

การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา



นางสาวชฎาภรณ์ บุญแท้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2963-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ADSORPTION OF SOME HEAVY METALS FROM WASTE WATER BY
DIATOMACEOUS EARTH



Miss Chadaporn Boontae

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

Inter – Department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2963-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา
โดย นางสาวชฎาภรณ์ บุญแท้
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ไว้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชฎาภรณ์ บุญแท้ : การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา

(ADSORPTION OF SOME HEAVY METALS FROM WASTEWATER BY DIATOMACEOUS EARTH)

อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ; 76 หน้า, ISBN 974-17-2963-4

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ แคดเมียม (ประจุ+2) โครเมียม (ประจุ+3) และ อาร์เซนิก (ประจุ+5) จากน้ำเสียด้วยดินเบา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอชของสารละลาย และ ช่วงเวลาสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ จากการศึกษพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียม คือ ความเข้มข้นของแคดเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 2.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที และ ช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92 % สำหรับการดูดซับโครเมียมสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของโครเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม กับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที และ ช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.82 % จากการศึกษาพบว่าดินเบาไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ทำการศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมาใช้ในการดูดซับ พบว่าสามารถใช้กำจัดอาร์เซนิกได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอาร์เซนิก เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1.0 กรัม กับ ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 เขย่าด้วยอัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที และ ช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.96 %

ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ พบว่า การดูดซับแคดเมียมด้วยดินเบา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช การดูดซับโครเมียมด้วยดินเบา นั้นไม่เป็นไปตามสมการไอโซเทอมของการดูดซับ เนื่องจาก ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา นั้นเกิดจากการตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ และการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์

ผลการทดสอบการคายออกจากผิวของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด โดยวิธี Leaching test พบว่า ปริมาณแคดเมียม และ โครเมียม มีการชะละลายออกมาไม่เกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด แต่ปริมาณอาร์เซนิกที่ชะละลายออกมามีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน

ผลการกำจัด โครเมียม อาร์เซนิก และ ตะกั่ว ในน้ำเสียด้วยจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.23 0.42 และ 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าดินเบา มีประสิทธิภาพในการกำจัดได้มากกว่า 99 %

สหสาขาวิชา _____ วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม _____ ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา _____ วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา _____ 2545 _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4389063720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : HEAVY METALS / DIATOMACEOUS EARTH / ADSORPTION

CHADAPORN BOONTAE : ADSORPTION OF SOME HEAVY METALS FROM WASTEWATER BY DIATOMACEOUS EARTH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 76 pp. ISBN 974-17-2963-4

The adsorption ability of cadmium (II), chromium (III) and arsenic (V) from synthetic wastewater by diatomaceous earth was studied in a batch experiment. The results indicated that concentration of heavy metal, amount of diatomaceous earth, pH and contact time affected the heavy metal removal efficiency. The appropriate conditions for this study were as follow : for cadmium, 40 ppm. of Cd at pH 5, 2.0 grams of diatomaceous earth, 100 rpm. of shaking rate and contact time for 10 hours., and for chromium, 40 ppm. of Cr at pH 4, 1.0 gram of diatomaceous earth, 100 rpm. of shaking rate and contact time for 10 hours. As the results, the removal efficiency was 99.92 % and 99.82 %, respectively. For arsenic, the calcined diatomaceous earth was used, and the condition was as follow : 40 ppm. of As at pH 4, 1.0 gram of calcined diatomaceous earth, 100 rpm. of shaking rate and contact time for 6 hours. The result showed that the removal efficiency was 99.96 %

The adsorption isotherm of cadmium can be described by the Freundlich isotherm. For chromium, the equilibrium was not followed the adsorption isotherm because the removal of chromium is based on the precipitation, and for arsenic, the adsorption isotherm could be described by the Langmuir isotherm.

The results from leaching test showed that concentration of cadmium and chromium in the solution were less than those value of the Ministry of Industry 's standard but concentration of arsenic in the solution was higher than the standard.

In the case of battery factory's wastewater containing chromium, arsenic and lead at 0.23, 0.42 and 5.89 ppm., respectively, more than 99 % of all heavy metals could be removed by diatomaceous earth.

Inter-department... Environmental Science... Student's signature.....

Field of study... Environmental Science... Advisor's signature.....

Academic year... 2002... Coadvisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือรายละเอียดต่างๆในวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุรุษ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม และ รองศาสตราจารย์เปรมจิตย์ แทนสถิตย์ ที่กรุณา ระยะเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ทบวงมหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม และ มูลนิธิชิน โสภณพนิช ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวรรณณา วงษ์สุด เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก

ขอบคุณ คุณชัชวัฒน์ ลีมลิจิตรอักษร คุณเพ็ญภา ตายคราม คุณภัทรดา กุสุวิมล คุณดาลัด เส็นทอง คุณณัฐกานต์ ทองพันธุ์พาน คุณอรวรรณ แก้วลุ่มแฝก และ เพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้และเป็นที่กำลังใจให้เสมอมา

ที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อเพียร คุณแม่ผ่องศรี บุญแท้ และ คุณป้ารวม บุญแท้ ที่ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อภิสิทธิ์เกียรติ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	2
1.2 สมมติฐาน.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 การดูดซับ.....	4
2.1.1 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล.....	5
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	6
2.1.3 สมดุลของการดูดซับ.....	7
2.1.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมีวัวร์.....	8
2.1.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท.....	9
2.1.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช.....	10
2.1.4 การดูดซับโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะ.....	10
2.1.5 กลไกการดูดซับไอออนบวกบนไฮดรอกไซด์.....	11
2.1.6 ประโยชน์ของการดูดซับในทางอุตสาหกรรม.....	14
2.2 โลหะหนัก.....	15
2.2.1 สารหนู.....	15
2.2.2 แคดเมียม.....	16
2.2.3 โครเมียม.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ดินเบา.....	18
2.3.1 กำเนิดดินเบา.....	18
2.3.2 ส่วนประกอบทางเคมี.....	19
2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ.....	19
2.3.4 ประโยชน์ของดินเบา.....	19
2.3.5 แหล่งแร่.....	20
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	29
3.2 สารเคมี.....	29
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย.....	30
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติของดินเบา.....	31
3.4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบา ในการดูดซับอาร์เซนิก แคดเมียม และ โครเมียม.....	31
3.4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย โลหะหนักที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	31
3.4.2.2 การศึกษาปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการ ดูดซับโลหะหนัก.....	32
3.4.2.3 การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ โลหะหนัก.....	32
3.4.2.4 การศึกษาช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับ.....	32
3.4.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ.....	33
3.4.4 การศึกษาการคายออกจากผิวของโลหะทั้ง 3 ชนิด.....	33
3.4.5 การศึกษาการใช้ดินเบากับน้ำเสียจริง.....	34
3.4.6 วิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก ของดินเบากับตัวดูดซับอื่นๆ.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	35
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินเบา	35
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ โลหะหนักด้วยดินเบา.....	39
4.2.1 ผลของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย โลหะหนักที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	39
4.2.2 ผลของปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	42
4.2.3 ผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	45
4.2.4 ผลของช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ.....	51
4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ.....	54
4.4 ผลการศึกษากายออกจากผิวของโลหะทั้ง 3 ชนิด โดยวิธี Leaching test	55
4.5 ผลการศึกษาระสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก ด้วยดินเบาและดินเบาเผากับน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	57
4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนัก ของดินเบากับตัวดูดซับอื่นๆ.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	76

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
1.1 Hazardous Waste Industries.....	1
2.1 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นได้บนพื้นผิวซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่าง หมู่ฟังก์ชันออกไซด์กับตัวถูกละลาย.....	13
3.1 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2 การวิเคราะห์ห้ลักษณะสมบัติของดินเบา.....	30
4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินเบาและ ดินเบาเผา.....	36
4.2 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายอาร์เซนิก ด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	41
4.3 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ.....	41
4.4 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ด้วยดินเบาปริมาณต่างๆ.....	41
4.5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	45
4.6 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ.....	53
4.7 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา.....	54
4.8 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา.....	55
4.9 ผลการศึกษาการคายออกจากผิวของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดโดยวิธี Leaching test	56
4.10 ประสิทธิภาพในการดูดซับของดินเบาและดินเบาเผา กับน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	57
4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบากับซีเถ้าลอย.....	58
4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก ด้วยดินเบาเผากับไคโตรแซน.....	59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดซับ มายังสารดูดซับ	6
2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน	8
2.3 โครงสร้างเมื่อตัดขวางชั้นผิวของออกไซด์ของโลหะ	11
4.1 รูปดินเบาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	37
4.2 รูปดินเบาเผาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	37
4.3 รูปดินเบา	38
4.4 รูปดินเบาเผา	38
4.5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ที่ความเข้มข้นต่างๆ	42
4.6 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ด้วยดินเบาปริมาณต่างๆ	44
4.7 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายแคดเมียม ที่ค่าพีเอชต่างๆ	46
4.8 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโครเมียม ที่ค่าพีเอชต่างๆ	46
4.9 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายอาร์เซนิก ที่ค่าพีเอชต่างๆ	47
4.10 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนัก ที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ	53
4.11 แสดงความสามารถสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา	55
4.12 แสดงความสามารถสูงสุดในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา	56

บทที่ 1

บทนำ

เมื่อกล่าวถึงปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญเรื่องหนึ่ง แม้ว่ากรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งอุตสาหกรรมไว้แล้วก็ตามแต่เราก็ยังคงพบปัญหานี้อยู่ โดยเราจะพบโลหะหนักชนิดต่างๆในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ดังนี้

ตารางที่ 1.1 Hazardous Waste Industries

Industry	Hazardous Substances
1. Mining and Metallurgy	As, Dd, Cr, Cu, Cn, Pb, Hg, Se, Zn
2. Paint and Dye	Cd, Cr, Cu, Cn, Pb, Hg, organics, Se
3. Pesticide	As, Cl-hydrocarbons, Cn, Pb, Hg, organics, Zn
4. Electrical and Electronic	Cu, Cl-hydrocarbons, Cn, Pb, Hg, Se
5. Printing and Duplicating	As, Cr, Cu, Pb, organics, Se
6. Electroplating-Metal Finishing	Cd, Cr, Cn, Cu, Zn
7. Chemical Manufacturing	Cl-hydrocarbons, Cr, Cu, Pb, Hg, organics
8. Explosives	As, Cu, Pb, Hg
9. Rubber and Plastics	Cl-hydrocarbons, Cn, Hg, organics, Zn
10. Battery	Cd, Pb, Ag, Zn
11. Pharmaceutical	As, Hg, organics
12. Textile	Cr, Cu, organics
13. Petroleum and Coal	As, Cl-hydrocarbons, Pb
14. Pulp and Paper	Hg, organics
15. Leather	Cr, organics

