได้จากการเตรียมตามอัตราส่วนผสมต่างๆ มาขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์ที่ได้เตรียมไว้รอจนให้น้ำดินแห้ง แล้วถอดแบบพิมพ์ออกจะได้ไส้กรองและหัวกรอง

5. ทิ้งไส้กรองและหัวกรองไว้ให้แห้ง

6. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,060 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นก็จะได้ไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก

ขั้นตอนที่ 8 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก

1. นำไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก ที่ผ่านการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ มาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก

2. โดยใช้สารละลายโลหะหนักทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3

3. นำไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกต่อเข้ากับระบบ จากนั้นปรับอัตราการไหลของน้ำเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที

4. แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการปล่อยน้ำเสียตามเวลาดังนี้คือไส้กรองน้ำเก็บน้ำเสียตามเวลา 10, 20, 30, 60, 90 และ 120 นาที หัวกรองน้ำ เก็บน้ำเสียตามเวลา 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที

5. จากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บตามเวลาดังกล่าวไปวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงด้วยเครื่อง AAS และคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก

ผลและวิจารณ์

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบโดยใช้ไคอะทอไมต์จากจังหวัดลำปาง ซึ่งมีลักษณะเป็นผง สีเนื้อ และมีน้ำหนักเบา จากนั้นก็นำมาบดให้ละเอียด ร้อนแล้วเก็บในภาชนะที่มิดชิด ส่วนดินขาวลำปางมีลักษณะเป็นก้อนดิน สีขาวขุ่น นำมาบดเป็นผงละเอียดแล้วดำเนินการเช่นเดียวกับไคอะทอไมต์ (ภาพที่ 8)



(ก)



(ข)

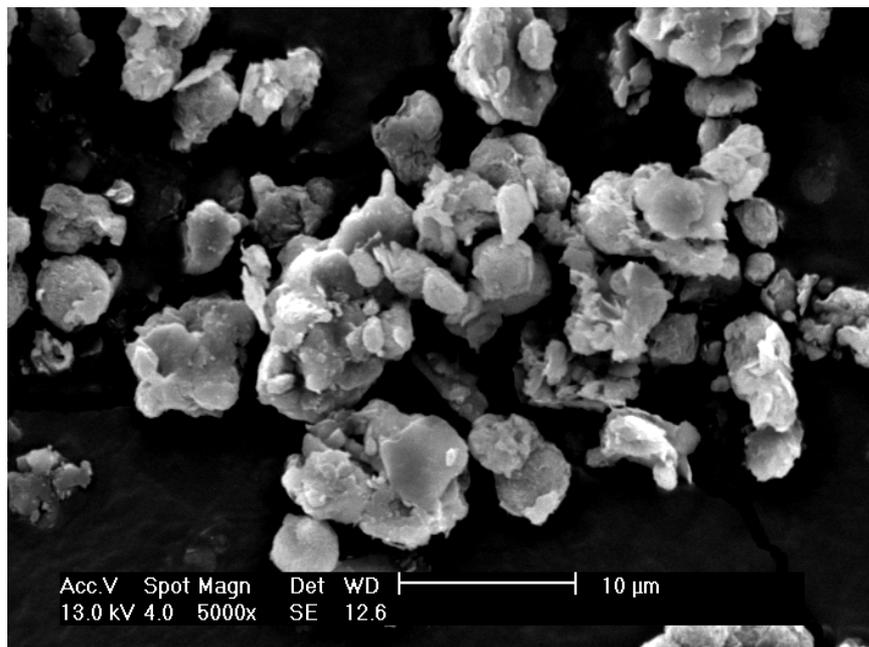


(ค)

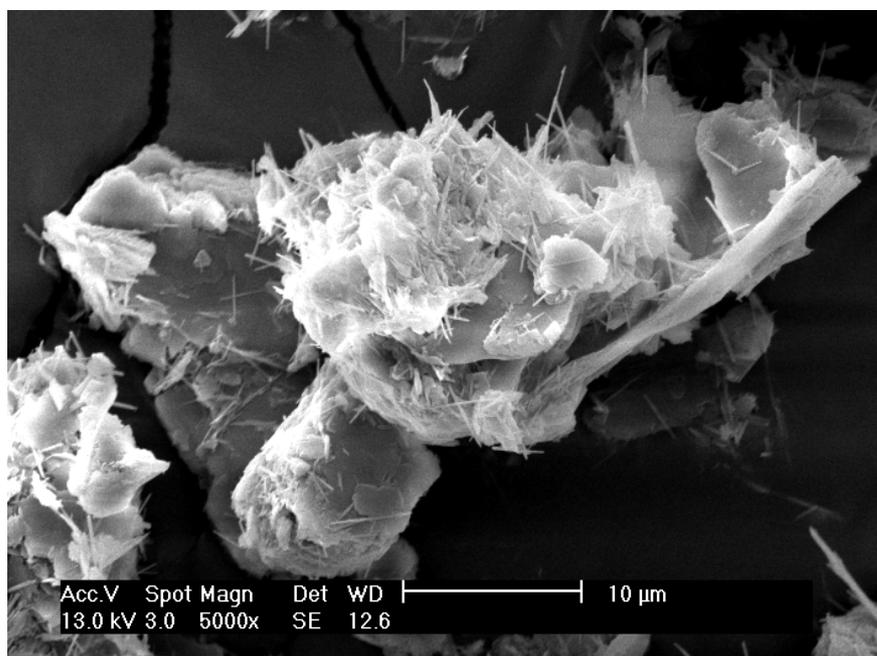
ภาพที่ 8 การเตรียมวัตถุดิบ

- (ก) ดินขาวลำปางที่ผ่านการตากแห้ง
- (ข) การบดไคอะทอไมต์
- (ค) การร่อนไคอะทอไมต์ด้วยตะแกรงขนาด 600 ไมครอน

จากภาพถ่ายของไคอะทอไมต์ชนิดผงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ภาพที่ 9) พบว่าไคอะทอไมต์มีลักษณะเป็นแผ่นหรือก้อนกลมๆ และภาพถ่ายของดินขาวลำปางชนิดผงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า มีลักษณะเป็นรูปผลึกแผ่นสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยมและมีลักษณะผลึกคล้ายเข็มอยู่บนพื้นผิว (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายโคะทอไม้ต้งชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

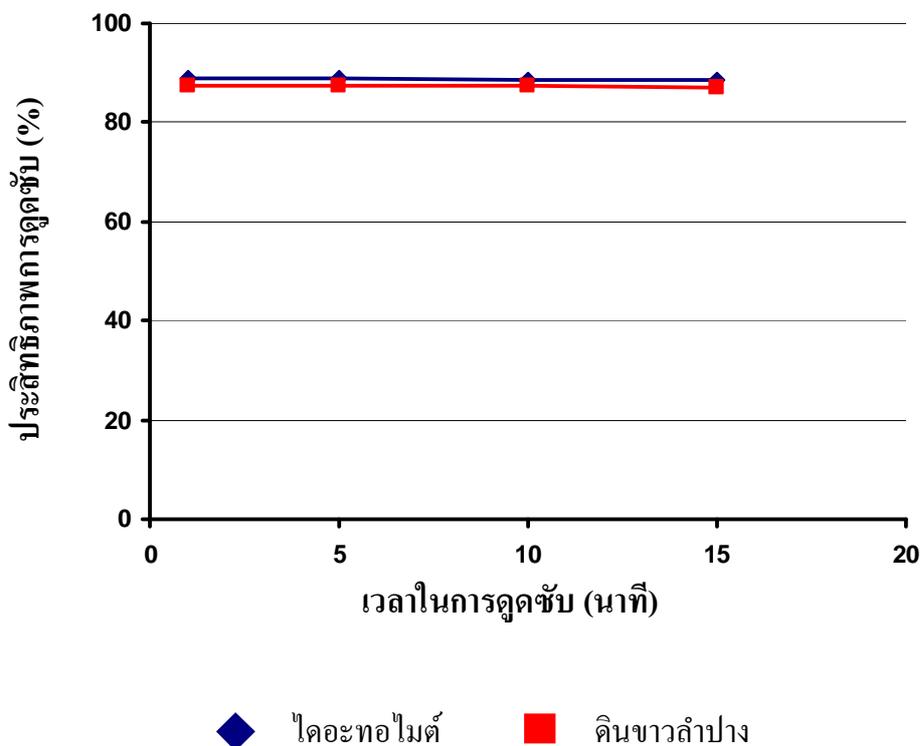


ภาพที่ 10 ภาพถ่ายคินขวลำปางชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ขั้นตอนที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของวัตถุคืบที่ผ่านการเผา และไม่ผ่านการเผา

ตารางที่ 8 ผลการดูดซับของวัตถุคืบไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ไม่ผ่านการเผา และผ่านการเผาในช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง

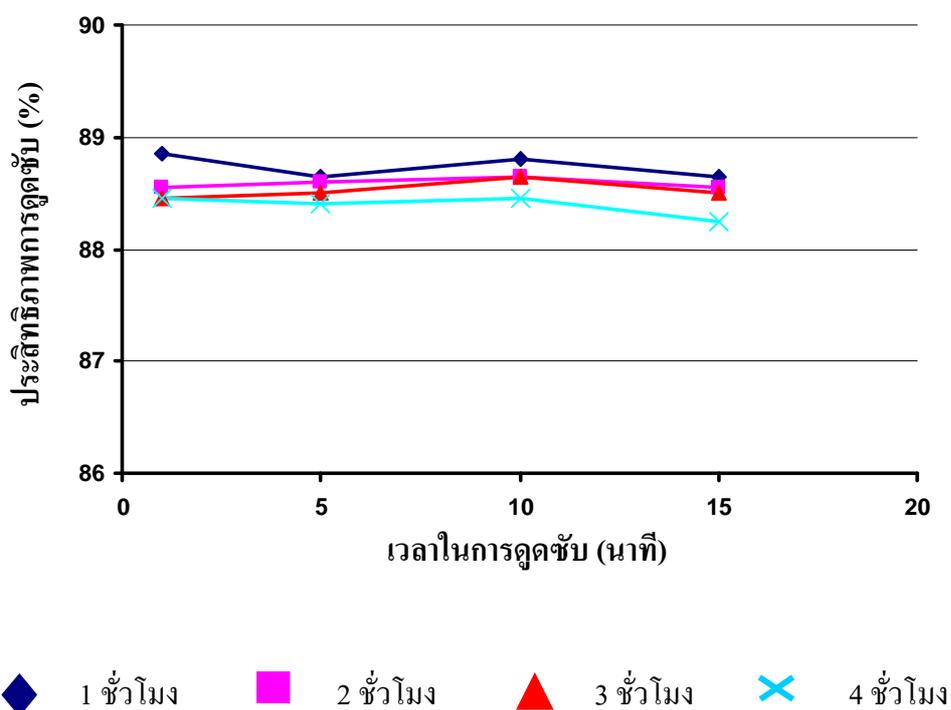
ระยะเวลาในการเผา (ชั่วโมง)	เวลาในการสัมผัส (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)	
		ไคอะทอไมต์	ดินขาวลำปาง	ไคอะทอไมต์	ดินขาวลำปาง
ไม่เผา	1	0.224	0.249	88.80	87.55
	5	0.222	0.250	88.90	87.50
	10	0.226	0.251	88.70	87.45
	15	0.229	0.263	88.55	86.45
1	1	0.223	0.248	88.85	87.86
	5	0.227	0.247	88.65	87.65
	10	0.224	0.249	88.80	87.55
	15	0.227	0.245	88.65	87.75
2	1	0.229	0.255	88.55	87.25
	5	0.228	0.258	88.60	87.10
	10	0.227	0.254	88.65	87.30
	15	0.229	0.314	88.55	84.30
3	1	0.231	0.471	88.45	76.45
	5	0.230	0.391	88.50	80.45
	10	0.227	0.359	88.65	82.05
	15	0.230	0.380	88.50	81.00
4	1	0.231	0.518	88.45	74.10
	5	0.233	0.543	88.35	72.85
	10	0.231	0.498	88.45	75.10
	15	0.235	0.619	88.25	69.05



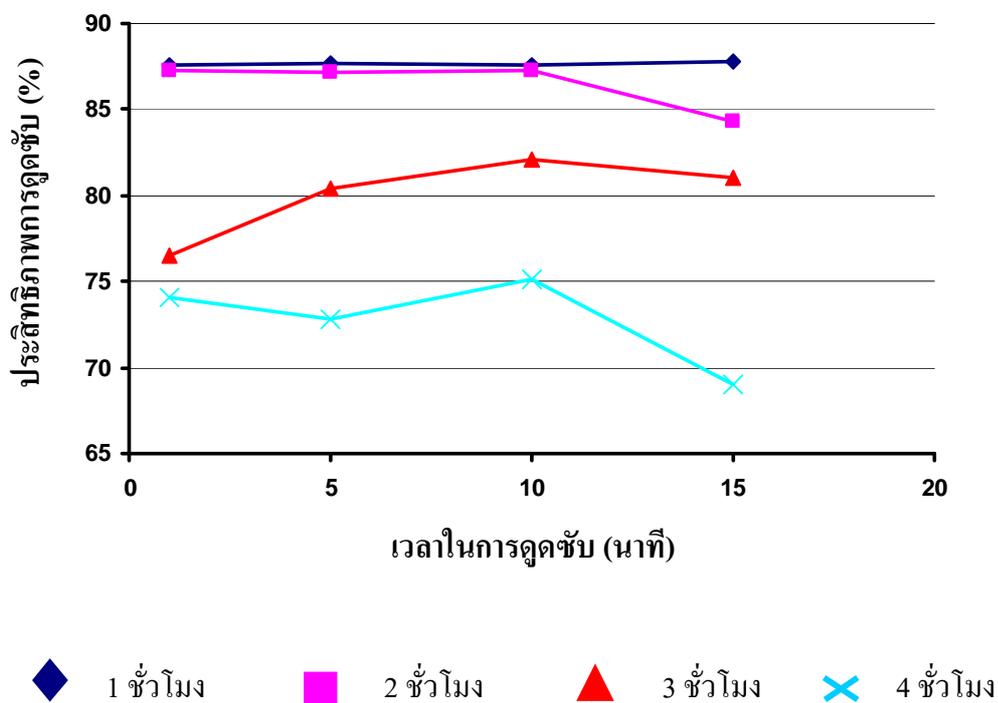
ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ และดินขาวลำปางชนิดผงที่ไม่ได้ผ่านการเผา