ที่มา Nemerow, 1991

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าโลหะหนักในภาคอุตสาหกรรมมีมากมาย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้หากไม่ได้รับการบำบัดที่เหมาะสม ดังนั้นการพัฒนาการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนทางเคมี การกรองผ่านเมมเบรน หรือการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งได้ผลดีแต่มีค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้เทคโนโลยีและการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ หากเราสามารถนำเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงมาใช้ก็จะเป็นการส่งเสริมการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่เกิดขึ้นทางหนึ่ง

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ดินเบาซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติมากำจัด อาร์เซนิก โครเมียม และแคดเมียม ด้วยกระบวนการดูดซับ ซึ่งปัจจุบันมีการนำดินเบามาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น ใช้เป็นตัวกรอง ใช้เป็นตัวเติม ตัวขัด ตัวดูดซับ วัสดุพวกฉนวน และอื่นๆอีกมาก ดินเบาเป็นดินตะกอนที่ประกอบขึ้นด้วยซากไดอะตอมซึ่งมีรูพรุนมาก มีความคงทนทางเคมี ผนังเซลล์เป็นแร่ซิลิกาพวกโอปอล จึงมีพื้นที่ผิวเป็น silanol group (Si-OH) ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (อิธิชา บวรวัฒนานนท์, 2527) ประกอบกับดินเบาที่มีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวดูดซับที่ดี จึงมีความเป็นไปได้ในการดูดซับโลหะหนัก จากเหตุผลดังกล่าวนี้ ดินเบาจึงมีความสามารถที่จะนำมาใช้ในกระบวนการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรมได้

1.1 วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียม และอาร์เซนิกโดยใช้ดินเบาเป็นตัวดูดซับ
2. ศึกษาผลของ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอช และช่วงเวลาสัมผัสที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ
3. ศึกษาเสถียรภาพของดินเบาที่ดูดซับโลหะหนักแล้วโดยการทดสอบการชะละลาย

1.2 สมมติฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอช และ ช่วงเวลาสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ แคดเมียม โครเมียม และ อาร์เซนิก แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ แคดเมียม (ประจุ+2) โครเมียม (ประจุ+3) และ อาร์เซนิก (ประจุ+5) โดยใช้ดินเบาจากแอ่งแม่ทะ จังหวัดลำปาง เป็นตัวดูดซับโดย

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆในช่วง 30-60 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของดินเบาปริมาณ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 2-12
4. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับในช่วงเวลาสัมผัสตั้งแต่ 2 - 24 ชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการนำดินเบาซึ่งมีอยู่จำนวนมากมาใช้ประโยชน์
2. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักอยู่จริงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 การดูดซับ (ADSORPTION)

การดูดซับนั้นเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือ ของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) โดยกลไกการดูดซับเกิดเมื่อโมเลกุลในชั้นของเหลวเข้าใกล้สารดูดซับ

การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากความแตกต่างของพลังงานและ/หรือ แรงดึงดูดติดผิวทางไฟฟ้า (แรงวาเลนซ์) ซึ่งมีค่าน้อย โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะยึดติดกันทางกายภาพกับโมเลกุลของสารดูดซับ การดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer) กล่าวคือ แต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่บนชั้นของโมเลกุลที่ถูกดูดติดก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับ หรือ จำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับทางเคมีเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับที่ก่อให้เกิดสารประกอบทางเคมีขึ้น การดูดซับทางเคมีแตกต่างกับการดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayered) และไม่สามารถที่จะผันกลับได้ (Irreversible) ส่วนการดูดซับทางกายภาพสามารถผันกลับได้ (Reversible) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับและสารถูกดูดซับ ถ้าหากแรงดึงดูดนี้อ่อนลงจะเป็นการทำให้เกิดการคายสารออกขึ้น การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะกระทำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆมาติดผิวได้มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1) ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ และ แอคติเวตเต็ดซิลิกา สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่สารสังเคราะห์อาจมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมากอย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือ สารดูดซับประเภทอนินทรีย์มีจำกัดมาก

2) ถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดซับที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1000 ตารางเมตรต่อกรัม

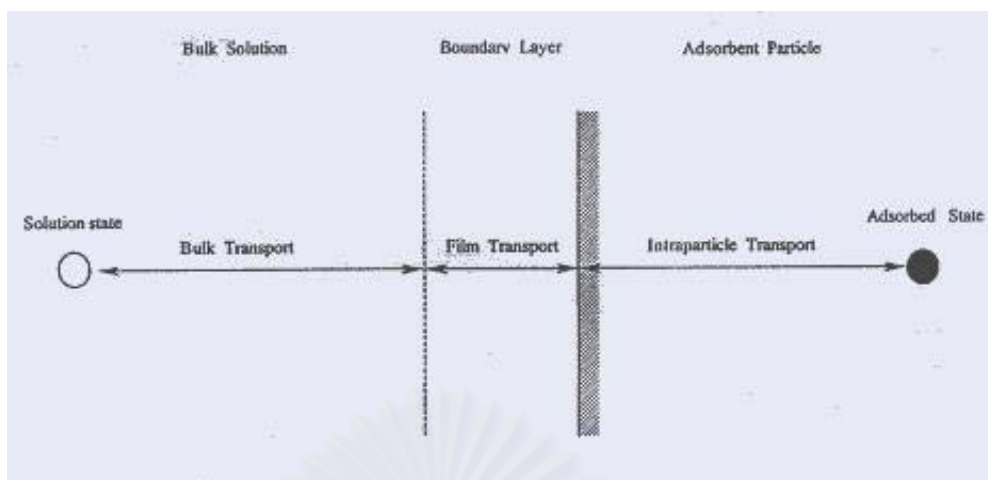
3) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

2.1.1 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล

อัตราการดูดซับมีความสำคัญอย่างมาก อัตราการดูดซับที่รวดเร็วจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น อัตราการดูดซับจะถูกควบคุมได้โดยขั้นตอนที่มีความต้านทานมากที่สุดในการเคลื่อนย้ายโมเลกุล ซึ่งขั้นตอนที่ช้าที่สุดจะเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับของสารจากสารละลายโดยสารดูดซับที่มีรูพรุนมี 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk Transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวจะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆที่ห่อหุ้มสารดูดซับ
- 2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆแทรกตัวเข้าสู่ผิวหน้าของสารดูดซับการขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับขั้นตอนหนึ่ง
- 3) การขนส่งภายในโมเลกุล (Intraparticle Transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลตัวถูกละลายเข้าสู่โพรงหรือรูพรุนของสารดูดซับ (Pore Diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับขึ้นภายในขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของสารถูกดูดซับมายังสารดูดซับ

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1) ลักษณะของสารดูดซับ (Nature of Adsorbate)

การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับ ตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการละลายของสารประกอบอินทรีย์ในน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของพันธะลูกโซ่ยาวขึ้น นอกจากนี้ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย โดยขนาดของโมเลกุลของตัวถูกละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดซับ

2) ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะและอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ เมื่อสารดูดซับนั้นไม่มีรูพรุน สำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนอัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นผิวภายในรูพรุน ถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film Transport) ดังนั้นอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของสารดูดซับ

3) อุณหภูมิ (Temperature)

การดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้นในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะสูงขึ้นแต่อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลง

4) พีเอช (pH)

ค่าพีเอชของสารละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญของการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนสามารถดูดติดผิวได้อย่างแข็งแรง และพีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนของสารประกอบที่เป็นกรดหรือเป็นเบสในการดูดซับ

5) ความปั่นป่วน (Mixing Speed)

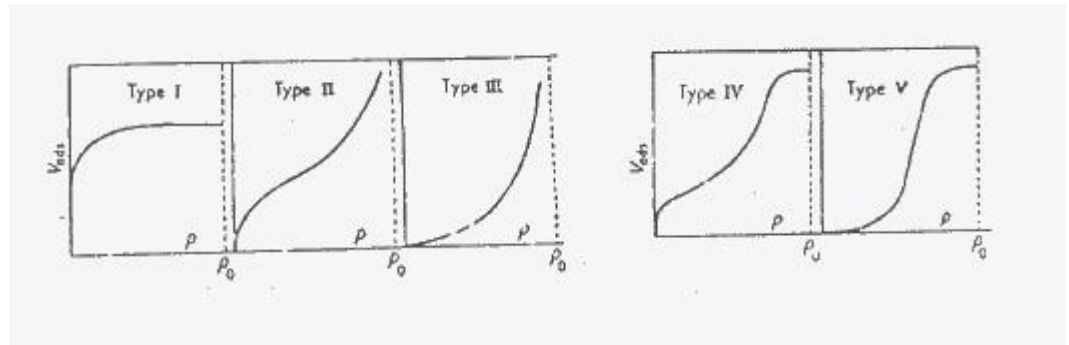
อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับอัตราการขนส่งโมเลกุลของระบบซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (Film Diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore Diffusion) ในระบบที่ของเหลวมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มของเหลวที่อยู่ล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับ ในกรณีนี้การแพร่ผ่านฟิล์มจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางกลับกันถ้าความปั่นป่วนของของเหลวในระบบสูงความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

6) เวลาสัมผัส (Contact Time)

2.1.3 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium)

การดูดซับจากสารละลาย มีผลต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิวของของแข็ง ในขณะที่เกิดการดูดซับขึ้นตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลาย เมื่ออัตราการคายสารออก เข้าสู่สภาวะคงที่ (Equilibrium State) ซึ่งเรียกว่า สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) ที่จุดสมดุลนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนผิวของสารดูดซับ หรือในของเหลว สมดุลนี้จึงเป็นลักษณะเฉพาะของระบบทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นตัวถูกละลาย สารดูดซับ ตัวทำละลาย พีเอช อุณหภูมิ และอื่นๆ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดที่จุดสมดุล โดยปกติจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิวซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

รูปร่างของไอโซเทอมของการดูดซับจะให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับ และปริมาณของสารถูกดูดซับบนพื้นผิวของสารดูดซับ รูปแบบพื้นฐานของไอโซเทอมของการดูดซับมี 5 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจากไอโซเทอมรูปที่ 1 เป็นระบบที่การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว ส่วนแบบที่เหลือเป็นการดูดซับของโมเลกุลหลายชั้น



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบพื้นฐาน (Faust and Aly, 1987)

มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบที่นำมาใช้อธิบายถึงข้อมูลของการดูดซับ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาทฤษฎี และผลจากการทดลองซึ่งรูปแบบจำลองมีดังนี้

2.1.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm)

สมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลองแลงมัวร์ ที่เรียกว่า Ideal Localized Monolayer Model คือ

1. โมเลกุลถูกดูดซับติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นที่ผิวของสารดูดซับ
2. แต่ละบริเวณสามารถดูดซับได้เพียงชั้นเดียว
3. พื้นที่ของบริเวณที่ดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
4. พลังงานการดูดซับแต่ละบริเวณมีค่าเท่ากัน

การดูดซับตัวถูกละลายจากสารละลาย โดยสารดูดซับผิวของไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

แสดงดังสมการที่ 2.1

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad \dots\dots(2.1)$$

โดยที่ X = ปริมาณของตัวถูกละลาย ที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น mg / g หรือ mol / g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) มีหน่วยเป็น mg / g หรือ mol / g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น mg / l หรือ mol / l

b = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

จากสมการที่ 2.1 เมื่อ X เข้าใกล้ X_m และ C_e เข้าใกล้อินฟินิตี้ (Infinity) สมการที่ 2.1 สามารถเขียนได้เป็น

$$C_e / X = (1/bX_m) + (C_e / X_m) \quad \dots\dots(2.2)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $1/X$ กับ $1/C_e$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/bX_m$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/X_m$

2.1.3.2 ไอโซเทอมการดูดซับแบบเบท (BET, Brunauer Emmerett – Teller Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมแบบเบทพัฒนามาจากไอโซเทอมแบบแลงมัวร์ นำมาใช้สำหรับการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer) ซึ่งมีสมมติฐานพื้นฐานของแบบจำลอง คือ แต่ละโมเลกุลในชั้นแรกจะเป็นแหล่งซึ่งเกิดการดูดซับของโมเลกุลในชั้นที่สอง และชั้นต่อไป สมการการดูดซับแบบเบทแสดงในสมการที่ 2.3

$$X = (X_m B C_e) / (C_s - C_e) [1 + (B-1) C_e / C_s] \quad \dots\dots(2.3)$$

โดยที่ X = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับมีหน่วยเป็น mg /g หรือ mol /g

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) มีหน่วยเป็น mg /g หรือ mol /g

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น mg /l หรือ mol /l

C_s = ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น mg / l หรือ mol / l

B = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ
สมการที่ (2.3) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$C_e / X(C_s - C_e) = (1/X_m B) + [(B-1)/X_m B] (C_e / C_s) \quad \dots\dots(2.4)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $C_e / X(C_s - C_e)$ กับ C_e / C_s จะได้เส้นตรงที่มีความชัน $(B-1)/X_m B$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $1/X_m B$

2.1.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich Adsorption Isotherm)

ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิชใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการอธิบายการดูดติดผิวในระบบของของเหลว ซึ่งมีสมการดังนี้

$$x/m = KC_e^{1/n} \quad \dots\dots(2.5)$$

โดยที่ x = จำนวนของตัวถูกละลายที่ดูดติดผิวมีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

m = น้ำหนักของสารดูดซับ มีหน่วยเป็น g

C_e = ความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

เนื่องจากสมการฟรุนดลิชเป็นฟังก์ชันเอกโปเนนเชียล (Exponential) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\log(x/m) = \log K + (1/n) \log C_e \quad \dots\dots(2.6)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log(x/m)$ กับ $\log C_e$ จะได้เส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $1/n$ และมีจุดตัดแกนเท่ากับ $\log K$ เมื่อ $\log C_e = 0$ ($C_e = 1$) ค่า $1/n$ ที่ได้จากการดูดซับของสารประกอบอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับค่า $1/n$ ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

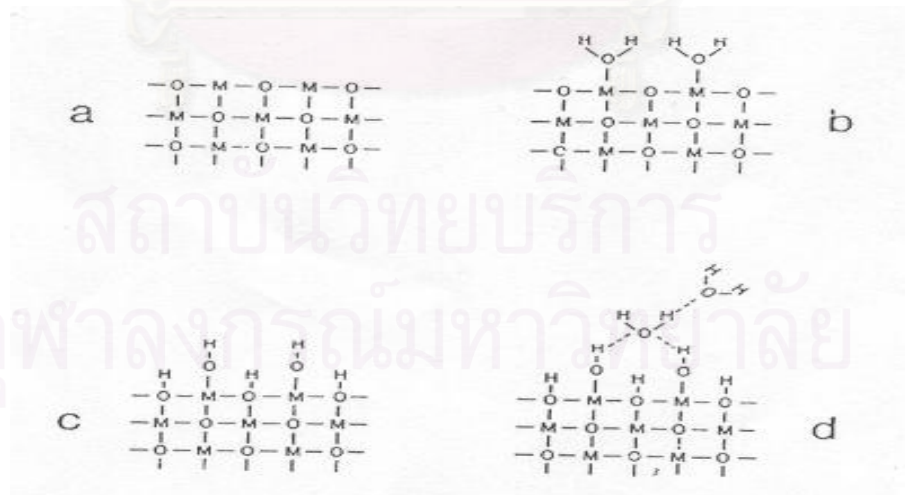
2.1.4 การดูดซับโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะ

ไฮดรอกไซด์ของโลหะ (Hydrous metal oxide) คือ ของแข็งที่ในตัวของมันเองมีส่วนประกอบที่เป็นไอออนบวกของโลหะตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปรวมอยู่กับธาตุของน้ำ ได้แก่ ไฮโดรเจนและออกซิเจน ดังนั้นไฮดรอกไซด์ของโลหะจึงครอบคลุมถึงสารประกอบโลหะที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกไซด์ (-OH) ออกซิไฮดรอกไซด์ (-OOH) และออกไซด์ (-O) เนื่องจากเป็นสารซึ่งมีลักษณะทางเคมีของบริเวณผิวหน้าที่ถูกไฮเดรต (Hydrate) ได้ ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Kinniburgh and Jackson, 1981)

การดูดซับไอออนบวกด้วยไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนภายในเวลาไม่กี่นาที การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ของพื้นผิวที่พร้อมจะรับไอออนจากสารละลาย โดยที่การดูดซับตัวถูกละลายบนไฮดรอกไซด์จะเกิดได้ดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติต่างๆทางกายภาพและเคมีของแร่ธาตุนั้นๆ ที่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ลักษณะสมบัติเหล่านี้จะรวมไปถึงส่วนประกอบทางเคมี รูปร่างลักษณะของสาร การกระจายขนาดของอนุภาค พื้นที่สัมผัสและความพรุน รวมทั้งธรรมชาติและปริมาณของบริเวณพื้นผิวที่ดูดซับได้ นอกจากนี้การดูดซับไอออนต่างๆบนไฮดรอกไซด์ยังขึ้นอยู่กับพีเอชของสารละลายเป็นอย่างมาก โดยการดูดซับไอออนบวกจะเพิ่มขึ้นตามพีเอช ส่วนการดูดซับไอออนลบนั้นจะมีค่าสูงสุดที่พีเอชต่ำๆ และจะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น (Dzombak and Morel, 1990) ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซับไอออนต่างๆบนไฮดรอกไซด์ของโลหะ เช่น ไอออนิกเสตรง์ของสารละลาย ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ และไอออนอื่นๆที่ปะปนอยู่ในสารละลายซึ่งจะเข้ามาเป็นตัวแข่งขันในการดูดซับบนไฮดรอกไซด์ (Benjamin and Leckie, 1980 ; Kinniburgh and Jackson, 1981)

2.1.5 กลไกในการดูดซับไอออนบวกบนไฮดรอกไซด์

เมื่อออกไซด์ของโลหะผสมกับน้ำจะเกิดหมู่ไฮดรอกซิลขึ้นที่ผิวของโลหะจากการดูดซับที่แยกโมเลกุลของน้ำออกจากกัน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงโครงสร้างเมื่อตัดขวางชั้นผิวของออกไซด์ของโลหะ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเมื่อตัดขวางชั้นผิวของออกไซด์ของโลหะ

จากรูปที่ 2.3 ในขั้นแรก (รูป a) ไอออนของโลหะในชั้นผิวหน้าของออกไซด์ที่ยังแห้งอยู่จะยังไม่มีโมเลกุลของน้ำเข้าไปจับ เมื่อโมเลกุลของน้ำเข้าไปจับกับบริเวณที่ยังว่างอยู่ซึ่งเป็น

บริเวณที่จะเกิดพันธะได้โดยการดูดซับทางเคมี (รูป b) จะทำให้ผิวหน้ากลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลด้วยโปรตอน (H) ที่เคลื่อนย้ายมาจากโมเลกุลของน้ำที่ถูกดูดซับไว้แล้ว โดยโปรตอนดังกล่าวนี้จะแยกตัวออกมาจากโมเลกุลของน้ำ มาสู่ออกซิเจนไอออนที่ประกอบอยู่ในชั้นผิวที่กลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (รูป d) (Dzombak and Morel, 1990)

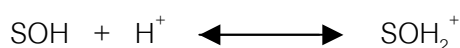
ไฮดรอกไซด์ของโลหะจะแสดงพฤติกรรมแบบที่เป็นได้ทั้งกรดและเบส (Amphoteric) ในน้ำ หมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของออกไซด์สามารถจะยึดหรือปล่อยโปรตอนได้ทำให้ออกไซด์ที่เกิดปฏิกิริยาโยกย้ายโปรตอนมีประจุเกิดขึ้นบนพื้นผิวของมัน (Dzombak and Morel, 1990) ความเป็นกรดของพื้นผิวเป็นสมบัติที่สำคัญของไฮดรอกไซด์ เนื่องจากการมีหมู่ฟังก์ชันที่ผิวจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับชนิดและขอบเขตของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนที่มีการเชื่อมต่อของผิว เช่น ปฏิกิริยาการดูดซับและการจับตัวเป็นก้อนบริเวณซึ่งเป็นกรดบนพื้นผิวแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ (Leckie, 1986)

1. บริเวณที่เป็นกรดแบบลิวอิส (Lewis acid site) เป็นบริเวณที่สามารถรับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เช่น บริเวณที่เป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ซึ่งอยู่ในขอบของผลึก
2. บริเวณที่เป็นกรดแบบบรอนสเตด (Bronsted acid site) เป็นบริเวณที่ให้โปรตอน เช่น Si-OH , Fe-OH , Al-OH หรือ H_3O^+

ไฮดรอกซิลไอออนที่ผิวซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งกรดและเบสดังที่กล่าวมา สามารถเกิดพันธะกับไอออนของโลหะได้เช่นเดียวกับลิแกนด์อื่นๆของสารละลาย ปฏิกิริยากรด-เบสที่เกิดขึ้นบนผิวของออกไซด์ของโลหะจะสามารถอธิบายถึงลักษณะได้จากการได้รับ หรือ สูญเสียโปรตอน