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ และดินขาวลำปางชนิดผง พบว่าไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ยังไม่เผามีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ใกล้เคียงกัน โดยที่ไคอะทอไมต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงดีกว่าดินขาวลำปางเล็กน้อย (ตารางที่ 8) ซึ่งเมื่อเทียบกับส่วนประกอบทางเคมี พบว่าในไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางมีส่วนประกอบของ SiO_2 อยู่เป็นจำนวนมาก โดย SiO_2 ที่มีอยู่ในไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางนี้สามารถเป็นตัวดูดซับโลหะหนักได้ (Khraisheh *et al.*, 2004) ซึ่ง SiO_2 เป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในไคอะทอไมต์มากกว่าดินขาวลำปาง จึงทำให้ไคอะทอไมต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้ดีกว่าดินขาวลำปางเล็กน้อย (ภาพที่ 11) และพบว่าไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ผ่านการเผาในระยะเวลาต่างๆ นั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการเผานั้น คือ การดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงได้ดีกว่าไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ผ่านการเผาในระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง (ภาพที่ 12, 13) สอดคล้องกับ ชฎาภรณ์ (2545) ที่รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของไคอะทอไมต์ ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO

และ Na_2O จะลดน้อยลงเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และยังทำให้ขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสลดลงกว่าไคอะทอไมต์ที่ไม่ทำการเผา ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการเผาวัตถุดิบทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวของวัตถุดิบลดลงจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงลดลงด้วย สอดคล้องกับ จุฑารัตน์และธารินทร์ (2549) ที่รายงานว่าผลการดูดซับโลหะหนักสังกะสีโดยใช้ไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ผ่านการเผาที่ช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักสังกะสีลดลงเมื่อช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางเพิ่มขึ้น แต่การทดลองในขั้นตอนต่อไปเลือกใช้การเผาวัตถุดิบในระยะเวลา 3 ชั่วโมง เนื่องจากว่าในการขึ้นรูปเป็นตัวกรองนั้นต้องทำการเผาวัตถุดิบเพื่อให้มีความคงทน แข็งแรง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ไม่ได้ผ่านการเผา และผ่านการเผาในระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมงนั้นพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาถึงความคงทนในการขึ้นรูปของตัวกรองแล้วจึงเลือกการเผาวัตถุดิบในระยะเวลา 3 ชั่วโมงเป็นเวลาที่เหมาะสม



ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของไคอะทอไมต์ ที่ผ่านการเผาในระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 13 ประสิทธิภาพการควบคุมทองแดงของดินขาวลำปาง ที่ผ่านการเผาในระยะเวลาต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3 การหาอัตราส่วนของไดอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่เหมาะสม และการขึ้นรูปเซรามิกแบบเม็ด

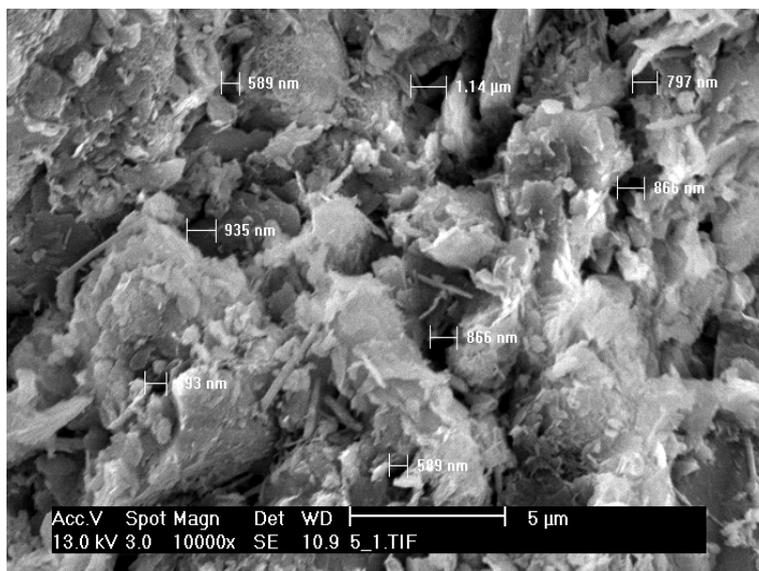
ตารางที่ 9 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไดอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

อัตราส่วน ไดอะทอไมต์ : ดินขาวลำปาง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการควบคุม (ร้อยละ)
30	0.863	56.85
40	0.816	59.20
50	0.801	59.95
60	0.765	61.75
70	0.756	62.20

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดงด้วยเซรามิกผสมไคอะทอไมด์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด (ภาพที่ 14) เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า เมื่อใช้ไคอะทอไมด์ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงเป็นร้อยละ 56.85, 59.20, 59.95, 61.75 และ 62.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไคอะทอไมด์ที่ผสมลงไปในเซรามิก (ภาพที่ 16) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในการดำเนินการขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ไคอะทอไมด์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 50

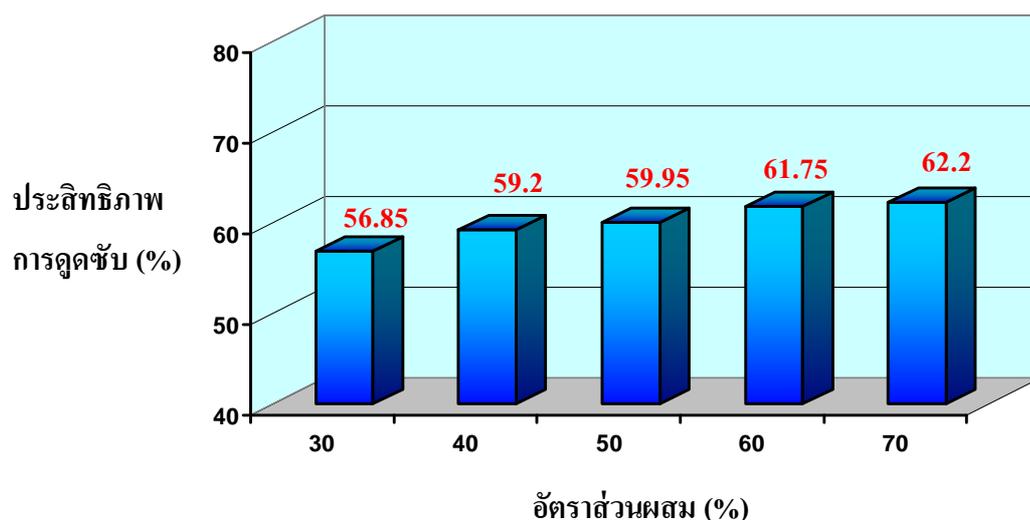


ภาพที่ 14 ไคอะทอไมด์ผสมดินขาวลำปางที่ทำการขึ้นรูปแบบเม็ด



ภาพที่ 15 ภาพถ่ายเซรามิกผสมไคอะทอไมด์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากภาพถ่ายของเซรามิกผสมไดอะทอมไมต์อัตราส่วนร้อยละ 50 เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า มีส่วนผสมของไดอะทอมไมต์และดินขาวลำปางปรากฏอย่างชัดเจน และมีรูพรุนอยู่บนพื้นผิวของเซรามิกผสมไดอะทอมไมต์ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอมไมต์ที่อัตราส่วนต่างๆ

ขั้นตอนที่ 4 การหาอุณหภูมิในการเผาเซรามิกที่เหมาะสม



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 17 เซรามิกผสมไดอะทอมไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

(ก) เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

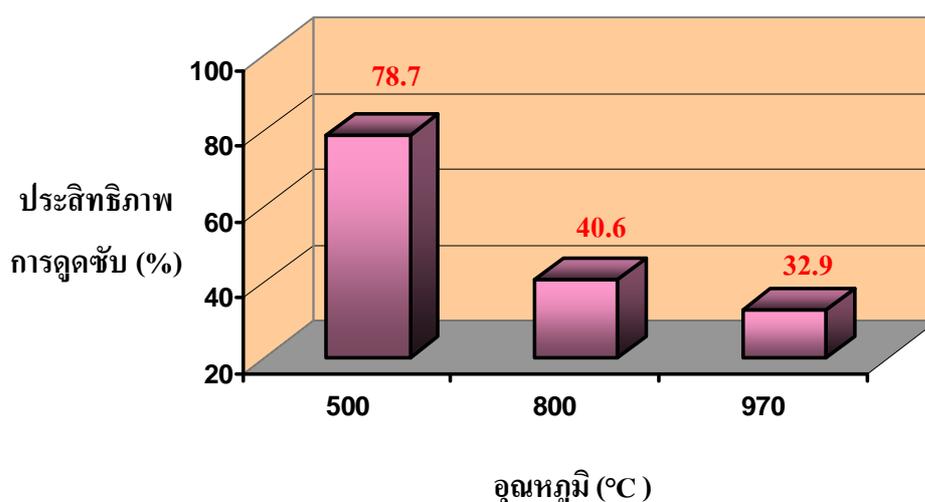
(ข) เเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

(ค) เเผาที่อุณหภูมิ 970 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 10 ผลของอุณหภูมิในการเผาเซรามิก โดยใช้เซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)
500	0.426	78.70
800	1.188	40.60
970	1.342	32.90

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเผา 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 17) พบว่าเมื่อใช้เซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงเป็นร้อยละ 78.70, 40.60 และ 32.90 ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้น (ภาพที่ 18) และในการเผาเซรามิกเลือกใช้อุณหภูมิต่ำสุดในการเผาคือที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเผาเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้เนื้อเซรามิกจะไม่คงทน แตกหักได้ง่าย (ไพจิตร, 2541) ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงเลือกใช้การเผาเซรามิกที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทดลองขั้นต่อไป



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ดอัตราส่วนผสมร้อยละ 50 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส

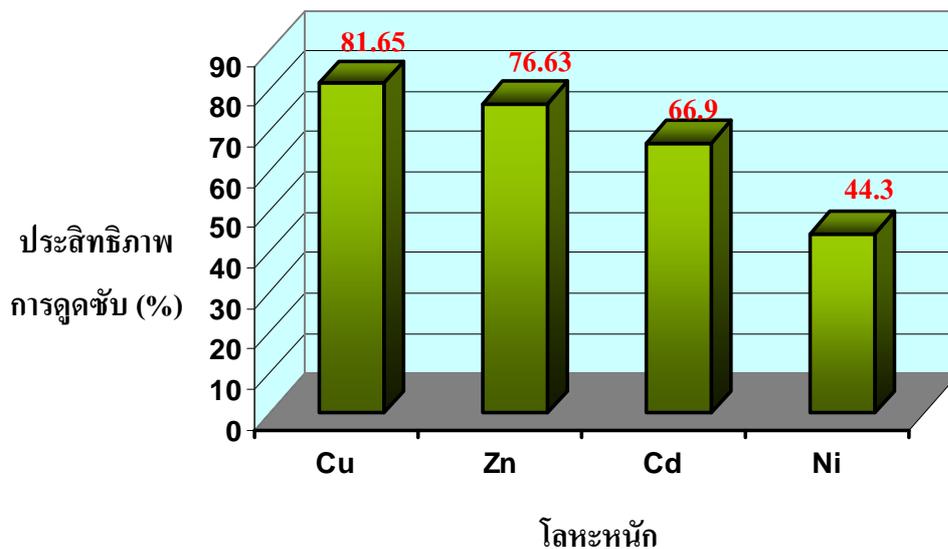
ขั้นตอนที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของ เซรามิกผสมไคอะทอไมต์

ตารางที่ 11 ผลการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของเซรามิกผสมไคอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

โลหะหนัก	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)
ทองแดง	0.367	81.65
สังกะสี	0.701	76.63
แคดเมียม	0.662	66.90
นิกเกิล	1.114	44.30

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักชนิดต่างๆ โดยใช้เซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าตัวกรองแบบเม็ดมีประสิทธิภาพในการดูดซับเป็น ร้อยละ 66.90, 81.65, 44.30 และ 76.63 ตามลำดับ (ตารางที่ 11) (ภาพที่ 19) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Khraisheh *et al.* (2004) ที่รายงานว่าไคอะทอไมต์ธรรมชาติมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียได้ โดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยในการดูดซับ เช่น สมบัติของตัวดูดซับ อุณหภูมิ เวลาสัมผัส ค่าความเป็นกรดต่าง

จากผลการทดลองพบว่า เซรามิกผสมไคอะทอไมต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้สูงที่สุดที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 และมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักนิกเกิลได้ต่ำที่สุดที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ทั้งนี้ค่าความเป็นกรดต่างก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ แต่เนื่องจากในการทดลองต้องการปรับสภาพน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีค่าความเป็นกรดต่างเหมือนกับน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ดังนั้นจึงปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 3



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด อัตราส่วนผสมร้อยละ 50 เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

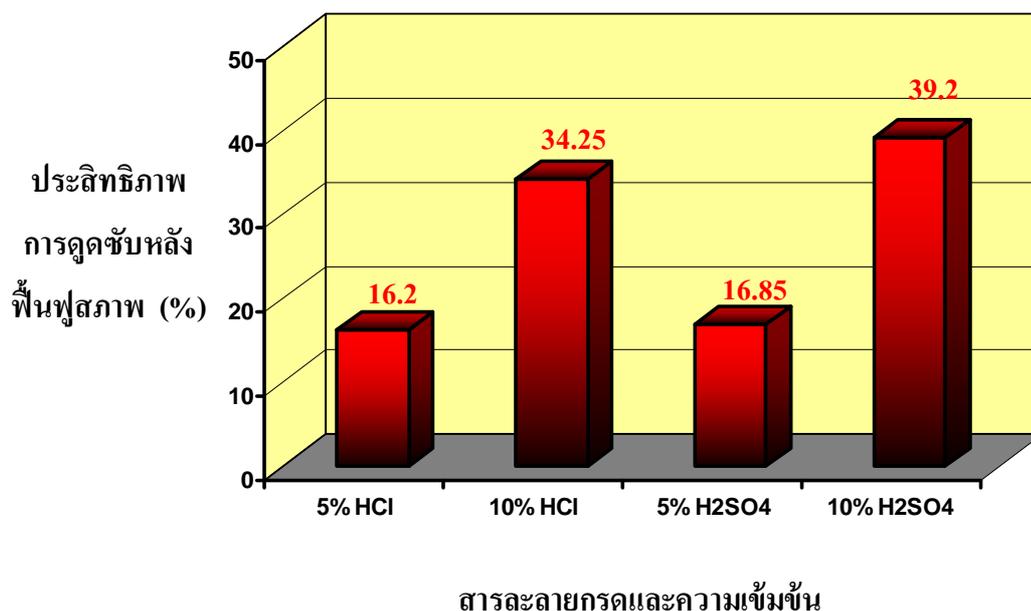
ขั้นตอนที่ 6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการฟื้นฟูสภาพตัวกรองเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

กระบวนการสกัดโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนหรือกากตะกอน นิยมใช้กรดอะซิติก และ chelating agent (EDTA) ในการสกัดโลหะหนักชนิดต่างๆ ออกมา ซึ่งสอดคล้องกับ Sahuquillo, A. *et al.* (2003) ที่ทำการทดลองชะโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักชนิดนี้ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 84, 142, 251 และ 1,138 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าการใช้กรดอะซิติก (CH_3COOH) ที่ความเข้มข้น 0.11 M สามารถชะโลหะหนักออกมาจากดินที่ปนเปื้อนได้เป็นร้อยละ 50, 12, 12 และ 41 ตามลำดับ และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติก (CH_3COOH) เป็น 0.43 M พบว่าสามารถชะโลหะหนักออกมาจากดินที่ปนเปื้อนได้มากกว่าเดิมเป็นร้อยละ 72, 27, 36 และ 52 ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับการใช้ chelating agent (EDTA) ที่ความเข้มข้น 0.05 M ในการสกัดโลหะหนักออกมาจากดินที่ปนเปื้อนชนิดเดียวกัน พบว่า สามารถชะโลหะหนักออกมาได้ใกล้เคียงกับการใช้กรดอะซิติก (CH_3COOH) เป็นร้อยละ 67, 54, 18 และ 36 ตามลำดับ

ซึ่งในการทดลองขั้นตอนนี้เลือกใช้กรดในการฟื้นฟูสภาพของตัวกรองแบบเม็ดเนื่องจากว่า สารละลายกรดที่เข้าไปแทนที่ของโลหะหนักทองแดง จะแตกตัวในรูปของ H^+ ซึ่งมีความสามารถในการแทนที่สูง ดังนั้นจึงทำให้โลหะหนักทองแดงถูกแทนที่ด้วย H^+ แล้วแยกออกมาได้ ซึ่งในการทดลองฟื้นฟูสภาพของตัวกรองแบบเม็ดภายหลังใช้ในการดูดซับโลหะหนักทองแดง โดยการชะโลหะหนักที่อยู่ในตัวกรองแบบเม็ดออกมาโดยใช้กรด HCl และกรด H_2SO_4 ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 5 และ 10 แล้วนำตัวกรองแบบเม็ดที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพกลับมาใช้ในการดูดซับทองแดงอีกครั้ง พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับทองแดงหลังทำการฟื้นฟูสภาพด้วยกรดที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นร้อยละ 16.20, 34.25, 16.85 และ 39.20 ตามลำดับ (ภาพที่ 20) และประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวกรองแบบเม็ดลดลงร้อยละ 65.45, 47.40, 64.80 และ 42.45 ตามลำดับ (ตารางที่ 8) แม้การใช้กรด HCl และ H_2SO_4 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวกรองแบบเม็ดดีกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 แต่ลักษณะของตัวกรองหลังการฟื้นฟูสภาพที่แตกย่อย เป็นผง จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานซ้ำ

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอมไซต์ ที่ขึ้นรูปแบบเม็ด หลังการฟื้นฟูสภาพด้วยกรด HCl และ H_2SO_4 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10

สารละลายกรด	ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดง (ร้อยละ)		ประสิทธิภาพการดูดซับที่ลดลง (ร้อยละ)
	ตัวดูดซับก่อนฟื้นฟูสภาพ	ตัวดูดซับหลังฟื้นฟูสภาพ	
	สภาพ	สภาพ	
HCl 5%	81.65	16.20	65.45
HCl 10%	81.65	34.25	47.40
H_2SO_4 5%	81.65	16.85	64.80
H_2SO_4 10%	81.65	39.20	42.45

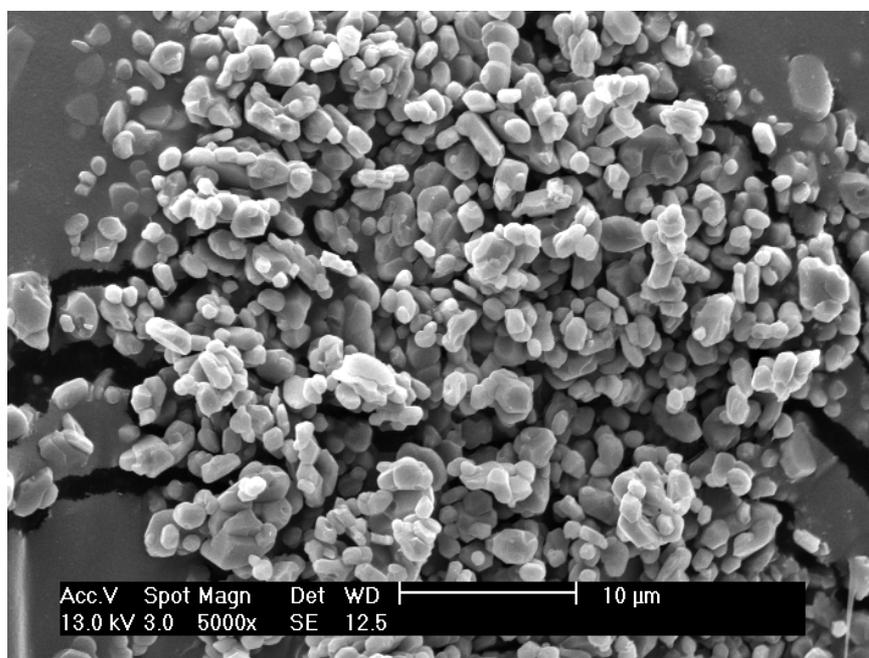


ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพการดูดซับทองแดงของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปแบบเม็ดหลังการฟื้นฟูสภาพด้วยกรด HCl และ H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10

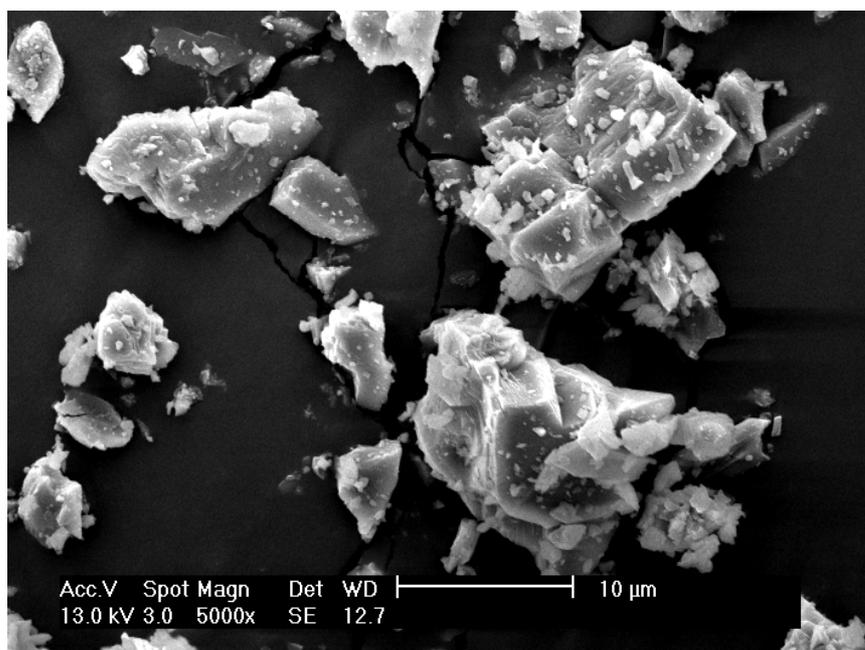
ขั้นตอนที่ 7 การขึ้นรูปไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก

ในการขึ้นรูปไส้กรองและหัวกรองนั้นทำโดยการผสมไดอะทอไมต์ ดินขาวลำปาง อะลูมิเนียมออกไซด์ โดโลไมต์ และผงถ่านในอัตราส่วนต่างๆ โดยในการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นส่วนผสมในไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกช่วยทำให้มีความทนไฟ และช่วยเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งภาพถ่ายของอะลูมิเนียมออกไซด์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า มีลักษณะเป็นก้อนกลมเกาะติดกันอยู่เป็นกลุ่ม (ภาพที่ 21) ส่วนการเติมโดโลไมต์เป็นส่วนผสมในไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกช่วยให้น้ำไหลผ่านได้ดี ซึ่งภาพถ่ายของโดโลไมต์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า โดโลไมต์มีลักษณะเป็นผลึกก้อนสี่เหลี่ยมหรือหกเหลี่ยม (ภาพที่ 22) และการเติมผงถ่านเป็นส่วนผสมในไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกช่วยทำให้มีความพรุนตัวมากขึ้นและทำให้น้ำไหลผ่านได้ดี (ไพจิตร, 2541) ซึ่งเมื่อได้ส่วนผสมต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ก็นำมาผสมกันแล้วเติมน้ำจากนั้นนำไปกวนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้น้ำดินสำหรับขึ้นรูปเป็นไส้กรองและหัวกรอง จากนั้นจึงนำน้ำดินที่ได้ไปเทใส่ในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง เมื่อน้ำดินแห้งแล้วจึงแกะแบบพิมพ์ออกก็จะได้ไส้กรองและหัวกรอง (ภาพที่ 23) นำไส้กรอง

และหั่วกรองไปเผาที่อุณหภูมิ 1,060 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นจะได้
ไส้กรองเซรามิกและหั่วกรองเซรามิก (ภาพที่ 24)



ภาพที่ 21 ภาพถ่ายอะลูมิเนียมออกไซด์ชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 22 ภาพถ่ายโดโลไมต์ชนิดผง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

เมื่อทำการขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกแล้วนำไปเผา พบว่าไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรมีน้ำหนักที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 9) จึงนำไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกมาชั่งน้ำหนักพบว่าไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้ผสมผงถ่านนั้นมีน้ำหนักมากที่สุดคือ 285.47 กรัม และ 151.56 กรัม ตามลำดับ ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในสูตรที่ 2 ที่มีการเติมผงถ่านลงไปในอัตราส่วนร้อยละ 15 พบว่ามีน้ำหนัก 272.40 กรัม และ 135.11 กรัม ตามลำดับ ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในสูตรที่ 3 ที่มีการเติมผงถ่านลงไปในอัตราส่วนร้อยละ 25 พบว่ามีน้ำหนัก 247.20 กรัม และ 113.99 กรัม ตามลำดับ และไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในสูตรที่ 4 ที่ผสมผงถ่านในอัตราส่วนร้อยละ 35 นั้นมีน้ำหนักน้อยที่สุดคือ 165.81 กรัม และ 82.96 กรัม พบว่าเมื่อผสมผงถ่านไปในไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกมีน้ำหนักน้อยลง เนื่องจากผงถ่านที่ผสมลงไปนั้นช่วยทำให้ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกมีความพรุนตัวมากขึ้น จึงทำให้น้ำหนักของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกน้อยลงด้วย



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 23 ขั้นตอนการขึ้นรูปไส้กรองและหัวกรอง โดยวิธีการหล่อน้ำดิน

(ก) การกวนผสมน้ำดิน

(ข) การเทน้ำดินใส่แบบพิมพ์

- (ค) ใ้กรองหลังปล่อยให้ให้น้ำดินแห้งในแบบพิมพ์
(ง) หัวกรองหลังแกะออกจากแบบพิมพ์

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบน้ำหนักของใ้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรน้ำดิน

สูตรน้ำดิน	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	
	ใ้กรองเซรามิก	หัวกรองเซรามิก
1	285.47	151.56
2	272.40	135.11
3	247.20	113.99
4	165.81	82.96



(ก)



(ข)

ภาพที่ 24 ใ้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกที่ขึ้นรูปในอัตราส่วนต่างๆ

- (ก) ใ้กรองเซรามิก
(ข) หัวกรองเซรามิก

ขั้นตอนที่ 8 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของใ้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิก

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ทำการติดตั้งระบบกรองที่ใช้ใ้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก (ภาพที่ 25) ซึ่งผลการทดลองการนำใ้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกมาศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโดยใช้สารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับอัตราการไหลของน้ำเป็น 200 มิลลิตรต่อนาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียหลังจากการปล่อยน้ำ

เสียดตามเวลาดังนี้คือไส้กรองเซรามิกเก็บน้ำเสียดตามเวลา 10, 20, 30, 60, 90 และ 120 นาที หัวกรองเซรามิกเก็บน้ำเสียดตามเวลา 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที



(ก)

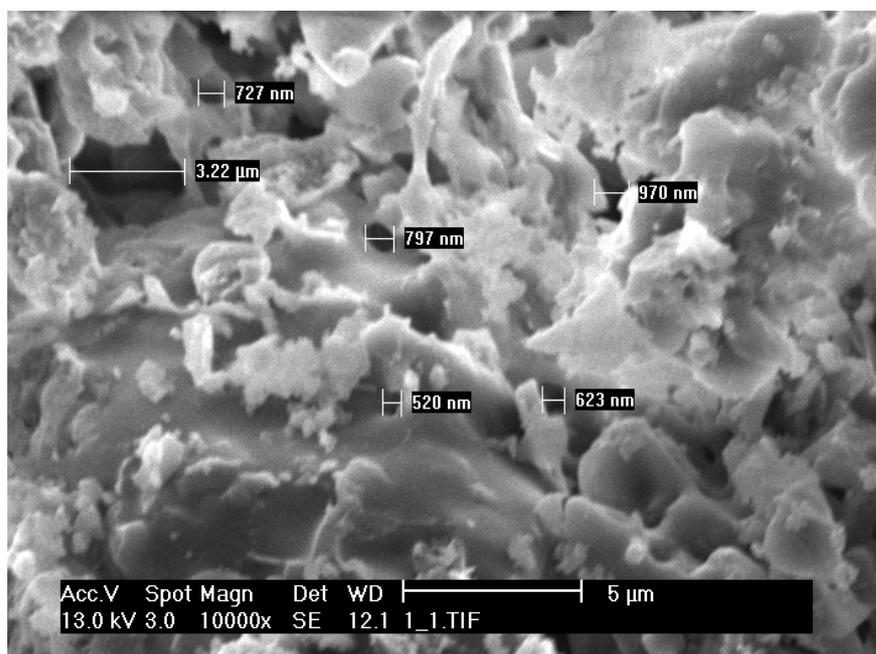


(ข)