มากกว่าที่จะอธิบายด้วยการแลกเปลี่ยนไฮดรอกซิลไอออน

ปฏิกิริยาที่ใช้อธิบาย คือ



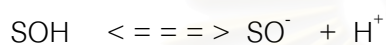
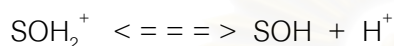
โดยที่ SOH คือ หมู่ไฮดรอกซิลทั่วไปบนผิวของออกไซด์ของโลหะหลังจากสัมผัสกับน้ำ

ดังนั้นปฏิกิริยาที่โปรตอนถูกแทนที่โดยไอออนของโลหะหรือลิแกนด์ เพื่อที่จะแลกเปลี่ยนภายในหมู่ไฮดรอกซิลจะมีลักษณะเดียวกันกับการเกิดสารเชิงซ้อน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

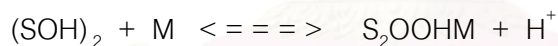
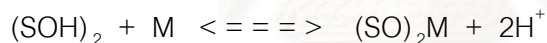
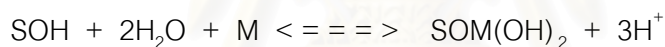
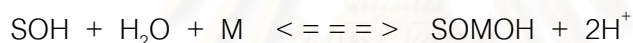
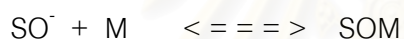
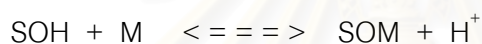
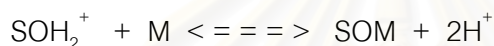
ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้บนพื้นผิวซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันออกไซด์กับตัวถูกละลาย

Surface Reaction

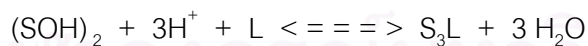
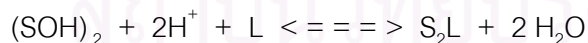
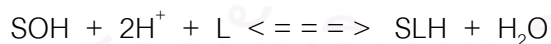
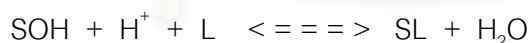
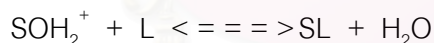
Proton/Surface Reactions



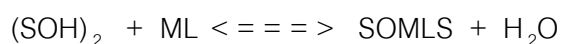
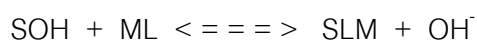
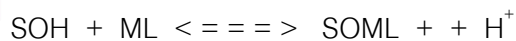
Metal/Surface Reactions (Inner-Sphere)



Ligand/ Surface Reactions (Inner-Sphere)



Mixed Ligand (Ternary) Reactions (Inner-Sphere)



ตารางที่ 2.1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้บนพื้นผิวซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันออกไซด์
กับตัวถูกละลาย (ต่อ)

Surface Reaction
Ion Pair Reactions (Outer-sphere)
$SOH + M \rightleftharpoons SO^- \cdots M + H^+$
$SOH + H_2O + M \rightleftharpoons SO^- \cdots MOH + 2H^+$
$SOH + H^+ + L \rightleftharpoons SOH_2^+ \cdots L$
$SOH + 2H^+ + L \rightleftharpoons SOH_2^+ \cdots LH$
Exchange Reactions
$SO^- \cdots Na^+ + M \rightleftharpoons SO^- \cdots M + Na^+$
$SO^- \cdots Na^+ + M \rightleftharpoons SOM + Na^+$
$SOH_2^+ \cdots SO_4^{2-} + L \rightleftharpoons SOH_2^+ \cdots L + SO_4^{2-}$
$SOH_2^+ \cdots SO_4^{2-} + L \rightleftharpoons SL + SO_4^{2-} + H_2O$

ที่มา Leckie, 1986

2.1.6 ประโยชน์ของการดูดซับในทางอุตสาหกรรม

การดูดซับเป็นการแยกกำจัดอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเวลานาน ดังที่ทราบได้จากการใช้ถ่านเพื่อกำจัดกลิ่นและรสของน้ำ เป็นต้น ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาคุณสมบัติของถ่านจนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ในการดูดซับสารพิษได้ การดูดซับจึงจัดได้ว่า เป็นกระบวนการที่มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง ประโยชน์จากการดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น

- การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ออกจากน้ำดื่ม เช่น สารพวกไตรฮาโลมีเทน สารปราบศัตรูพืช และสารประกอบคลอรีนต่างๆ
- การกำจัด กลิ่น รส และ สีออกจากน้ำดื่ม
- การกำจัดสีออกจากน้ำมันพืช
- การบำบัดน้ำเสียหรือของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์ หรือในกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3
- แยกพาร์ฟินและไอโซพาร์ฟินออกจากกัน

2.2 โลหะหนัก

ตามนิยามแล้วโลหะหนักคือ สารที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 และ 5 มีตำแหน่งบนตารางธาตุ (Periodic Table) เช่น ธาตุที่มีเลขอะตอม 22-33 และ 40-52 รวมทั้งแลนทาไนด์ และแอกติไนด์ และมีผลต่อระบบชีวเคมีของพืชและสัตว์ (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2544) โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกันคือ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาทำเป็นแผ่นบางๆได้

2.2.1 สารหนู (Arsenic)

สารหนู (As) เป็นธาตุกึ่งโลหะพบทั้งสารประกอบอินทรีย์ (Organic arsenic) และ สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic arsenic) ซึ่งสารประกอบอนินทรีย์ ที่พบมากมีอยู่ 2 รูป คือ อนุมูลประจุ +3 หรือ อาเซไนต์ (arsenite) และ +5 หรืออาร์เซเนต (arsenate) โดยสารหนูในรูปประจุ +3 จะมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าในรูปประจุ +5 เนื่องจากสารหนูในรูปอาเซไนต์เคลื่อนที่ในน้ำได้มากกว่าสารหนูในรูปอาร์เซเนต มีผลทำให้อาร์เซไนต์มีความเป็นพิษสูงกว่าอาร์เซเนต 25-60 เท่า (Fendorf et al., 1997 และ Raven, 1998) การแพร่กระจายของสารหนูพบได้หลายทาง โดยธรรมชาติเกิดจากการสีกกร่อนของผิวโลกและก๊าซภูเขาไฟ ทางด้านการเกษตรใช้สารหนูในการกำจัดศัตรูพืช ทางด้านอุตสาหกรรมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแก้วและเซรามิก อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมยารักษาโรค เป็นต้น สารหนูในรูปสารประกอบอนินทรีย์ สามารถดูดซึมผ่านทางลำไส้ ทางการหายใจผ่านเข้าปอดและทางผิวหนัง ประมาณ 95-99% ของสารหนูในรูปสารประกอบอนินทรีย์เมื่อผ่านเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต จะไปเกาะที่ผนังเม็ดเลือดแดงในส่วนของ hemoglobin ก่อนไปสู่อวัยวะอื่นๆ เช่น ตับ ปอด กล้ามเนื้อ ม้าม ผม เล็บ และผิวหนัง การเกิดพิษของสารหนูเกิดเนื่องจากสารหนูจะไปจับกับ sulfhydryl group (-SH) ของเอนไซม์มีผลไปยับยั้งเอนไซม์ของเซลล์ต่างๆ

สารหนูเป็นสารที่ออกฤทธิ์แบบเฉียบพลัน (Acute poisoning) และมีพิษแบบเรื้อรัง (Chronic poisoning) อาการพิษเฉียบพลันมักเกี่ยวข้องกับเลือด สมอง หัวใจ ไต และระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ ระบายเคือง อักเสบ มีแผลพุพองที่เนื้อเยื่อและผิวหนัง อาเจียน กระจายน้ำมาก ปวดท้อง ท้องเสีย ไตถูกทำลาย ชักกระตุกและตายได้ ส่วนการเกิดพิษแบบเรื้อรังมักจะเกี่ยวข้องกับไขกระดูก ผิวหนังและระบบประสาทส่วนปลาย ได้แก่ อาการเมื่อยล้า อ่อนเพลีย

ปากอักเสบ ระบบทางเดินอาหารบวมแดงเป็นแห่งๆ ผิวหนังส่วนข้อพับพุ่มอง มีจุดสีดําเพิ่มขึ้นจนเห็นชัดเจน บริเวณท้องแขนและขาผิวหนังแห้งตกรสเกิด เส้นผมหยาบ กล้ามเนื้อเป็นอัมพาตและหดลีบ มองเห็นไม่ชัดอาจรุนแรงถึงตาบอด มีความผิดปกติทางสมอง หากสัมผัสเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดการระคายเคืองตรงบริเวณสัมผัส เกิดเป็นตุ่มแข็งใสพอง เป็นสาเหตุของมะเร็งผิวหนัง

2.2.2 แคดเมียม (Cadmium)

ในธรรมชาติแคดเมียมจะเป็นธาตุที่อยู่ร่วมกับสังกะสีและตะกั่ว ดังนั้นในการถลุงแร่จึงได้ธาตุทั้งสามออกมาพร้อมกัน สำหรับแคดเมียมนิยมนำมาทำอัลลอยและเคลือบโลหะต่างๆให้ขาวเป็นเงาหรือมีสีบรอน ใช้ทำน้ำมันเครื่องยนต์ ทำสีทา ใช้ทำให้เกิดแสงฟลูออเรสเซนต์ รวมทั้งยังนำมาทำแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม ใช้ทำโพลีไวนิลพลาสติกใช้ฉาบโลหะเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น ลวดสายไฟฟ้าในทางยาใช้แคดเมียมทำเป็นยาฆ่าจุลินทรีย์และยาฆ่าแมลง แคดเมียมจะไม่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ แต่แคดเมียมจะอยู่ในรูปของเกลือต่างๆที่มีการละลายน้ำต่างกัน เกลือของแคดเมียม เช่น แคดเมียมไนเตรต แคดเมียมซัลเฟต จะละลายน้ำได้ดี แต่ แคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมไฮดรอกไซด์และแคดเมียมคาร์บอเนตจะไม่ละลายน้ำ แคดเมียมออกไซด์มีความดันไอสูงจึงระเหยได้ดีและเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย การดูดซึมของแคดเมียมพบว่าเมื่อแคดเมียมอยู่ในรูปของฝุ่น ปริมาณของแคดเมียมที่ตกในระบบทางเดินหายใจจะขึ้นกับขนาดและคุณสมบัติในการละลายน้ำของแคดเมียมเอง สำหรับแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหาร พบว่าถูกดูดซึมได้น้อยมากคือประมาณ 0.5-12% เท่านั้น แคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมในตับและไตเป็นส่วนใหญ่ การขับถ่ายแคดเมียมในคนนั้นแคดเมียมจะถูกขับออกทางปัสสาวะ มีข้อสังเกตว่าถ้าร่างกายได้รับแคดเมียมไปในปริมาณต่ำๆการขับถ่ายแคดเมียมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณที่ร่างกายได้รับ ทั้งนี้เพราะอวัยวะต่างๆสามารถสะสมแคดเมียมและอาจรับแคดเมียมเข้าไปอีกเป็นจำนวนมาก