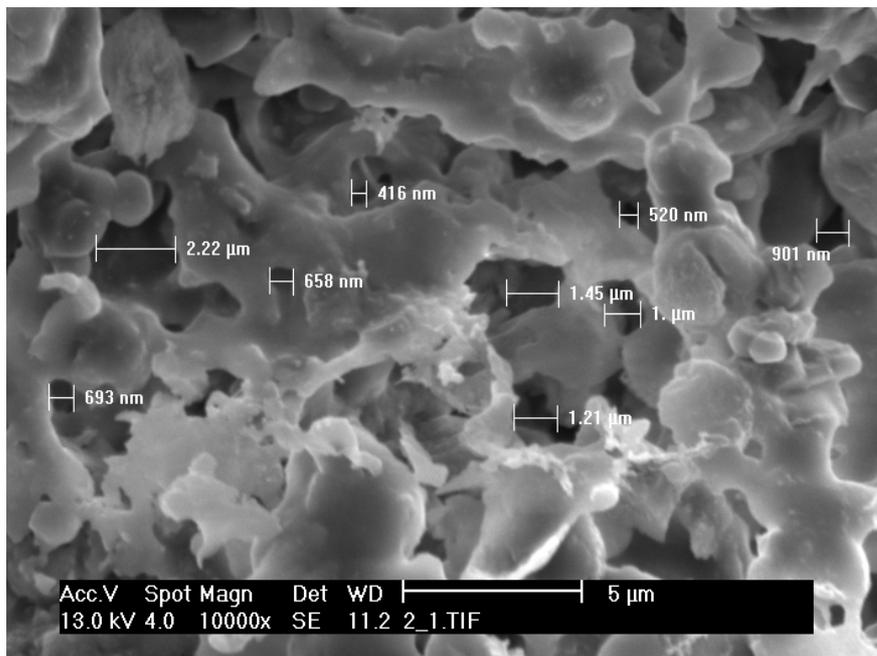
ภาพที่ 25 การติดตั้งระบบกรอง

(ก) โดยใช้ไส้กรองเซรามิก

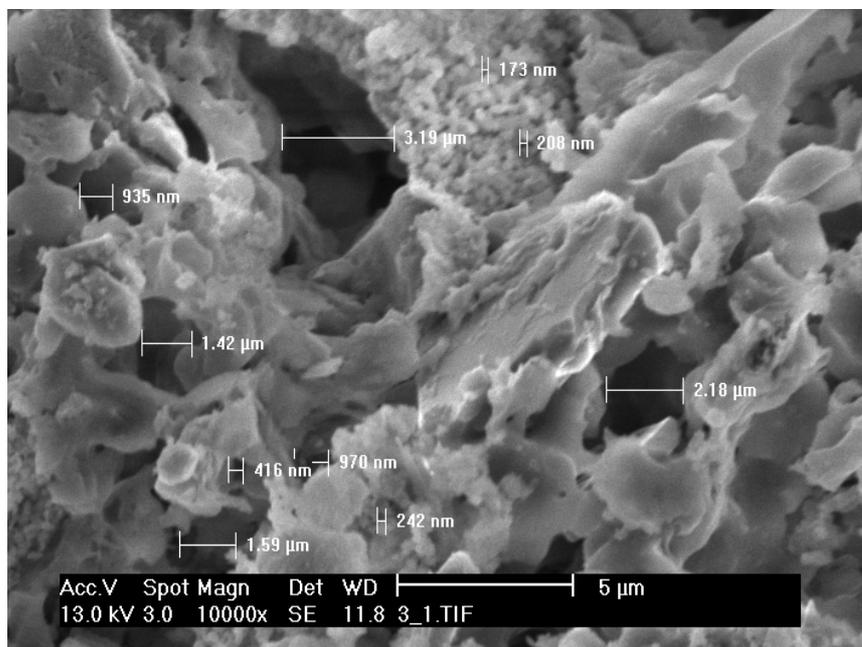
(ข) โดยใช้หัวกรองเซรามิก



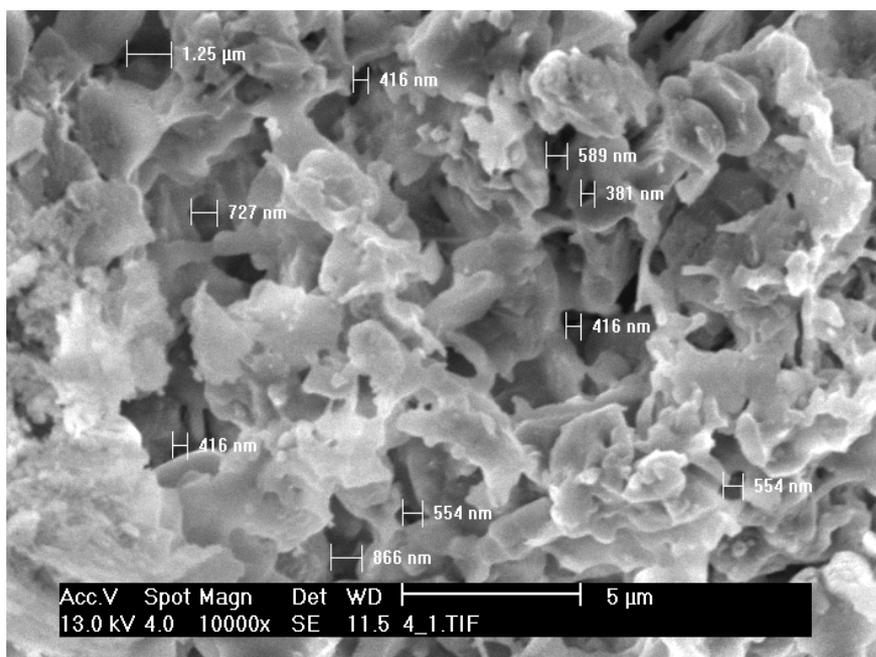
ภาพที่ 26 ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 1 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 27 ภาพถ่ายสักรองเซรามิกในสูตรที่ 2 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

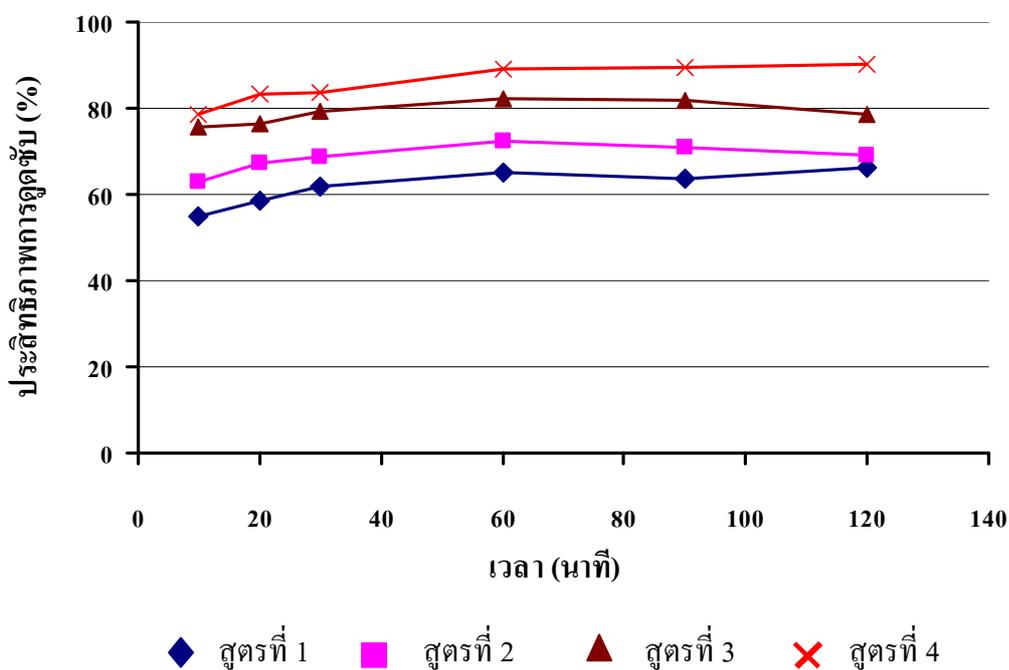


ภาพที่ 28 ภาพถ่ายสักรองเซรามิกในสูตรที่ 3 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

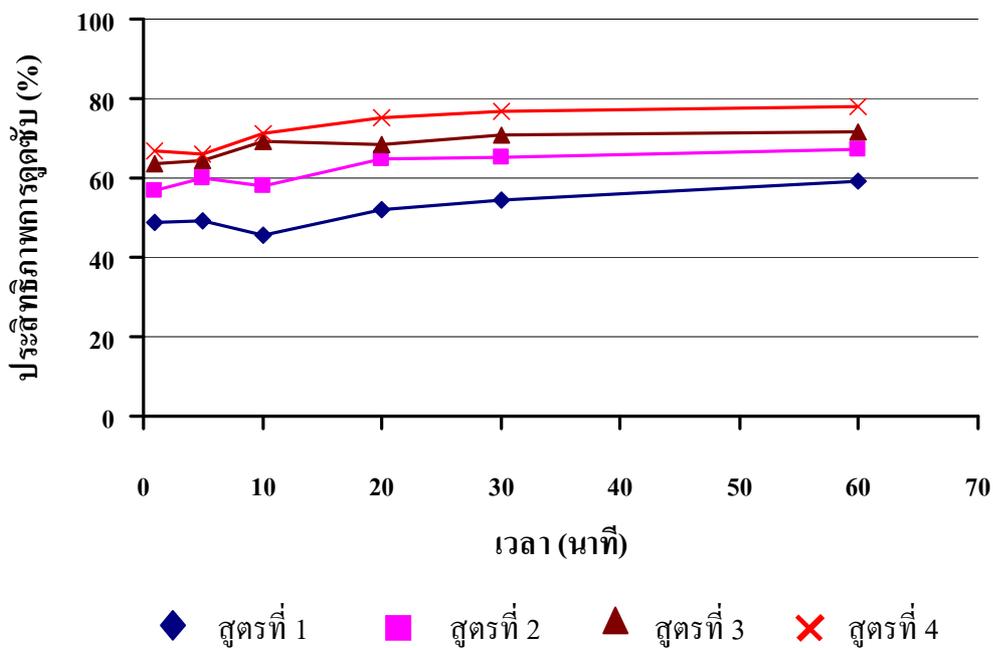


ภาพที่ 29 ภาพถ่ายไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 4 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

พบว่าไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกสูตรที่ 4 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้ดีที่สุด และไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในสูตรที่ 3, 2 และ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงลดลง ตามลำดับ (ภาพที่ 30 และ 31) ทั้งนี้เนื่องจากการผสมผงถ่านลงไป ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก ทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้นตามอัตราส่วนการเติม ซึ่งเมื่อสังเกตจากภาพถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า ไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้ผสมผงถ่าน (ภาพที่ 26) นั้นมีรูพรุนเกิดขึ้นภายในไส้กรองเป็นจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ที่กำลังขยายเท่ากัน โดยพบว่าไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 2, 3 และ 4 ที่ผสมผงถ่านลงไป ในอัตราส่วนต่างๆ นั้น (ภาพที่ 27, 28, 29) ทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นตามอัตราส่วนการเติมผงถ่าน โดยในสูตรที่ 4 ที่มีการผสมผงถ่านลงไป ในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีรูพรุนเกิดขึ้นภายในไส้กรองเซรามิกมากที่สุดเมื่อเทียบกับในสูตรอื่นๆ จึงทำให้ไส้กรองเซรามิกในสูตรที่ 4 มีน้ำไหลผ่านได้ดี และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นจึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่ดีด้วย



ภาพที่ 30 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดงของไส้กรองเซรามิกสูตรต่างๆ



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดงของหัวกรองเซรามิกสูตรต่างๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของผงไดอะทอมไมต์และผงดินขาวลำปาง พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของผงไดอะทอมไมต์และผงดินขาวลำปางที่ยังไม่เผามีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้ใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักทองแดงของผงไดอะทอมไมต์และผงดินขาวลำปางที่เผา ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 1-4 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพลดลงตามช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้น ในการใช้งานเป็นตัวกรองเซรามิกที่ต้องขึ้นรูปแบบเม็ดควรเผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อความคงทนของตัวกรองและยังรักษาประสิทธิภาพในการดูดซับนั้นไว้ อัตราส่วนผสมของไดอะทอมไมต์ต่อดินขาวลำปางที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นด้วย เพื่อเป็นการประหยัดวัตถุดิบไดอะทอมไมต์และเพื่อความแข็งแรงจึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:1 ผลการเผาเซรามิกผสมไดอะทอมไมต์ที่อุณหภูมิ 500, 800 และ 970 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิสูงทำให้อุณหภูมิของดินจัดเรียงตัวกันแน่นน้ำซึมผ่านได้ยาก จึงควรเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดี เมื่อใช้เซรามิกผสมไดอะทอมไมต์อัตราส่วนร้อยละ 50 เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทดสอบการดูดซับโลหะหนักพบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่ต่างกันพิจารณาจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ทองแดง สังกะสี แคดเมียม และนิกเกิล คือประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 81.65, 76.63, 66.90 และ 44.30 ตามลำดับ ผลการทดสอบความเป็นไปได้ในการฟื้นฟูสภาพตัวกรองเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ พบว่า เมื่อทำการฟื้นฟูสภาพตัวกรองแบบเม็ดโดยใช้กรด HCl และ H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 ทำให้ตัวกรองแบบเม็ดมีสภาพที่แตกย่อย เป็นผง ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนของกรด และประสิทธิภาพการดูดซับหลังการฟื้นฟูสภาพลดลงไปมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้งานซ้ำ การขึ้นรูปไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก พบว่าการผสมผงถ่านในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละสูตรทำให้น้ำหนักของไส้กรองเซรามิก และหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรนั้นแตกต่างกันโดยในสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้ผสมผงถ่านนั้นมีน้ำหนักมากที่สุด ส่วนสูตรที่ 4 ที่ผสมผงถ่านในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีน้ำหนักเบาที่สุด เนื่องจากผงถ่านเป็นตัวที่ช่วยเพิ่มความพรุนตัวแก่ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก ดังนั้นจึงทำให้ไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกในแต่ละสูตรนั้นมีน้ำหนักไม่เท่ากัน ประสิทธิภาพในการดูดซับของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก พบว่า ในอัตราส่วนผสมของสูตรที่ 4 คือ ผสมผงถ่านลงไปในอัตราส่วนร้อยละ 35 มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักทองแดงได้ดีกว่าสูตรอื่นๆ ที่ผสมผงถ่านน้อยกว่าและที่ไม่ได้ผสมผงถ่าน ทั้งนี้

เนื่องจากการผสมผงถ่านลงไปใส่กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก ทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้นตามอัตราส่วนการเติมซึ่งช่วยให้น้ำไหลผ่านได้ดี และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่ดีด้วย

โดยสัดส่วนของส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทำเป็นไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกคือ ไคอะทอไมต์ : ดินขาวลำปาง : อะลูมิเนียมออกไซด์ : โคลโลไมต์ : ผงถ่าน คิดเป็นร้อยละ 29.25 : 3.25 : 22.75 : 9.75 : 35 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ดังนั้นจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางมาใช้เป็นวัสดุสำหรับดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย โดยในการศึกษานี้ทำการศึกษาโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี จึงควรมีการศึกษาการใช้ไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางมาใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักชนิดอื่นๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับและยังสามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนักชนิดนั้นในอนาคต และควรมีการทดสอบอายุการใช้งานของไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิก เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับเปลี่ยนการใช้งานไส้กรองเซรามิกและหัวกรองเซรามิกและเพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2552. คำมาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.htm, 23 มิถุนายน 2552.

กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2551. การสำรวจและวิจัยคุณสมบัติของดินเบาลำปาง เพื่องานทางด้านสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: www.dmr.go.th/librely/1774, 15 มีนาคม 2551.

ชฎาภรณ์ บุญแท้. 2545. การดูดซับโลหะบางชนิดด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ซัชฎาพร ่องอาจ. 2545. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากต้นมันสำปะหลัง ใบสับปะรด และกาบมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยศรี ไชยวุฒิ. 2543. การเตรียมไดอะทอมไมต์เป็นสารช่วยกรอง. แหล่งที่มา: www.grad.cmu.ac.th/abstract/2000/sci07016.html, 12 กุมภาพันธ์ 2552.

นริศรา จิตโสภณ. 2547. การปนเปื้อนของโลหะหนักในเนื้อเยื่อหอยแมลงภู่มุบริเวณอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปวีตรา ประจักษ์กะตา และ วัลยา ศิริทัพ. 2549. การพัฒนาตัวกลางในการกรองจากไดอะทอมไมต์สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการชุบโลหะ. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒนา มุลพฤกษ์. 2546. อนามัยสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์บริษัทชิกม่าดีไซน์กราฟฟิกจำกัด, กรุงเทพฯ.

- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2541. **เนื้อดินเซรามิก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ไขพกา เพียรศรีวัชรก. 2537. **ความเป็นไปได้ในการนำตะกอนโลหะหนักมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตกระเบื้องดินเผาปูพื้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิทธิชัย ต้นชนะสฤณี. 2528. **พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม**. โครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุดา วุ่นพันธ์. 2545. **การเตรียมตัวพองตัวของจากไดอะทอมไมต์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9. 2534. **พิษสังกะสี**. เอกสารโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: www.dpc9.ddc.moph.go.th, 8 กรกฎาคม 2552.
- อรรวรรณ กิมภากรณ์ และอภิรักษ์ ชัยเสนา. 2544. **การปรับปรุงคุณภาพดินเบาจากแหล่งแม่ทะเพื่อใช้ในการดูดซับโลหะหนัก**. แหล่งที่มา: www.rb.ac.th/org/research/rajabbhat/rilp/cs2.html, 12 กุมภาพันธ์ 2552.
- อภิชาติ โพธิ์สุ. 2536. **ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำเลย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. 2543. **วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- Al-degs, Y., M. A. M. Khraisheh and M. F. Tutunji. 2001. Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite. **Wat. Res.** 35 (15): 3724-3728.
- Alkan, M. and E. Dogan. 2001. Adsorption of Copper(II) onto perlite. **J. Colloid Interface Sci.** 243: 280-291.

- Benguella, B. and H. Bennaissa. 2002. Cadmium removal from aqueous solution by chitin kinetic and equilibrium studies. **Wat. Res.** 36: 2463-2474.
- Berman, F. 1980. **Heavy Metal Analysis in the River Tigris**. Copper in toxic metals and their analysis chapter 12. 88100. Heyden son LTD., London. Available Source: <http://gis.esri.com/geography/wssd/projects2002/pdf/1289project.pdf>, March 20, 2008.
- Erdal, O. 2007. Natural diatomite process for removals of radioactivity from liquid waste. **Applied Radiation and Isotopes** 65: 17-20.
- Erdem, E., G. Colgecen and R. Donat. 2005. The removal of textile dyes by diatomite earth. **Journal of Colloid and Interface Science** 282: 314-319.
- Khraisheh, M. A. M., Y. S. Al-degs and W. A. M. McMinn. 2004. Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite. **Chemical Engineering Journal** 99: 177-184.
- Mathialagan, T. and T. Viraraghavan. 2002. Adsorption of cadmium from aqueous solutions by perlite. **J. Hazard. Mater.** 2879: 1-13.
- Sahuquillo, A., A. Rigol and G. Rauret. 2003. Overview of the use of leaching extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. **Hydrometallurgy**. 68: 115-124.
- Singh, D.B., D.C. Rupapainwar, G. Prasad and K.C. Jayaprakas. 1998. Studies on the Cd(II) removal from water by adsorption. **J. Hazard. Mater.** 60: 29-40.
- Tee, W.T. and R.M. Khan. 1988. Removal of lead cadmium and zinc by waste tea leave. **Env. Tech.** 9: 1223-1232.

Viraraghavan, T. and A. K. R. Ganesh. 1991. Adsorption of cadmium and chromium from wastewater by flyash. **J. Environ. Sci. Health, A.** 26 (5): 721-753.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการดูฉบับ โลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการดูดซับของวัตถุคิบไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ไม่ผ่านการเผา และผ่านการเผาในช่วงเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ปริมาณของวัตถุคิบ 2 กรัม ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิตร เขย่าที่ 220 รอบต่อนาที

ระยะเวลาในการเผา (ชั่วโมง)	เวลาในการสัมผัส (นาที)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)	
		ไคอะทอไมต์	ดินขาวลำปาง	ไคอะทอไมต์	ดินขาวลำปาง
ไม่เผา	1	0.224	0.249	88.80	87.55
	5	0.222	0.250	88.90	87.50
	10	0.226	0.251	88.70	87.45
	15	0.229	0.263	88.55	86.45
1	1	0.223	0.248	88.85	87.86
	5	0.227	0.247	88.65	87.65
	10	0.224	0.249	88.80	87.55
	15	0.227	0.245	88.65	87.75
2	1	0.229	0.255	88.55	87.25
	5	0.228	0.258	88.60	87.10
	10	0.227	0.254	88.65	87.30
	15	0.229	0.314	88.55	84.30
3	1	0.231	0.471	88.45	76.45
	5	0.230	0.391	88.50	80.45
	10	0.227	0.359	88.65	82.05
	15	0.230	0.380	88.50	81.00
4	1	0.231	0.518	88.45	74.10
	5	0.233	0.543	88.35	72.85
	10	0.231	0.498	88.45	75.10
	15	0.235	0.619	88.25	69.05

ตารางผนวกที่ ก2 ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไคอะทอไมต์และดินขาวลำปางที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ด เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในปริมาณ 15 กรัม ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าที่ 220 รอบต่อนาที

อัตราส่วน ไคอะทอไมต์: ดินขาวลำปาง	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการ ดูดซับ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
30	0.854	0.847	0.888	0.863	56.85
40	0.723	0.702	1.023	0.816	59.20
50	0.767	0.774	0.863	0.801	59.95
60	0.793	0.823	0.680	0.765	61.75
70	0.756	0.757	0.756	0.756	62.20

ตารางผนวกที่ ก3 ผลของอุณหภูมิในการเผาเซรามิกที่เหมาะสม โดยใช้เซรามิกผสมไคอะทอไมต์ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในปริมาณ 15 กรัม ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าที่ 220 รอบต่อนาที

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการ ดูดซับ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
500	0.405	0.391	0.481	0.426	78.70
800	1.192	1.204	1.168	1.188	40.60
970	1.383	1.302	1.340	1.342	32.90

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการดูดซับโลหะหนักแคดเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี ของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในปริมาณ 15 กรัม ต่อสารละลายน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าที่ 220 รอบต่อนาที

โลหะหนัก	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ทองแดง	0.408	0.368	0.324	0.367	81.65
สังกะสี	0.781	0.645	0.676	0.701	76.63
แคดเมียม	0.613	0.649	0.724	0.662	66.90
นิกเกิล	1.122	1.112	1.109	1.114	44.30

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการฟื้นฟูสภาพของเซรามิกผสมไดอะทอไมต์ ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกรองแบบเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 เผาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในปริมาณ 15 กรัม โดยใช้กรด HCl และกรด H₂SO₄ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 เขย่าที่ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

ความเข้มข้นของกรด (ร้อยละ)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ประสิทธิภาพการดูดซับ (ร้อยละ)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
5% HCl	1.717	1.559	1.753	1.676	16.20
10% HCl	1.321	1.338	1.286	1.315	34.25
5% H ₂ SO ₄	1.822	1.640	1.526	1.663	16.85
10% H ₂ SO ₄	1.239	1.125	1.285	1.216	39.20

ตารางผนวกที่ 6 ผลการดูดซับโลหะหนักทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 อัตราการไหลของน้ำที่ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และเก็บตัวอย่างน้ำเสียตามเวลา 10, 20,30, 60, 90 และ 120 นาที ของไส้กรองเซรามิก

สูตรที่	เวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ร้อยละการดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	10	0.977	0.865	0.861	0.901	54.95
	20	0.839	0.830	0.826	0.832	58.40
	30	0.769	0.759	0.753	0.760	62.00
	60	0.706	0.697	0.693	0.699	65.05
	90	0.734	0.724	0.727	0.728	63.60
	120	0.682	0.680	0.673	0.678	66.10
2	10	0.741	0.740	0.736	0.739	63.05
	20	0.660	0.658	0.655	0.658	67.10
	30	0.625	0.618	0.623	0.622	68.90
	60	0.550	0.546	0.554	0.550	72.50
	90	0.587	0.582	0.580	0.583	70.85
	120	0.631	0.609	0.606	0.615	69.25
3	10	0.464	0.486	0.514	0.488	75.60
	20	0.454	0.484	0.483	0.474	76.30
	30	0.409	0.414	0.426	0.416	79.20
	60	0.347	0.365	0.366	0.359	82.05
	90	0.350	0.364	0.365	0.360	82.00
	120	0.420	0.429	0.431	0.427	78.65
4	10	0.333	0.626	0.338	0.432	78.40
	20	0.317	0.337	0.352	0.335	83.25
	30	0.315	0.324	0.340	0.326	83.70
	60	0.212	0.216	0.224	0.217	89.15
	90	0.199	0.218	0.225	0.214	89.30
	120	0.190	0.198	0.206	0.198	90.10

ตารางผนวกที่ ก7 ผลการดูดซับโลหะหนักทองแดงที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 อัตราการไหลของน้ำที่ 200 มิลลิลิตรต่อนาที และเก็บตัวอย่างน้ำเสียตามเวลา 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที ของหัวกรองเซรามิก

สูตรที่	เวลาที่เก็บ ตัวอย่าง (นาที)	ความเข้มข้นที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	ร้อยละการ ดูดซับ (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	1	1.018	1.027	1.025	1.023	48.85
	5	0.985	0.991	1.068	1.015	49.25
	10	1.097	1.117	1.038	1.084	45.80
	20	0.946	0.961	0.969	0.959	52.05
	30	0.905	0.914	0.916	0.912	54.40
	60	0.809	0.824	0.825	0.819	59.05
2	1	0.765	0.911	0.925	0.867	56.65
	5	0.743	0.742	0.914	0.800	60.00
	10	0.678	0.921	0.930	0.843	57.85
	20	0.696	0.704	0.705	0.702	64.90
	30	0.684	0.695	0.710	0.696	65.20
	60	0.574	0.684	0.711	0.656	67.20
3	1	0.679	0.807	0.691	0.726	63.70
	5	0.617	0.694	0.812	0.708	64.60
	10	0.439	0.697	0.712	0.616	69.20
	20	0.556	0.666	0.679	0.634	68.30
	30	0.542	0.668	0.540	0.583	70.85
	60	0.513	0.519	0.674	0.569	71.55
4	1	0.575	0.702	0.706	0.661	66.95
	5	0.664	0.671	0.711	0.682	65.90
	10	0.625	0.669	0.440	0.578	71.10
	20	0.397	0.419	0.667	0.494	75.30
	30	0.361	0.359	0.671	0.464	76.80
	60	0.332	0.669	0.323	0.441	77.95

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ไอโซโทมการดูดซับโลหะหนัก

วิธีการวิเคราะห์

1. วิธีการวิเคราะห์ Equilibrium Sorption Time

1. ชั่งไคอะทอไมต์หนัก 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายน้ำเสียปริมาตร 20 มิลลิลิตร
2. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120, 240, 480, 960 และ 1,440 นาที
3. คึงตัวอย่างของแต่ละช่วงเวลาออกมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง whatman no. 4
4. บันทึกปริมาตรสารละลายที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักที่เหลือด้วย AAS
5. Plot graph ของ Equilibrium Sorption Time

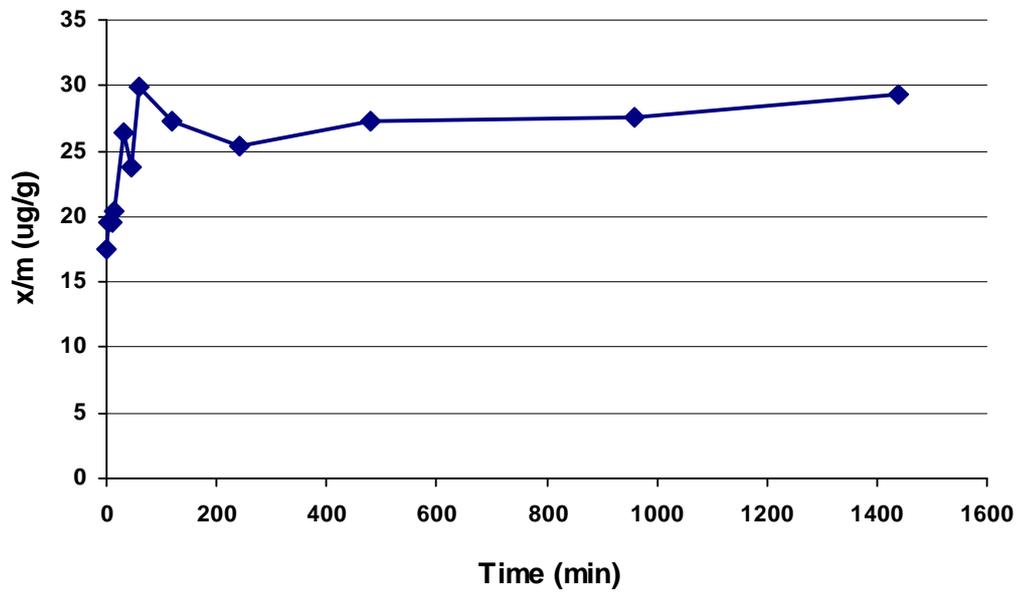
2. วิธีการวิเคราะห์ Adsorption

1. ชั่งไคอะทอไมต์หนัก 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วเติมสารละลายน้ำเสียที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
2. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ 220 รอบต่อนาที ตามเวลาที่ได้จาก Equilibrium Sorption Time
3. นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง whatman no. 4
4. เก็บไคอะทอไมต์ที่อยู่ในขวดไว้วิเคราะห์ Desorption ต่อ
5. บันทึกปริมาตรสารละลายที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักที่เหลือด้วย AAS
6. Plot graph ของ Equilibrium Adsorption Isotherm