ความเป็นพิษเกิดจากแคดเมียมไปแทนที่สังกะสีในกระบวนการของเอนไซม์บางอย่างทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้อาการพิษที่เกิดจากแคดเมียมมีทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง อาการพิษเฉียบพลันอันเกิดจากการสูดดมควันของแคดเมียมออกไซด์เข้าไปประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีอาการแพ้พิษเกิดขึ้นได้ทันที ได้แก่ จมูกและคออักเสบ เยื่อจมูก ปวด และหลอดลมถูกทำลาย แน่นหน้าอก หายใจขัด ไอมีเลือด ปวดบวมและตายได้ ส่วนอาการเรื้อรัง

อันเกิดจากการสูดดมผงฝุ่นแคดเมียมหรือรับประทานจะทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า อีไต-อีไต โดยผู้ป่วยจะมีอาการปวดร้าวตามข้อตามกระดูก

2.2.3 โครเมียม (Chromium)

โครเมียมเป็นโลหะสีขาวยเงิน เป็นมันวาวและแข็งมากสามารถต้านทานการผุกร่อนคงความเป็นมันเงาได้นานในอากาศ โครเมียมสามารถเกิดไอออน (ion) Cr^{2+} , Cr^{3+} และ Cr^{6+} ได้ในสารละลาย Patterson (1971) กล่าวว่าโครเมียมในน้ำเสียโดยมากแล้วจะพบอยู่ในรูปของโครเมียม +3 และ +6 ซึ่งทำให้มีผลต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยโครเมียม +6 จะเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง แต่โครเมียม +3 จะเป็นตัวที่มีออกซิเดชันสเตทที่มีความเสถียรมากที่สุด โครเมียม +6 ในน้ำเสียจะอยู่ในรูปของ โครเมต (CrO_4^{2-}) และ ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$) สารประกอบโครเมตถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารพวกไดโครเมต เป็นส่วนประกอบของสีย้อมวัสดุต่างๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่ สังกะสีโครเมตใช้เป็นสีรองพื้นก่อนเคลือบด้วยสีอย่างอื่น สารโครเมตเป็นทั้งสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็งเพราะว่าจะไปรบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ มีรายงานว่าชาวอเมริกันและชาวเยอรมันที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิตเกลือโครเมตมานานและตายไปเนื่องจากสาเหตุอะไรก็ตาม ประมาณ 20% ของคนงานที่ตายทั้งหมดเป็นมะเร็งที่ปอด และประมาณ 30% ตายเนื่องจากมะเร็งที่อวัยวะส่วนอื่น

โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจหรือการกินเอาฝุ่นหรือฟุ้งของโครเมียม หรือสัมผัสกับฝุ่นหรือฟุ้งของโครเมียมทางผิวหนังและซึมเข้าทางผิวหนังแล้วทำให้เกิดพิษต่อร่างกายและเกิดอาการตามการเข้าสู่ร่างกายนั้น อาการพิษเฉียบพลันจากการได้รับโครเมียมจากการสัมผัสทางผิวหนัง คืออาการผื่นแดงตามผิวหนัง หากเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจ จะทำให้มีอาการจาม แสบจมูก หลดดลมอักเสบ และถ้ากินโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดแผลและอักเสบในระบบทางเดินอาหาร สำหรับอาการเรื้อรังหากสัมผัสทางผิวหนังจะทำให้เกิดการอักเสบอาจลุกลามถึงกระดูกและอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ ส่วนการหายใจเอาฝุ่นหรือฟุ้งของโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดแผลในโพรงจมูกหากสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมะเร็งได้

2.3 ดินเบา

ดินเบา หรือ ไดอะตอมมาเซียส เออิ เป็นหินตะกอนชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนทับถมกันของเปลือกสาหร่ายเซลล์เดียวที่มีขนาดเล็กมาก เรียกว่า ไดอะตอม (Diatom) ผนังเซลล์ของไดอะตอมจะมีรูพรุนมาก ทำให้ดินเบามีความหนาแน่นของมวลรวมน้อย น้ำหนักเบากว่าดินทั่วไปจนสามารถลอยน้ำได้ ผนังเซลล์ของไดอะตอมส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกา 80-90% ซึ่งเป็นซิลิกาเนื้อโอปอล (Opaline Silica) ทำให้ดินเบามีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงมีการนำไปเป็นตัวเติมหรือตัวเพิ่มเนื้อในอุตสาหกรรมผลิตสี ยาง พลาสติก และ กระดาษ ได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากไดอะตอมมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันมาก (5-1000 ไมครอน) เมื่อตกตะกอนทับถมกันการจัดเรียงตัวจึงไม่เป็นระเบียบ และเปลือกแต่ละชั้นจะไม่เบียดอัดกันแน่นสนิท ทำให้ดินเบามีลักษณะพิเศษคือ มีความพรุนตัวสูง (High Porosity) และมีพื้นผิวมาก ดินเบาจึงมีประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคเล็กๆที่แขวนลอยในของเหลวได้เป็นอย่างดีจึงมีการใช้เป็นสารช่วยกรองในการผลิตน้ำผลไม้ น้ำมันพืช เบียร์และของเหลวอื่นๆ

นอกจากจะรู้จักกันในชื่อดินเบา ยังรู้จักกันในชื่อ ดินส้ม, Diatomite, Kieselguhr, Tripolite, Fossil Flour อีกด้วย

2.3.1 กำเนิดดินเบา

ดินเบาเกิดจากการทับถมและสะสมตัวกันของไดอะตอมในทะเลสาบน้ำจืดโดยทั่วไปจะอาศัยอยู่ในช่วงระดับผิวน้ำถึงความลึกไม่เกิน 35 เมตร สภาพทางเคมีของทะเลสาบซึ่งเหมาะสมสำหรับการเจริญของไดอะตอมควรมีสารละลายซิลิกาอยู่ในน้ำ 5-25 มิลลิกรัม/ลิตร สภาพความเป็นด่าง 1-10 มิลลิกรัมสมมูลย์/ลิตร มีซิลเฟอไรด์ออกไซด์พอเหมาะ มีสารอาหารต่างๆอุดมสมบูรณ์ เช่น ฟอสเฟต ไนเตรต และอื่นๆ และปราศจากสารที่เป็นพิษ นอกจากนี้ทะเลสาบจะต้องกว้างใหญ่พอสมควรและมีสารตะกอนอื่นๆมาตกทับถมตัวน้อย สำหรับไดอะตอมที่พบเป็นชนิด *Melosira granulata* (HER.) RALFS., *Navicula* spp. และ *Fragilaria* spp. โดยส่วนใหญ่เป็นชนิด *Melosira granulata* ซึ่งอายุของไดอะตอมชนิดนี้อยู่ในช่วงไมโอซีนถึงปัจจุบัน เมื่อไดอะตอมตายก็จะตกลงสู่ท้องน้ำทับถมกันเช่นกันตะกอนทั้งหลาย ส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุจะสลายตัวไปหมดที่คงเหลืออยู่บ้างภายใต้ความร้อนและความกดดันโดยมักมี ดิน ททราย สารคาร์บอนเนตและเถ้าภูเขาไฟแทรกเจืออยู่ด้วย ซากเหล่านี้ก็จะสะสมจนมีความหนาและค่อยๆจับตัวกันแน่นเข้าจนกลายเป็นแหล่งดินเบา เมื่อแหล่งสะสมนี้ถูกยกตัวขึ้นพ้นระดับน้ำมีการชำระล้างทำลายเป็นตะกอนเกิดการทับถมสะสมตัวขึ้นใหม่กลายเป็นแหล่งแร่ที่น่าสนใจในปัจจุบัน

2.3.2 ส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบหลักทางเคมีของดินเบาโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงดังนี้ คือ ซิลิกาออกไซด์ 62.09 – 69.50 เปอร์เซ็นต์, อะลูมินาออกไซด์ 11.88–15.68 เปอร์เซ็นต์, เฟอริกออกไซด์ 3.56–9.15 เปอร์เซ็นต์ และ แคลเซียมออกไซด์ 0.20–0.89 เปอร์เซ็นต์

2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

ดินเบาในแหล่งสะสมที่แห้งแล้งซึ่งเป็นแหล่งสะสมที่สำคัญของโลกมักจะมีน้ำหนักเบาสีค่อนข้างอ่อน, สีขาวหรือสีครีม คล้ายกับพวกซอล์ก โครงสร้างอาจเป็นแบบเนื้อแน่นหรือเป็นลายความแข็งของอนุภาคดินเบาตามสเกลความแข็งมาตรฐานเมอร์อยู่ระหว่าง 4.5 -6 แต่ความแข็งปรากฏของแร่ดินเบาเนื้อแน่นประมาณ 1.5 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏน้อยและความร่วนของเนื้อดินที่มีรูพรุน ความหนาแน่นทั้งก้อนที่ 105 องศาเซลเซียส คือ 0.52-0.78 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ความถ่วงจำเพาะคือ 2.30-2.32 , การดูดซับน้ำมัน คือ 153.5-235.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และดัชนีหักเห คือ 1.42-1.48 ไม่ละลายในกรดยกเว้นกรด HF แต่ละลายได้ง่ายในด่าง

2.3.4 ประโยชน์ของดินเบา

ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมของดินเบา อาจแบ่งออกได้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวกรอง (Filtering agent) สิ่งสกปรกหรือสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากของเหลวพวกสารเคมี ถลุงแร่โลหะ ยา เครื่องดื่ม บีโตร์เลียม น้ำยาซักแห้ง และอุตสาหกรรมอื่นๆ ในช่วงสิบปีที่ผ่านมาได้มีการวิวัฒนาการใช้แร่ดินเบาในการกรองน้ำโดยชั้นแรกใช้ในทางทหาร ต่อมาประโยชน์อันนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในสระว่ายน้ำ ถึงจ่ายน้ำอุ่น การประปา ท่อน้ำมัน และในวงการอุตสาหกรรม
2. ดินเบาอยู่ในกลุ่มแรกของวัสดุที่ที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อนและเสียง
3. ใช้เป็นตัวเติม (Mineral fillers) ในอุตสาหกรรมต่างๆเรียงตามลำดับความสำคัญคือ ผสมทำสีทาภายในอาคาร กระจก ยาสีฟัน ยาฆ่าแมลง พลาสติก แอสฟัลต์ ปูน ท่อต่อ หมึกพิมพ์ วัสดุระเบิด ไม้ขีดไฟ ทันตกรรม

4. ใช้เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) ใช้สำหรับเป็นสารเคมีทำลายเชื้อโรค ทำดินระเบิดเชื้อเพลิงแข็ง ประโยชน์ที่สำคัญอันหนึ่งก็คือ ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารทำความสะอาดพื้น
5. ใช้เป็นวัตถุขัดสีอย่างอ่อน (Mild abrasive) ส่วนใหญ่กับเครื่องเงิน โลหะและรถยนต์ที่ดีที่สุดของโลกขัดด้วยสารที่มีส่วนผสมของดินเบา
6. ใช้ในโรงงานผลิตสีสังเคราะห์และเม็ดสี (Synthetic ultramarine and pigment) นอกจากนี้ก็ใช้เป็นส่วนผสมในโรงงานเครื่องเคลือบ เครื่องปั้นดินเผา คอนกรีตและซีเมนต์อื่นๆ
7. ใช้เป็นวัตถุก่อสร้างประเภทน้ำหนักเบาในรูปของอิฐ บอล็ค กระเบื้อง โดยอาจผสมกับดิน ยิปซัม ปูนขาว
8. ปัจจุบันดินเบาที่มีประโยชน์ต่อการกสิกรรม โดยใช้ป้องกันไม่ให้ปุ๋ยแอมโมเนียไนเตรทแห้งตัวและยังใช้กับปุ๋ยเคมีอีกด้วย

2.3.5 แหล่งแร่

แหล่งดินเบาที่สำคัญของโลกมีทั้งชนิดที่เกิดในน้ำทะเลและน้ำจืดอายุต่างๆกันตั้งแต่ยุคน้ำแข็งตอนกลางของยุค Quaternary ถึง Tertiary แหล่งสะสมในบริเวณที่พื้นโลกตื่นตัวอยู่เสมอ มักมีขนาดเล็ก พบแหล่งดินเบาที่เกิดในยุค Paleocene และ Cretaceous บ้าง แต่แหล่งดินเบาเหล่านี้มักจะมีคุณภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งดินเบาในประเทศไทยพบที่จังหวัดลำปางกระจัดกระจายอยู่ 5 แหล่งภายในแอ่งลำปางคือ

- | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. บ้านม่อนหินแก้ว | ตำบลวังพร้าว | อำเภอเกาะคา | จังหวัดลำปาง |
| 2. วัดม่อนคีรีวัน | ตำบลพิชัย | อำเภอเมือง | จังหวัดลำปาง |
| 3. บ้านห้วยน้ำเค็ม | ตำบลบ้านแลง | อำเภอเมือง | จังหวัดลำปาง |
| 4. บ้านหนองถ้อย | ตำบลนาคร้ว | อำเภอแม่ทะ | จังหวัดลำปาง |
| 5. ตำบลกล้วยแพะ | อำเภอเมือง | จังหวัดลำปาง | |

แหล่งแร่เกิดแผ่อาณาเขตเป็นบริเวณกว้างขวาง ชั้นดินเบา มีความหนาประมาณ 1-10 เมตร ดินผิวหน้าประกอบด้วย กรวดทรายและดินลูกรัง หนาประมาณ 4 เมตร

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huang and Wu (1977) ได้ศึกษาถึงผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับของโครเมียม (VI) และ โครเมียม (III) โดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิด Filtrasorb 400 ผลการศึกษา พบว่าโครเมียม (VI) ถูกกำจัดได้เร็วกว่า โครเมียม (III) ถึง 2 เท่า โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับของโครเมียม (VI) คือ 5.6 และ 5 สำหรับ โครเมียม (III)

Aualiitia and Pickering (1987) ศึกษาการดูดซับ ทองแดง พรอท และ แคดเมียม ปริมาณน้อยด้วย สารอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ของแมงกานีส ($\alpha\text{-MnO}_2$) , อะลูมิเนียม (Al(OH)_3) และเหล็ก (Fe(OH)_3) รวมทั้งสินแร่เหล็กและแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ ได้แก่ ซีมาไทต์, โลมอไนต์, เคโอลิไนต์ และมอนต์โมริลโลไนต์ โดยแปรผันความเข้มข้นของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-100 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าพีเอช 3-9 พบว่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชที่สูงขึ้น โดยมีลำดับการดูดซับทั่วไปคือ สารที่ถูกดูดซับ $\text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$ และ สารดูดซับ $\alpha\text{-MnO}_2 > \text{Fe(OH)}_3 > \text{Al(OH)}_3 > \text{แร่ดินเหนียว} > \text{สินแร่เหล็ก}$

Pandy and others (1987) ศึกษาการใช้ถ่านลอยในการกำจัดแคดเมียม โดยในการทดลองได้ใช้ถ่านลอยปริมาณ 1 กรัม ต่อสารละลายแคดเมียมสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร และหาปริมาณแคดเมียมที่เหลืออยู่โดยใช้ Dithizone method ผลการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชเท่ากับ 8.5 โดยใช้เวลาที่จะให้เข้าสู่สมดุลประมาณ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเริ่มต้นลดลงจาก 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดจะเพิ่มขึ้นจาก 84.80 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.82 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพของการดูดซับจะถูกอธิบายโดยสมการของ Langmuir isotherm ผลของค่าพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมีสูงมาก กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าพีเอชจาก 4 เป็น 8.5 ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าเพิ่มจาก 11.85 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.82 เปอร์เซ็นต์ และยังพบอีกว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 10

Diamadopoulou, Ioannidis and Sakellgropoulos (1993) ศึกษาวิจัยเรื่อง การนำถ่านลอยมาใช้ในการกำจัดอาร์เซนิกจากน้ำ โดยในการทดลองนี้ใช้ถ่านลอยปริมาณ 1 กรัม เพื่อกำจัดอาร์เซนิกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 10 จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นที่เหลือของอาร์เซนิกในน้ำจะขึ้นอยู่กับเวลา กล่าวคือ ที่ 20 ชั่วโมง

โม่งแรกของการทดลองจะเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเกิดการดูดซับอย่างช้าๆ โดยที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุด คือ 30 มิลลิกรัมอาร์เซนิกต่อ แถ้าลอย 1 กรัม และมีประสิทธิภาพมากเป็น 3 และ 4 เท่าเมื่อเทียบกับที่ค่าพีเอชเท่ากับ 10 และ 7 ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองการคายการดูดซับจากผิวของแถ้าลอย พบว่าที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4 จะมีการคายการดูดซับต่ำที่สุดคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และ 10 จะมีการคายการดูดซับเท่ากับ 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Satpthy and Chaudhuri (1995) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำซุบโลหะแคดเมียม และ โครเมียมด้วยทรายที่เคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ โดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาวุธ ของทหารในประเทศอินเดียมาผ่านคอลัมน์ที่บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ พบว่า สามารถที่จะกำจัด Cd และ Cr^{3+} ได้ดีแต่จะไม่เหมาะสมที่จะใช้กำจัด Cr^{6+} ทั้งนี้การจะให้ประสิทธิภาพ ในการกำจัดดีต้องคำนึงถึงอัตราการไหลผ่านคอลัมน์ ปริมาณของตัวดูดซับในคอลัมน์และการ นำกลับมาใช้ใหม่ของทรายด้วย

Namasivayam and Ranganathan (1995) ศึกษาการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และ นิกเกิลโดยการดูดซับด้วยสารดูดซับที่เป็นของเสียประเภทไฮดรอกไซด์ของเหล็กและโครเมียมซึ่ง ได้มาจากโรงงานผลิตปุ๋ย โดยทำการทดลองแบบแบทช์ และฟิซเบด (Fixed bed) การ ทดลองแบบแบทช์ ใช้สารดูดซับเขย่าพร้อมกับสารละลายโลหะหนักปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วย ความเร็ว 120 รอบต่อนาที การทดลองแบบฟิซเบดทำโดยการบรรจุสารดูดซับลงในคอลัมน์ แก้วให้มีอัตราการไหล 0.06 ลิตรต่อชั่วโมง การทดลองทั้งสองชุดใช้สารละลายที่มีค่าพีเอช 3.5 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยมีการแปรผันขนาดอนุภาคของสารดูดซับ ปริมาณสาร ดูดซับ และ ไอออนิกเสตรงธ์ของสารละลาย พบว่าการดูดซับโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ สารดูดซับที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่พบผลกระทบจากค่าไอออนิกเสตรงธ์อย่างชัดเจนต่อการดูดซับ ใน การทดลองดูดซับสารละลายที่มีโลหะหนักทั้งสามชนิดผสมกันอยู่ พบว่าความสามารถในการ ดูดซับเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ตะกั่ว > แคดเมียม > นิกเกิล และสมการการดูดซับ เป็นไปตามไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช

Bruce and Sabine (1997) ทำการศึกษาเรื่องการดูดซับและเสถียรภาพของ อาร์เซ นิก (III) ด้วย Kaolinite (KGa-1), illite (IMt-2), montmorillonite (SWy-1) และ amorphous aluminum hydroxide ($am-Al(OH)_3$) ภายใต้ปัจจัยของค่าพีเอช และ ไอออนิกเสตรงธ์ โดย เปรียบเทียบกับ อาร์เซนิก (V) ในการทดลองดูดซับจะใช้ความเข้มข้นของอาร์เซนิกเท่ากับ 0.4

ไมโครโมลาร์ 20 มิลลิลิตร ปริมาณแบรินเท่ากับ 500 มิลลิกรัม ส่วน (am-Al(OH)₃) ใช้ ปริมาณ 50 มิลลิกรัม จากนั้นทำการเขย่าเป็นเวลา 16 ชั่วโมง และทำการทดลองการคาย การดูดซับโดยใช้ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 20 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วตรวจวัดปริมาณ อาร์เซนิกด้วยวิธี HPLC-HGAAS จากการทดลองพบว่า การเพิ่มไฮดรอกไซด์ตรงค์มีผลต่อการดูดซับด้วยตัวดูดซับข้างต้นน้อย ยกเว้นในการดูดซับด้วย SWy-1 ที่การเพิ่มค่าพีเอช และ ไฮดรอกไซด์ตรงค์จะเพิ่มการกำจัด อาร์เซนิก (III) และ การเพิ่มไฮดรอกไซด์ตรงค์จะมีผลต่อการดูดซับของ IMt-2 น้อยที่สุด โดยทั่วไปแล้วพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับ อาร์เซนิก (III) จะดีที่สุดค่าพีเอชในช่วง 7.5-9.5 และในการทดลองการคายการดูดซับพบว่า การคายออกของอาร์เซนิก (V) จาก KGa-1 และ SWy-1 จะใกล้ 100% ที่ค่าพีเอชสูงกว่า 8.5 และจะคายออกใน IMt-2 ได้น้อย จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า อาร์เซนิก (III) จะเสถียรที่ค่าพีเอชในช่วง 4-9 และจะออกซิไดซ์เป็น อาร์เซนิก (V) ที่พีเอชสูงกว่า 9.2