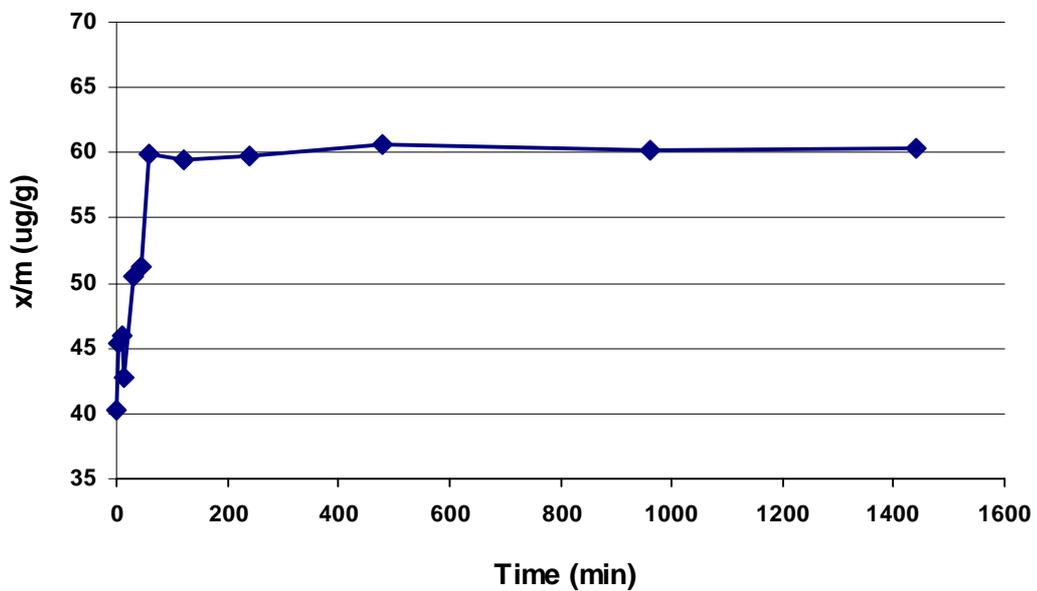
3. วิธีการวิเคราะห์ Desorption

1. นำไคอะทอไมต์ที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาเติมน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำไปเข้าเครื่องเขย่าที่ 220 รอบต่อนาที ตามเวลาที่ได้จาก Equilibrium Time Sorption
3. นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง whatman no. 4
4. บันทึกปริมาตรสารละลายที่ได้ และวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักที่เหลือด้วย AAS
5. Plot graph ของ Equilibrium Desorption Isotherm

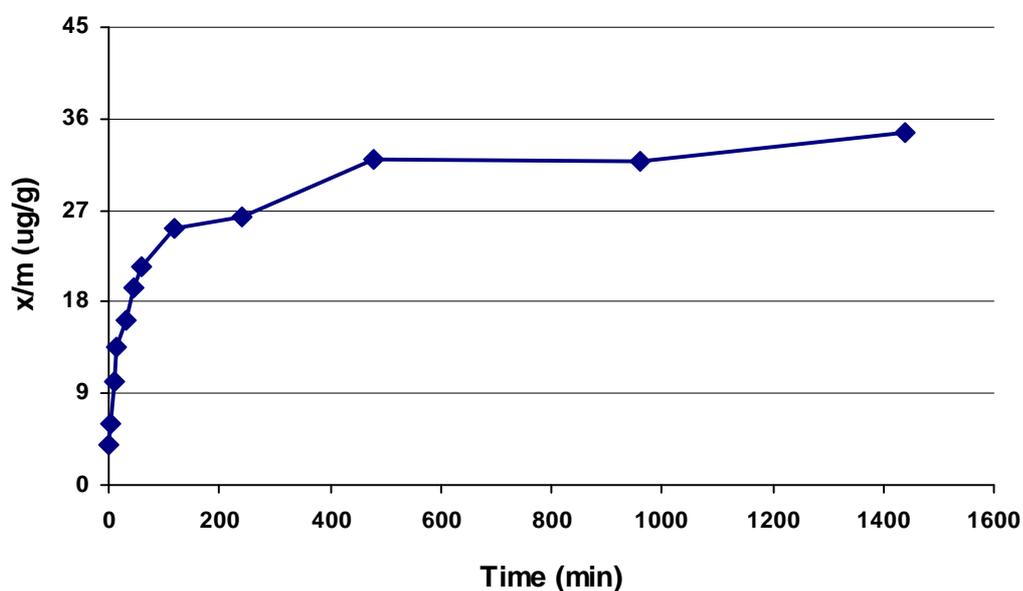
ผลการวิเคราะห์ Equilibrium Sorption Time



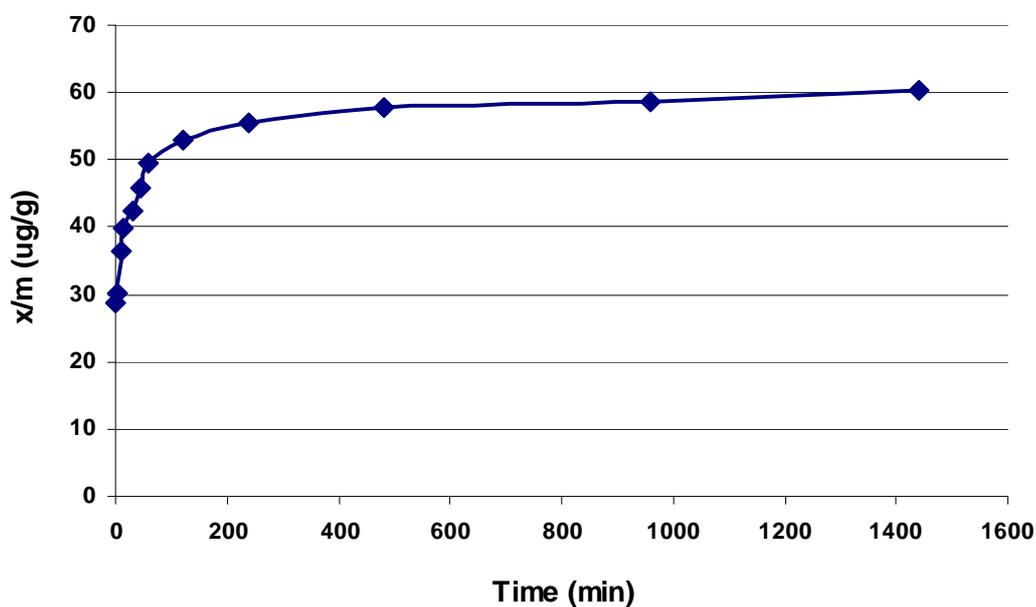
ภาพผนวกที่ ข1 Equilibrium Sorption Time ของโล่ห์หนักทองแดง



ภาพผนวกที่ ข2 Equilibrium Sorption Time ของโล่ห์หนักแคดเมียม



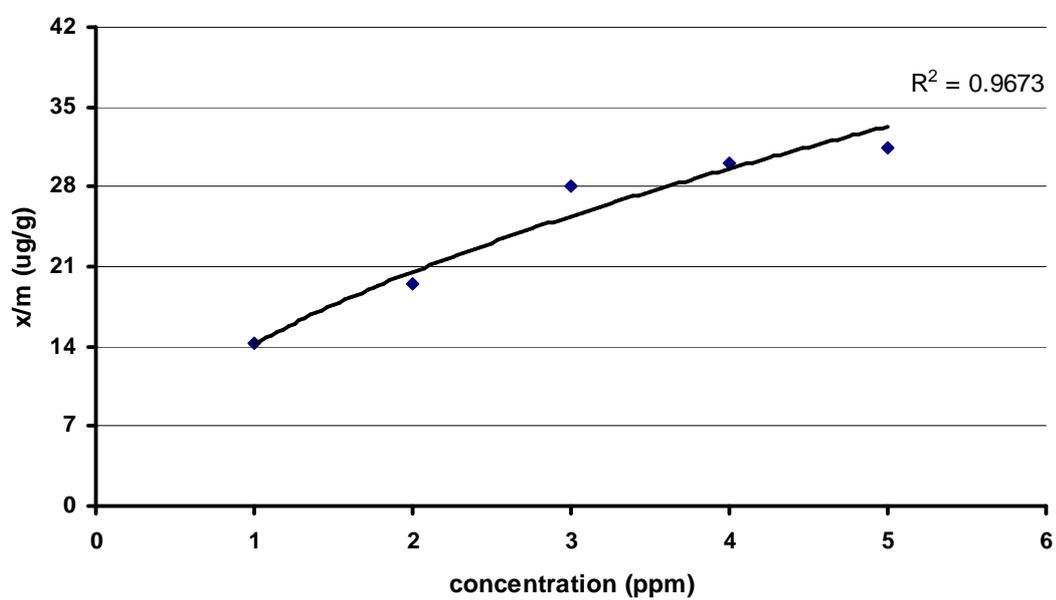
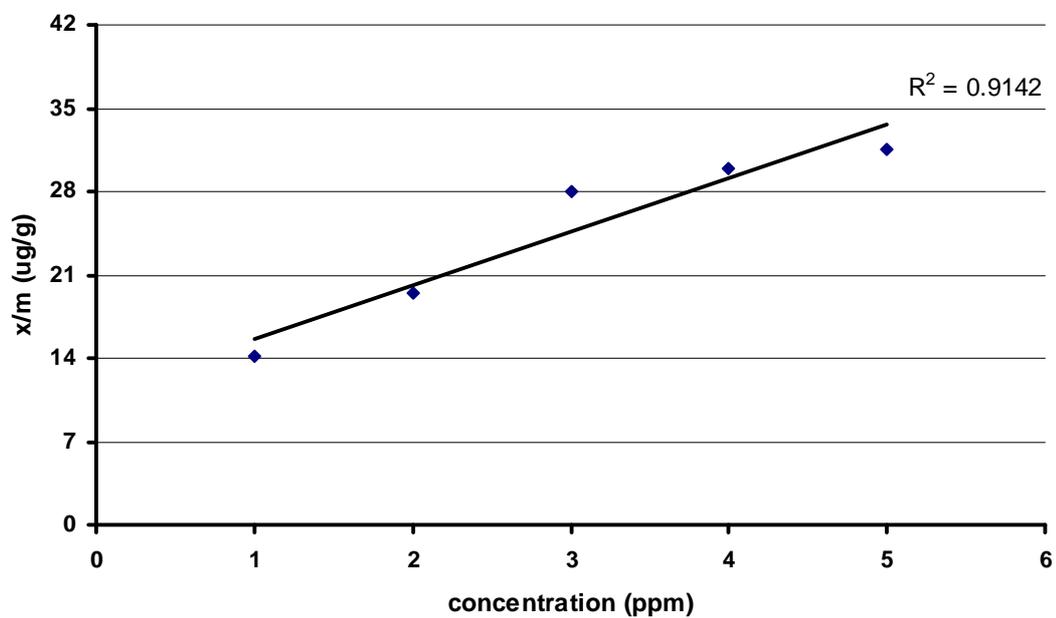
ภาพผนวกที่ ๓ Equilibrium Sorption Time ของโลหะหนักนิกเกิล



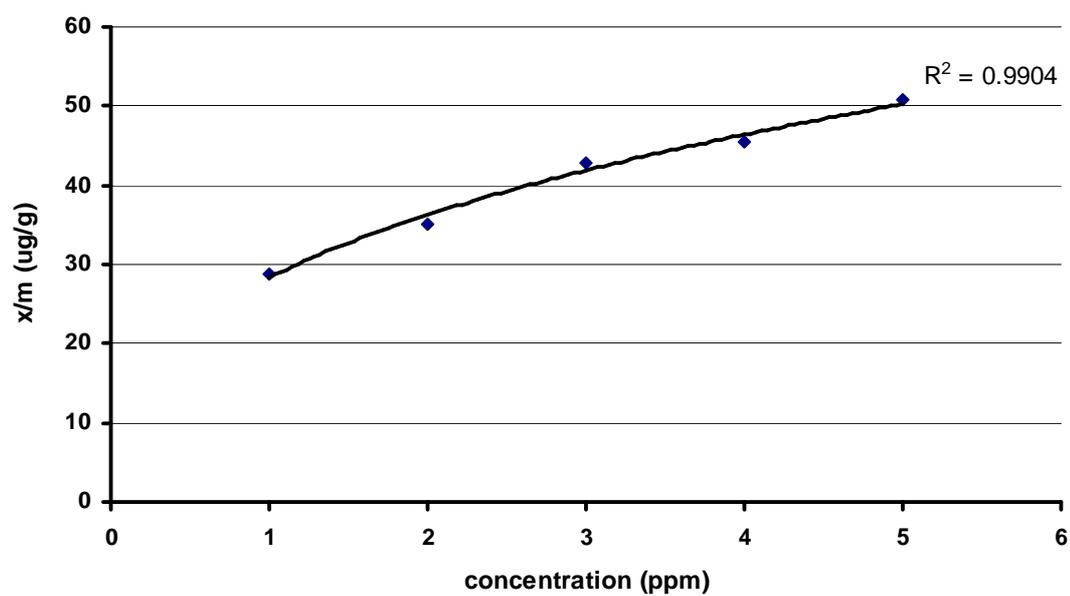
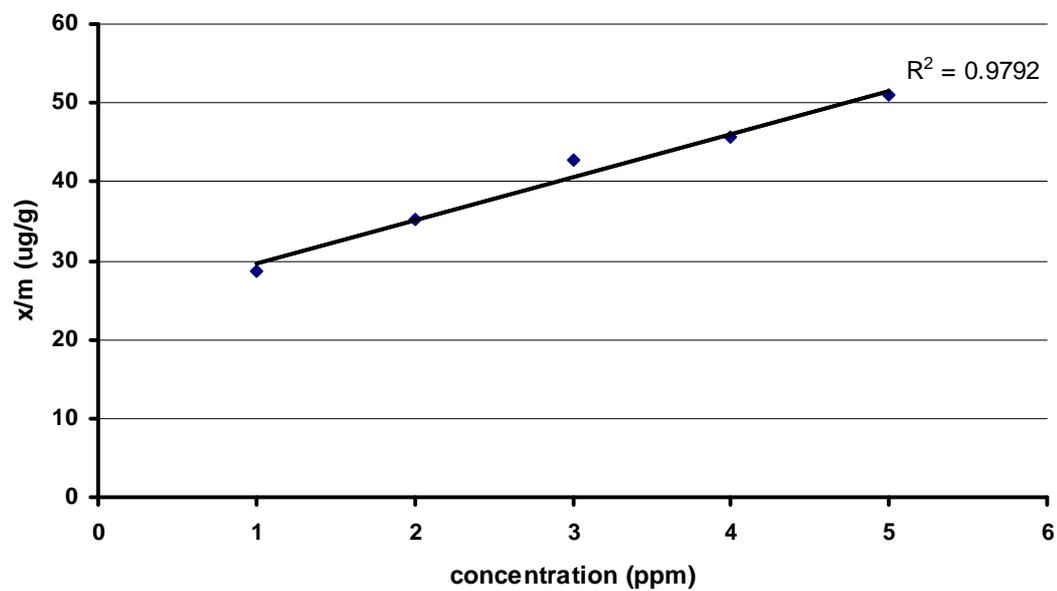
ภาพผนวกที่ ๔ Equilibrium Sorption Time ของโลหะหนักสังกะสี

ผลการทดสอบ Equilibrium Sorption Time ของโลหะหนักทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี พบว่า มีค่า Equilibrium Sorption Time ที่เหมาะสมคือ 60, 60, 480 และ 480 นาที ตามลำดับ จึงใช้ค่า Equilibrium Sorption Time ที่เหมาะสมนี้ทดสอบ Adsorption และ Desorption ของโลหะหนักแต่ละชนิดต่อไป

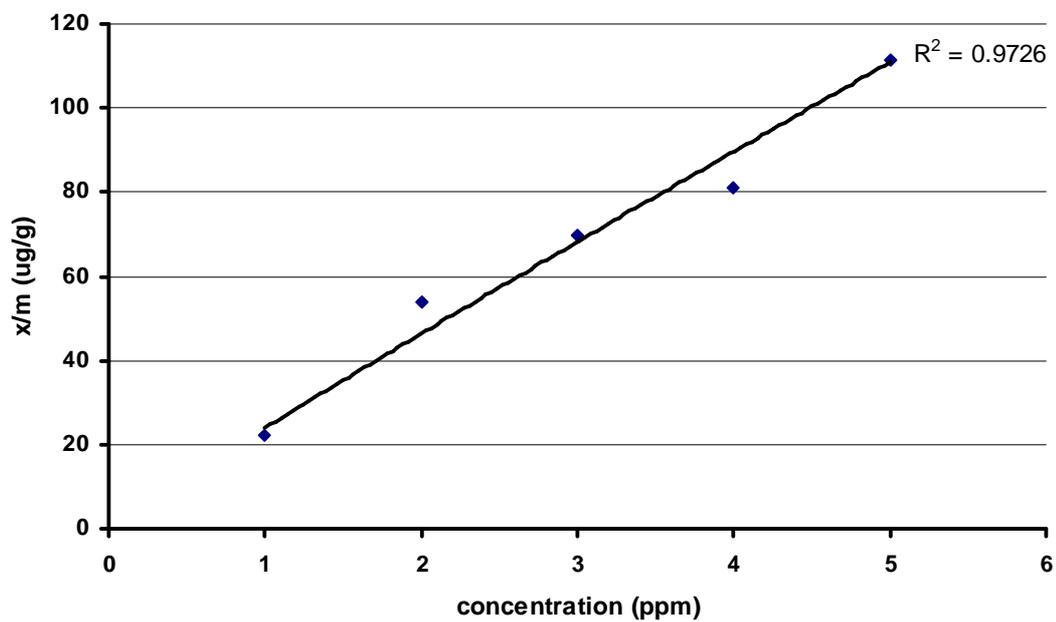
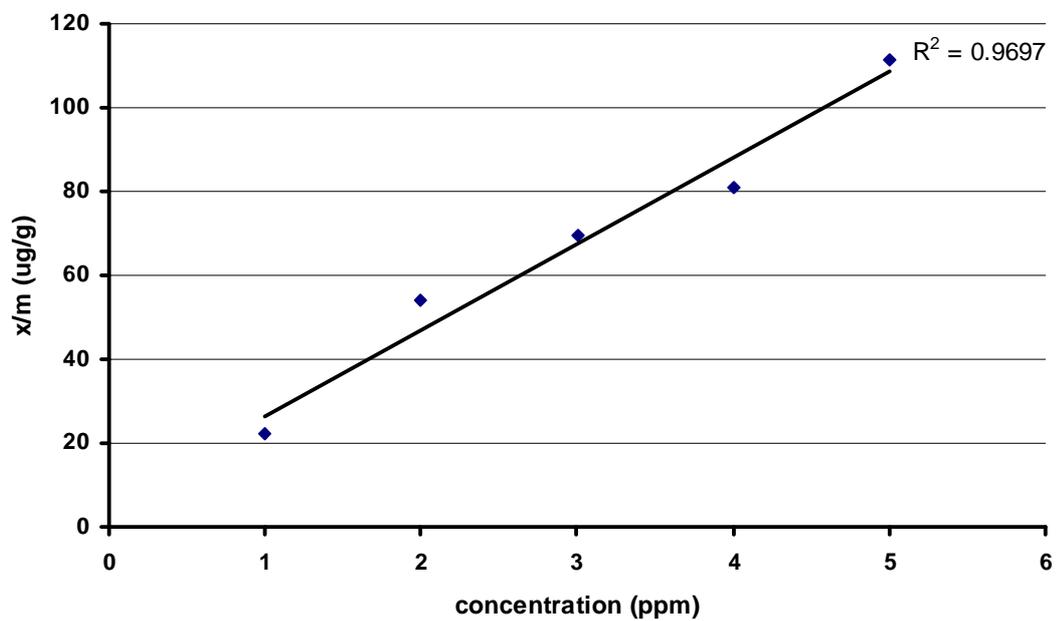
ผลการวิเคราะห์ Equilibrium Adsorption Isotherm



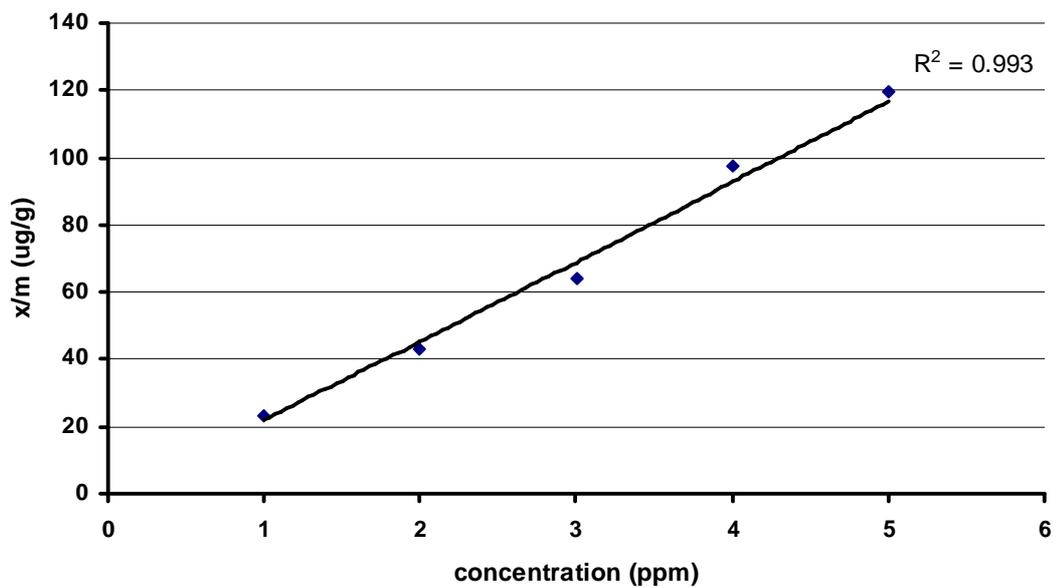
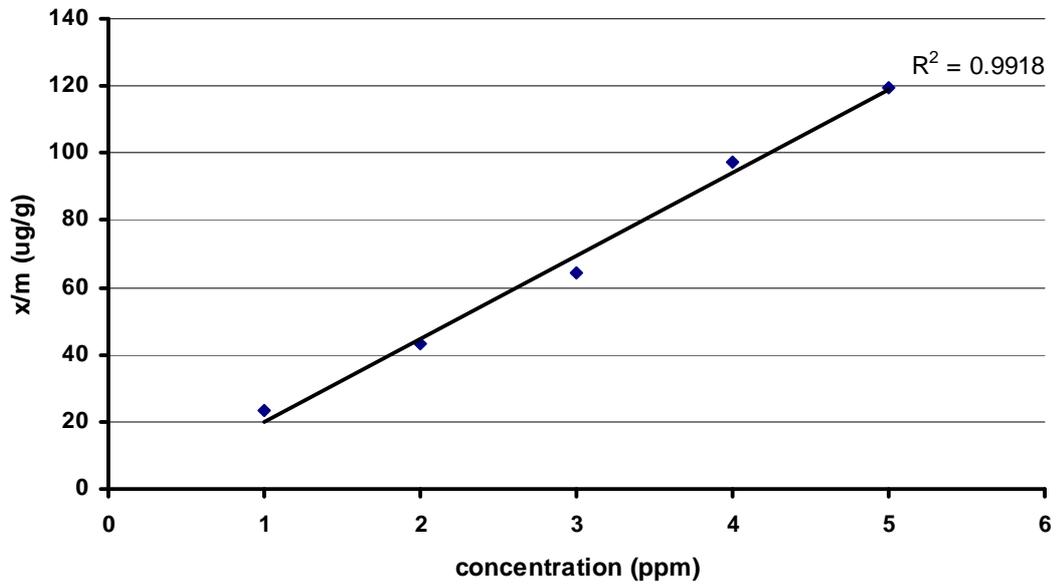
ภาพผนวกที่ ๕ Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักทองแดง



ภาพผนวกที่ ๖ Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักแคดเมียม



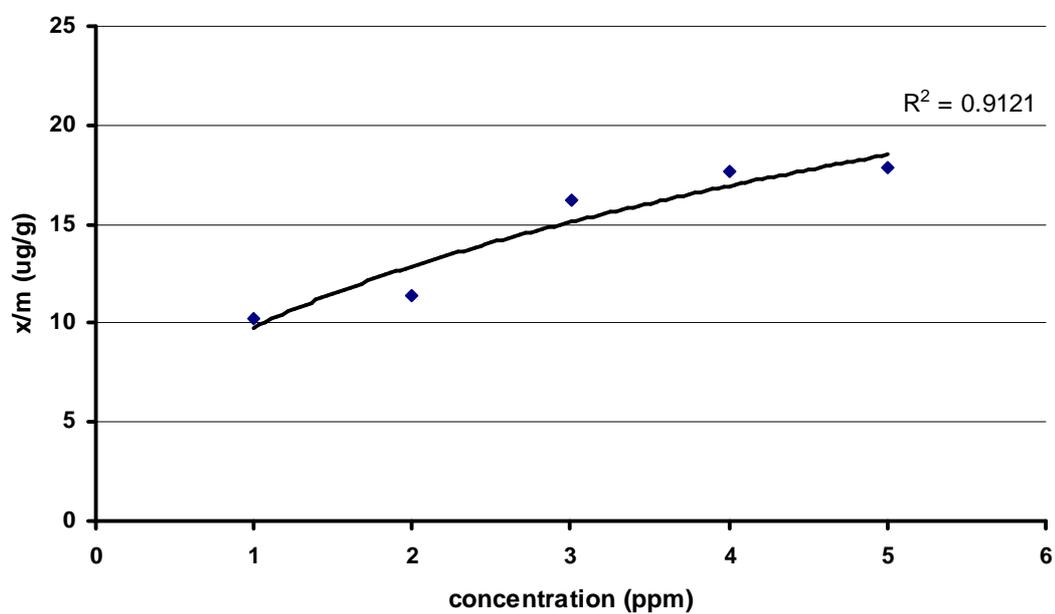
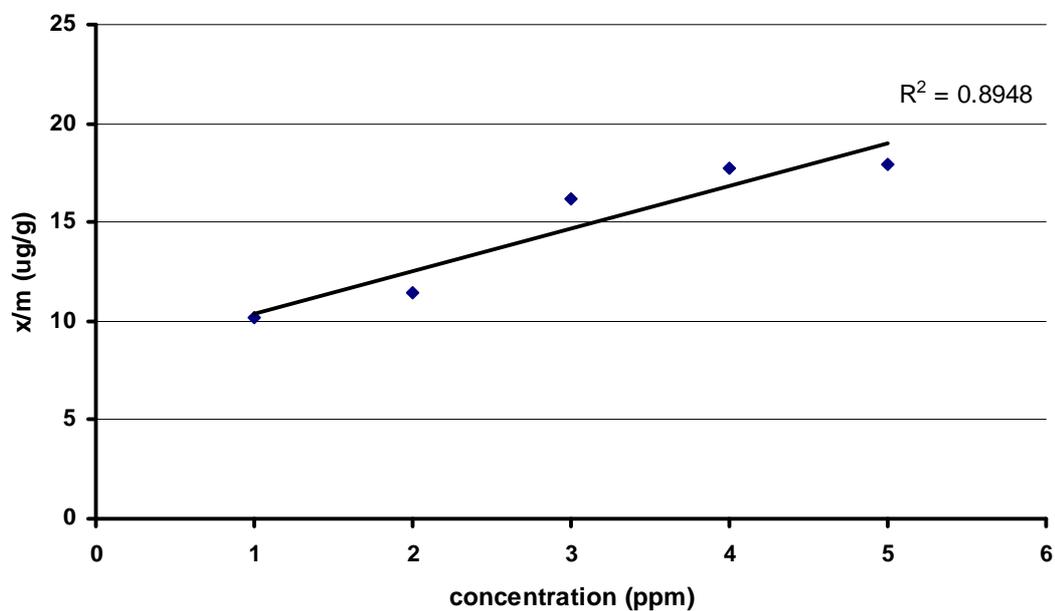
ภาพผนวกที่ ๗ Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักนิกเกิล



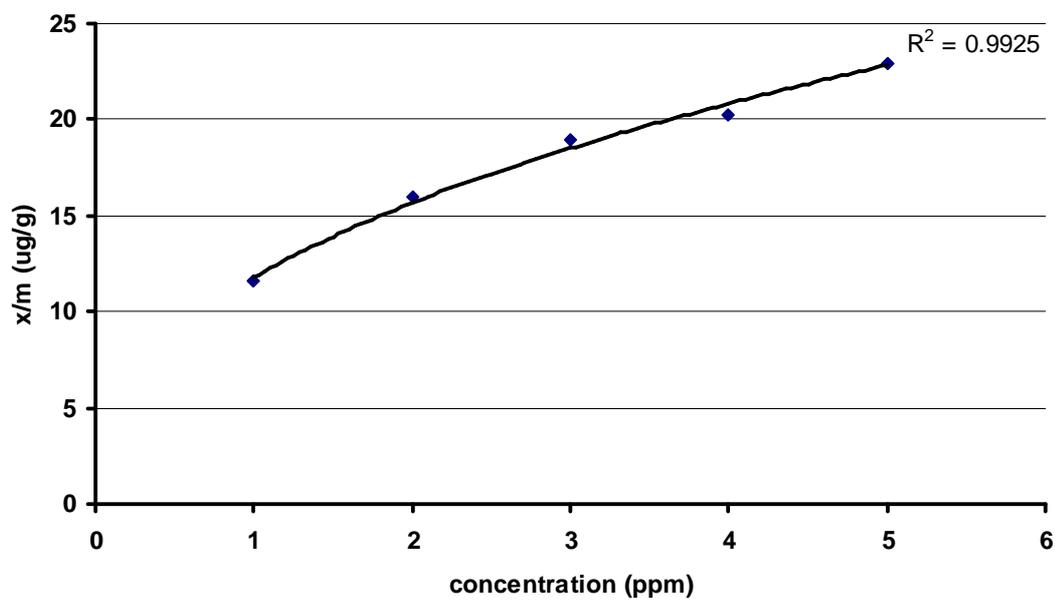
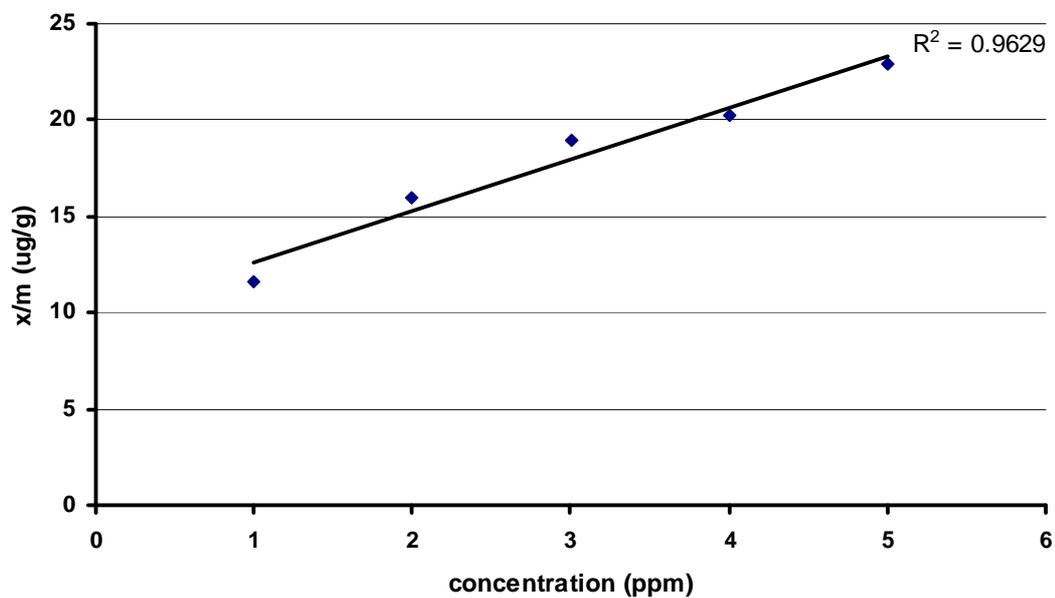
ภาพผนวกที่ ข8 Equilibrium Adsorption Isotherm ของโลหะหนักสังกะสี

ผลการทดสอบ Adsorption ของโลหะหนักทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้ค่า Equilibrium Time Sorption ที่เหมาะสมพบว่า เป็นไปตาม Freundlich Isotherm

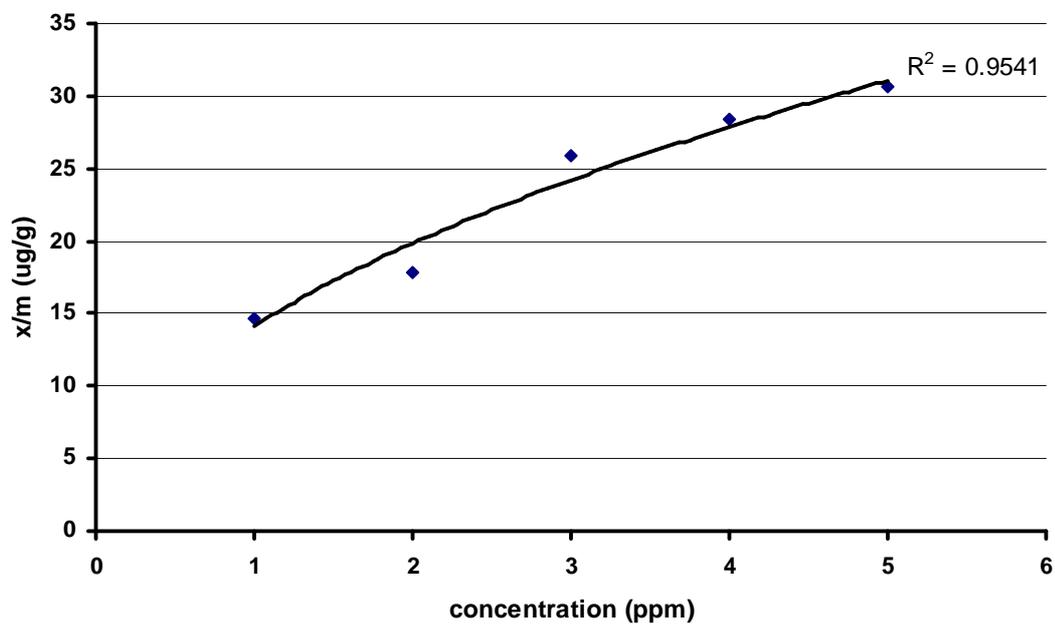
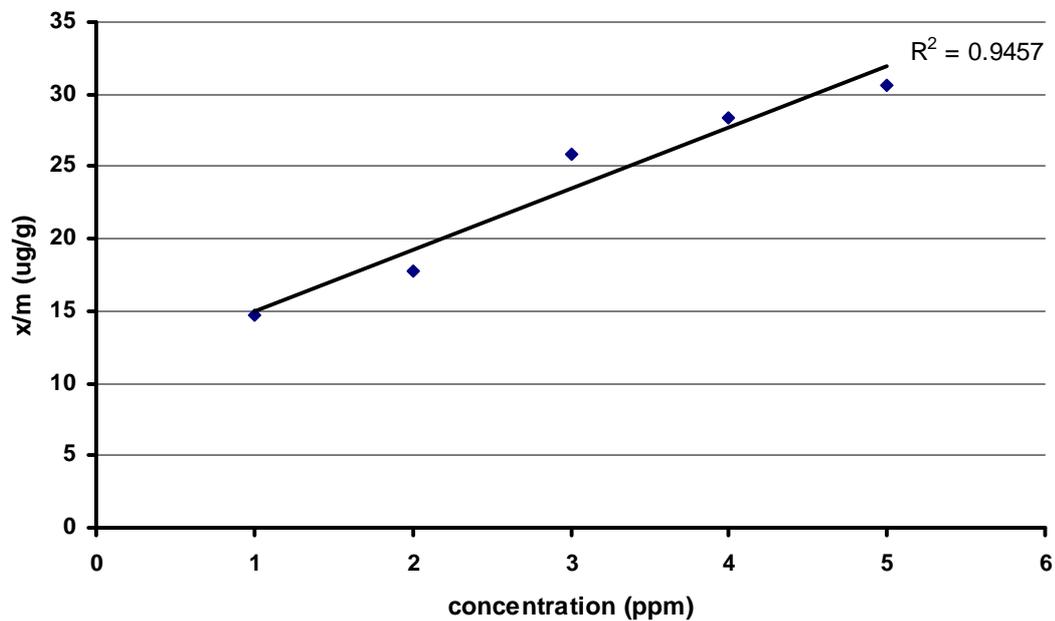
ผลการวิเคราะห์ Equilibrium Desorption Isotherm



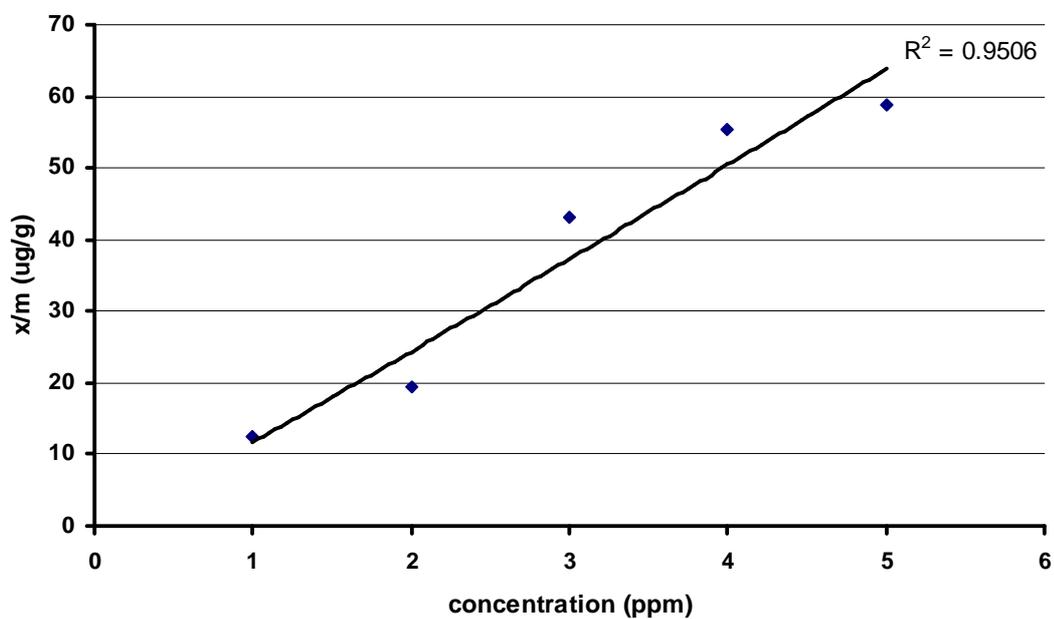
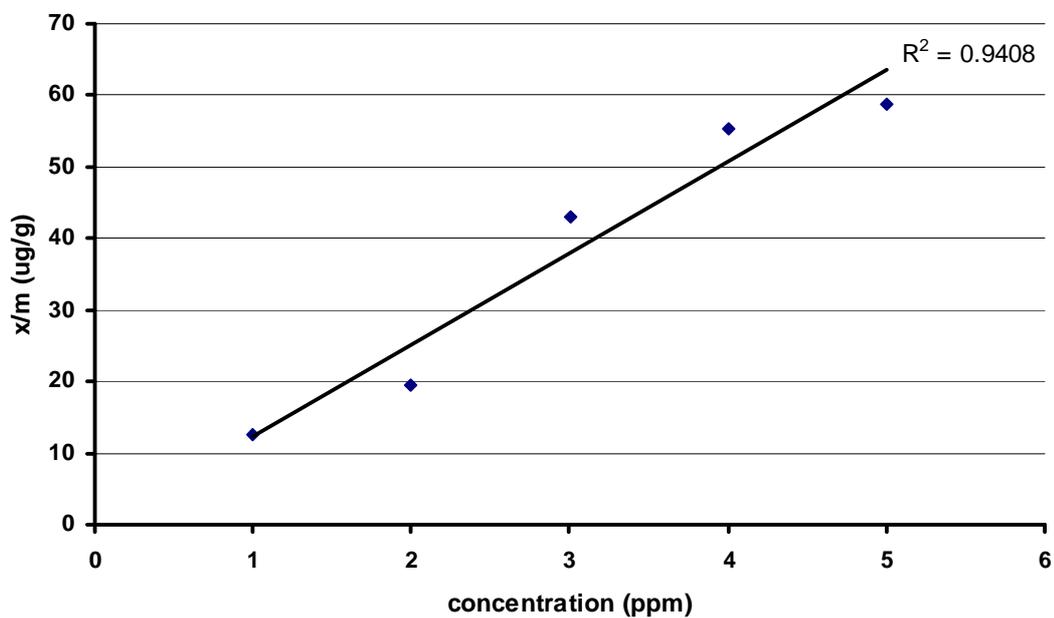
ภาพผนวกที่ ข9 Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักทองแดง



ภาพผนวกที่ ข10 Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักแคดเมียม



ภาพผนวกที่ ข11 Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักนิกเกิล



ภาพผนวกที่ ข12 Equilibrium Desorption Isotherm ของโลหะหนักสังกะสี

ผลการทดสอบ Desorption ของโลหะหนักทองแดง แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้
ค่า Equilibrium Time Sorption ที่เหมาะสมพบว่า เป็นไปตาม Freundlich Isotherm

ภาคผนวก ค

ค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางผนวกที่ ค1 ค่ามาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
(ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3, 2539)

โลหะหนัก	ปริมาณ
สังกะสี	ไม่มากกว่า 5.00 มก./ล.
ทองแดง	ไม่มากกว่า 2.00 มก./ล.
แคดเมียม	ไม่มากกว่า 0.03 มก./ล.
นิกเกิล	ไม่มากกว่า 1.00 มก./ล.
ปรอท	ไม่มากกว่า 0.005 มก./ล.
แบเรียม	ไม่มากกว่า 1.00 มก./ล.
เซเลเนียม	ไม่มากกว่า 0.02 มก./ล.
ตะกั่ว	ไม่มากกว่า 0.20 มก./ล.
แมงกานีส	ไม่มากกว่า 5.00 มก./ล.
อาร์เซนิก	ไม่มากกว่า 0.25 มก./ล.
โครเมียมประจุบวกหก	ไม่มากกว่า 0.25 มก./ล.
โครเมียมประจุบวกสาม	ไม่มากกว่า 0.75 มก./ล.

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2545)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวพัชราภรณ์ สมทรง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 22 กรกฎาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เคมี) มหาวิทยาลัยทักษิณ
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานกับรางวัลทางวิชาการ	นำเสนอผลงานทางวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาในการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 ในวันที่ 19 มีนาคม 2552
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)