Lo, Jeng and Lai (1997) ศึกษาคุณสมบัติของทรายที่เคลือบผิวด้วยเหล็กออกไซด์ ในการดูดซับ ทองแดง นิกเกิล และแคดเมียม ซึ่งละลายอยู่ในสารละลายที่มีค่าไฮดรอกไซด์ตรงค์ 0.1 N NaNO₃ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบเหล็กออกไซด์บนผิวทราย และคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักดังกล่าว พบว่าเมื่อเคลือบทรายด้วยเหล็กออกไซด์ที่ค่าพีเอชสูงขึ้นจะได้เกอไทต์ (α -FeOOH) เป็นสารเคลือบซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีขึ้นในการดูดซับแคดเมียม และ นิกเกิล แต่จะมีสภาพของการต้านทานกรดได้ต่ำ เมื่อเคลือบทรายด้วยเหล็กออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะได้ฮีมาไทต์ (α -Fe₂O₃) เป็นสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักด้วยการดูดซับบนทรายที่เคลือบด้วยเหล็กกับการตกตะกอนทางเคมี พบว่าการดูดซับมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่าและกำจัดโลหะหนักได้มากกว่าการตกตะกอนทางเคมี

Chang (1991) ทำการศึกษาการดูดซับแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำชะถ่านหินด้วยถ่านกัมมันต์แบบผงชนิด Darco HDB พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสำหรับแคดเมียมและตะกั่ว คือ อัตราเร็วของการผสมเท่ากับ 150 รอบต่อนาที เวลาสัมผัส 15 นาที และปริมาณถ่านกัมมันต์เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม และ ตะกั่วเท่ากับ 96.5 % และ 95 % ตามลำดับ

Achraf (2000) ทำการศึกษาการดูดซับ Cr^{3+} จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วย expanded perlite โดยการนำ unexpanded perlite จากเหมืองในเขต Nador ประเทศมอริสโก มาเผา ที่อุณหภูมิสูงกว่า 870 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้มันขยายตัวขึ้นจนมีปริมาตรสูงกว่าก่อนเผา ถึง 20 เท่าตัว ในการทดลองการดูดซับใช้ความเข้มข้นของโครเมียมในช่วง 10^{-5} - 10^{-3} โมลาร์ ปริมาณ 25 มิลลิลิตร และใช้ปริมาณ perlite 0.25 กรัม ช่วงพีเอช 2-11 ทำการเขย่าที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจวัดปริมาณโครเมียมด้วยเครื่อง ICP จากการทดลองพบว่า expanded perlite มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุดที่ 200 ไมโครโมลต่อ กรัม ที่ค่าพีเอชเข้าใกล้ 5 โดยการดูดซับในช่วงความเข้มข้น 5×10^{-5} - 6×10^{-4} โมลต่อลิตร เป็นไปตามแบบจำลองของแลงมัวร์ และค่า PZC ของโครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10^{-4} เท่ากับ 7.5 โดยที่ค่าพีเอชสูงกว่าค่า PZC โครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์ จะเป็นประจุลบ และที่ ค่าพีเอชต่ำกว่าค่า PZC โครเมียม (III) ไฮดรอกไซด์ จะเป็นประจุบวก

Dikshit (2000) นำหางแร่ (kimberlite tailing) มาดูดซับสารหนูในน้ำใต้ดิน พบว่า สามารถดูดซับสารหนูได้ 0.25 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารดูดซับ ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับสาร หนูจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง และนำหางแร่ไปใช้บำบัดน้ำตัวอย่างที่มีการปน เปื้อนสารหนู พบว่าหางแร่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนู 90-94 % ทั้งยังมีการนำหางแร่ที่ใช้ แล้วมาละลายในสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง จะสามารถนำหางแร่กลับมาใช้ใหม่ได้

Neubauer and others (2000) พบว่าการดูดซับโลหะหนักบนแร่ดินนั้นเป็นผลมาจาก DFOB (Hydroxamate Siderophore Deferrioxamine B) ซึ่งเป็นสารที่พวกจุลินทรีย์ปล่อย ออกมาจากการย่อย iron (III) oxide ในดินโดยทำการทดลองการดูดซับ Cu, Cd และ Zn ด้วย Na-montmorillonite และ kaolinite โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก 10^{-6} , 10^{-5} และ 10^{-4} โมลาร์ และความเข้มข้นของ DFOB เท่ากับ 3×10^{-4} โมลาร์ ปรับค่าพีเอชใน ช่วง 4-10 ทำการเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่า Na-montmorillonite สามารถดูดซับ DFOB ได้เสถียรกว่า kaolinite ทำให้แร่ดิน Na-montmorillonite มีความสามารถดูดซับโลหะหนักได้ดี โดยประสิทธิภาพในการดูดซับจะดีที่ค่า พีเอชสูงกว่า 7 โดยประสิทธิภาพของ DFOB ในการดูดซับโลหะหนักบน Na-montmorillonite และ kaolinite นั้นจะลดลงจาก $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd}$

Mazouak and Azmani (2001) ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนัก (Hg, Fe, Cr และ Cu) จากน้ำที่มาจาก Tetouan Area ในมอร็อกโค โดยการดูดซับด้วยดินเบา และ PAC จากการทดลองดูดซับปรอทด้วยดินเบา พบว่าถึงภาวะสมดุลที่เวลาประมาณ 75 นาที ส่วน PAC ใช้เวลาประมาณ 235 นาที โดยปริมาณการดูดซับปรอทที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 100 มิลลิตรจะใช้ดินเบา 35 มิลลิกรัม และใช้ PAC 400 มิลลิกรัม โดยมีสมการการดูดซับเป็นไปตามสมการแลงมัวร์ และสำหรับการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าดินเบาสามารถกำจัด Fe ได้ 77%, Cu 97%, Cr 43% และ Hg 92% ส่วน PAC สามารถกำจัด Fe ได้ 9%, Cu 97%, Cr 75% และ Hg 93% และจากการกำจัดปรอทในน้ำทิ้งอุตสาหกรรม พบว่า ทั้งดินเบา และ PAC สามารถกำจัดปรอทได้ประมาณ 95%

Agdi and others (2001) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับและเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับไนไตรต์ด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ คือ PAC, GAC, activated alumina, ดินเบา และ sawdust โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้นในช่วง 50 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึง 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิตร ใช้ตัวดูดซับ 0.25 กรัม แล้วทำการกวนโดยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้อง และทำการตรวจวัดไนไตรต์ด้วยเครื่อง spectrophotometer uv-vis จากผลการทดลองพบว่า sawdust ถึงภาวะสมดุลภายใน 4 ชั่วโมง PAC และ GAC 3 ชั่วโมง activated alumina 6 ชั่วโมง และดินเบาใช้เวลา 6 ชั่วโมง โดยมีสมการการดูดซับเป็นไปตามสมการของฟรุนดลิช และ แลงมัวร์ เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการกำจัดไนไตรต์จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ sawdust > PAC > activated alumina > GAC > ดินเบา โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 79 %, 50%, 30%, 28% และ 10% ตามลำดับ

Agdi and others (2001) ทำการศึกษาเรื่องการกำจัด atrazine และ chlorpyrifos จากสารละลาย โดยการดูดซับด้วยดินเบา ในการทดลองใช้ดินเบาปริมาณ 10 มิลลิกรัม กับสารละลายความเข้มข้น 10 มิลลิตร แล้วกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก ที่ค่าพีเอชในช่วง 2-11 อุณหภูมิ 4-40 องศาเซลเซียส และช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาสัมผัสโดยภาวะสมดุลของ atrazine เท่ากับ 30 นาที ส่วนอุณหภูมินั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ สำหรับผลของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับ พบว่า การดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ส่วน chlorpyrifos นั้น ค่าพีเอชมีผลต่อการดูดซับไม่มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินเบาและความเข้มข้นของสารละลาย โดยความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร และความ

เข้มข้นของสารละลายที่อิ่มตัวในการดูดซับเท่ากับ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ atrazine และ chlorpyrifos ตามลำดับ

Lai and others (2001) ศึกษาลักษณะการดูดซับแคดเมียม และ ตะกั่ว บนทรายที่เคลือบผิวด้วยเกอไทต์ โดยทำการทดลองทั้งแบบแบทช์และแบบบรรจุคอลัมน์ เพื่อทดสอบการดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดจากสารละลาย จากการทดลองแบบแบทช์พบว่า ไอออนของแคดเมียมและตะกั่วจะถูกดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าการดูดซับแคดเมียมสูงสุดคือ 319,704 mug ต่อทราย 1 กรัม ที่พีเอช 5 ค่าการดูดซับตะกั่วสูงสุดคือ 702,124 mug ต่อทราย 1 กรัม ที่พีเอช 6 จากการทดลองแบบคอลัมน์พบว่าทรายเคลือบเกอไทต์สามารถกำจัดแคดเมียมและตะกั่วได้มากกว่า 95 %

Liu, Lam and Fang (2001) ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักด้วย EPS (Extracellular Polymeric Substances) ที่สกัดจาก activated sludge โดยในการทดลองการดูดซับจะใช้ EPS ปริมาณ 36.3-55.6 มิลลิกรัม และความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับ 10, 20, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 60 มิลลิตร เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก จากการทดลองพบว่า EPS สามารถกำจัด Zn^{2+} ได้ 99%, Cu^{2+} ได้ 98%, Cr^{3+} ได้ 97%, Cd^{2+} ได้ 85%, Co^{2+} ได้ 69%, Ni^{2+} ได้ 37% และ Cr^{6+} ได้ 26% โดยปริมาณการดูดซับเท่ากับ 1.48, 1.12, 0.83, 0.90, 1.10, 0.25 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับกำจัด Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} และ Cr^{6+} ตามลำดับ ทั้งนี้สมการการดูดซับของ Cd^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{6+} และ Ni^{2+} เป็นไปตามสมการการดูดซับของฟรุนดริช และ Zn^{2+} , Cr^{3+} และ Ni^{2+} เป็นไปตามสมการการดูดซับของแลงมัวร์ ส่วน Co^{2+} มีความสัมพันธ์กับสมการทั้งสองน้อยมาก

จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์ (2539) ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้เถ้าลอยพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะต่างๆขึ้นอยู่กับ ค่าพีเอช เวลา และความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก สำหรับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดนิกเกิล คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 10 ที่เวลา 10 นาที โดยประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.52 % สำหรับการกำจัดแคดเมียมค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 10 ที่เวลา 30 นาที โดยได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.12 % สำหรับการกำจัดตะกั่ว ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 10 ที่เวลา 5 นาที โดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.55 % และยังพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด

โลหะหนักทั้งสามชนิดจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นลดลง โดยจะมีสภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกัน และ ผลการทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้งสามชนิด พบว่ามีปริมาณโลหะหนักถูกชะละลายสูงเกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงาน

รามนรี เนตรวิเชียร (2543) ทำการศึกษาเรื่องการกำจัดสารหนูในรูปอาร์ซีเนตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตแซนแบบเม็ดทำโดยใช้ปฏิกรณ์แบบชุด ชนิดผสมสมบรูณ์ที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เวลา ค่าพีเอชของสารละลาย ความเข้มข้นเริ่มต้นของอาร์ซีเนต และ ปริมาณไคโตแซน มีผลต่อปริมาณการดูดซับ โดยภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาคือ การใช้ปริมาณไคโตแซน 0.5 กรัม กับ สารละลายอาร์ซีเนตความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 76.00 % และยังพบว่า การเพิ่ม ionic strength (NaNO_3) และการมีแอนไอออนอื่น (SO_4^{2-}) ไม่มีผลต่อการดูดซับของอาร์ซีเนตบนไคโตแซนแบบเม็ด และ ผลจากการกำจัดไคโตแซนที่ใช้แล้วโดยวิธี Leaching test แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของอาร์ซีเนตในสารละลายไม่เกินมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด

พรธนิภา หมื่นเหล็ก (2543) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแร่ดินเบาในการดูดซับธาตุเป็นพิษจากสารละลายกากแร่โดยวิธี Column Leaching Experiment โดยดำเนินการตามเงื่อนไขดังนี้ คือ ผสมแร่ดินเบาต่อกากแร่ใน 3 อัตราส่วน คือ 1%, 5% และ 10% ศึกษาต่อกากแร่ 2 ชนิด คือ กากแร่ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ซัลไฟด์ จากอำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (RP) และกากแร่ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ซิลิเกตจากอำเภอบินเยาะ จังหวัดยะลา (PY) และทำการทดลองผ่านน้ำใน 2 ลักษณะ คือ การปล่อยให้ น้ำไหลผ่านกากแร่ในคอลัมน์โดยอิสระ (free-draining) และการกักน้ำให้ท่วมกากแร่ในคอลัมน์ (waterlogged) แล้วเก็บสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณ Al, As, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Pb และ Zn รวมทั้งค่าพีเอช และ ค่า conductivity จากการทดลองพบข้อสรุปว่าแร่ดินเบาสามารถการปนเปื้อนของธาตุเป็นพิษที่เกิดจากเหมืองแร่ได้ถ้าใช้ในปริมาณที่เหมาะสม คือพบว่าแร่ดินเบาในอัตราส่วน 1% ไม่สามารถลดปริมาณธาตุพิษในสารละลายได้ แร่ดินเบาในอัตราส่วน 5% ลดปริมาณธาตุเป็นพิษได้บางส่วน และ แร่ดินเบาในอัตราส่วน 10% สามารถปริมาณธาตุเป็นพิษในสารละลายได้ทุกตัวและมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยแร่ดินเบาใช้ได้ดีต่อกากแร่ต่อกากแร่จากอำเภออ่อนพิบูลย์ ที่มีองค์ประกอบของซัลไฟด์ปริมาณมาก แต่ใช้ได้ไม่ค่อยดีต่อกากแร่จากอำเภอบินเยาะที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิเกต และจากการทดลองผ่านน้ำใน 2 ลักษณะพบว่า การผ่านน้ำแบบ waterlogged สามารถลดการละลายของธาตุเป็นพิษได้

ดีกว่า free-draining ยกเว้นการละลายของ As และ Mg จากกากแร่อำเภอบินเยาะที่ผลเป็นไปในทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณธาตุพิษที่ละลายออกมาลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงว่า แร่ดินเบาสามารถดูดซับธาตุเป็นพิษไว้ได้เป็นอย่างดีและยังคงสภาพอยู่โดยไม่ปล่อยให้ละลายกลับออกมาในสารละลายอีก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติของดินเบา

3.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับ อาร์เซนิก (ประจุ+5) แคดเมียม (ประจุ+2) และ โครเมียม (ประจุ+3)

3.1.3 ศึกษาเสถียรภาพของดินเบาที่ผ่านการดูดซับโดยทดสอบการชะละลาย

3.1.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของดินเบา กับน้ำเสียอุตสาหกรรม

3.2 สารเคมี

ลำดับ	สารเคมี	คุณสมบัติ
1.	Cadmium (II) Nitrate	Standard Solution Analytical Reagent Grade
2.	Chromium (III) Nitrate	Standard Solution Analytical Reagent Grade
3.	Sodium Arsenate	Analytical Reagent Grade
4.	Nitric acid 65%	Analytical Reagent Grade
5.	Hydrochloric acid 38%	Analytical Reagent Grade
6.	Sodium hydroxide	Analytical Reagent Grade
7.	Sulfuric acid	Analytical Reagent Grade

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย	ยี่ห้อ : รุ่น
1.	เครื่องชั่งไฟฟ้า	Mettler : PB3002-S
2.	เครื่องเขย่า	GFL : 3015
3.	pH meter	Denver : 215
4.	Flame Atomic Absorption Spectroscopy	Varian : Spectr AA-10 Plus
5.	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer	Perkin Elmer : PLASMA-100
6.	เครื่อง Scanning Electron Microscope	JEOL : JSM-5800LV
7.	เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer	Philips : PW 2400
8.	เครื่อง B.E.T. surface area and pore	Micromeritics : SAP 2000
9.	กระดาษกรองเบอร์ 42	Whatman
10.	อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป	

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอช และช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด คือ แคดเมียม โครเมียม และ อาร์เซนิก

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรต่างๆ	ช่วงที่ทำการตรวจวัด
ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก	30-60 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณดินเบา	0.1,0.5,1,2,3 กรัม
ค่าพีเอช	2-12
ช่วงเวลาสัมผัส	2-24 ชั่วโมง

3.4.1 ศึกษาคุณสมบัติของดินเบา

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของดินเบา

ลักษณะสมบัติ	วิธีวิเคราะห์
1. องค์ประกอบทางเคมีของดินเบา	X-Ray Fluorescence Spectrometer
2. ขนาดพื้นที่ผิวสัมผัส	B.E.T. surface area and pore
3. ปริมาตรของรูพรุน	B.E.T. surface area and pore
4. ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย	B.E.T. surface area and pore
5. ลักษณะของผิวสัมผัสและรูพรุน	Scanning Electron Microscope

3.4.2 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับ อาร์เซนิก แคดเมียม และ โครเมียม

3.4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่เหมาะสมในการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายโลหะหนัก ที่ความเข้มข้น 30 – 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 7 สำหรับแคดเมียม และ อาร์เซนิก และปรับพีเอชเป็น 4 สำหรับโครเมียม โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 1 N

2. เติมดินเบา สำหรับแคดเมียม และ โครเมียม ส่วนอาร์เซนิกจะใช้ดินเบาเผา ปริมาณ 1.0 กรัม

3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. เก็บตัวอย่างสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) สำหรับแคดเมียม และ โครเมียม ส่วนอาร์เซนิกจะวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินดักทีฟพลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP) เพื่อนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก (% removal)

$$\% \text{ removal} = \frac{(\text{Initial concentration} - \text{Final concentration})}{\text{Initial concentration}} \times 100$$

3.4.2.2 การศึกษาปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2.1 และปรับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 7 สำหรับแคดเมียม และ อาร์เซนิก และปรับพีเอชเป็น 4 สำหรับโครเมียม โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 1 N
2. แปรเปลี่ยนปริมาณดินเบาสำหรับแคดเมียม และ โครเมียม ส่วนอาร์เซนิกจะใช้ดินเบาเผา เป็น 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เก็บตัวอย่างสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

3.4.2.3 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2.1
2. แปรเปลี่ยนค่าพีเอชของสารละลายในช่วง 2 - 12
3. เติมดินเบาสำหรับแคดเมียม และ โครเมียม ส่วนอาร์เซนิกจะใช้ดินเบาเผาปริมาณที่เหมาะสมตามข้อ 3.4.2.2
4. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. เก็บตัวอย่างสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

3.4.2.4 การศึกษาช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้น ค่าพีเอช และ เติมดินปริมาณที่เหมาะสมตามข้อ 3.4.2.3
2. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยแปรเปลี่ยนช่วงเวลาเขย่าเป็น 2 โมงไปถึง 24 ชั่วโมง
3. เก็บตัวอย่างสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

3.4.3 การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ

การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับทำการทดลองแบบแบชท์ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น และ ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2 ขั้นตอนการมีดังนี้

1. เตรียมสารละลายโลหะหนักทั้งสามชนิดตามความเข้มข้น และ ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร
2. เติมดินเบาสำหรับแคดเมียมและโครเมียม ส่วนอาร์เซนิกจะเติมดินเบาเผาปริมาณต่างๆ คือ 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม
3. นำไปเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองแล้ววิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่เพื่อนำไปคำนวณค่าปริมาณการดูดซับ

$$q = \frac{(c_o v - c_e v)}{m}$$

โดยที่ q = ค่าปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

M = น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

c_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

c_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

v = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)

3.4.4 การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาที่ผ่านการดูดซับโลหะทั้ง 3 ชนิด

เพื่อทดสอบความเสถียรของดินเบาที่ดูดซับสารละลายโลหะหนักแล้วด้วยวิธี Leaching test ซึ่งปรับปรุงจากวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540) ดังนี้

1. บดตัวอย่างให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
2. นำตัวอย่างที่ได้จาก 1. เติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถัน และ กรด

ไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) ของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก(กรัม)ของตัวอย่าง

3. เขย่าบนเครื่องเขย่า ที่ 60 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
- 4.กรองสารละลายจากการสกัด(Leachate)ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

3.4.5 การศึกษาการใช้ดินเบากับน้ำเสียจริง

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ นำมาจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่แห่งหนึ่งแล้วนำมาผ่านกระบวนการดูดซับด้วยดินเบาและดินเบาเผา ดังนี้

1. นำน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่มาวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และ อาร์เซนิก
2. ใช้ น้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมดินเบา และ ดินเบาเผาตามปริมาณที่เหมาะสม จากข้อ 3.4.2.2
3. เขย่าบนเครื่องเขย่าที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เก็บตัวอย่างสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

3.4.6 วิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดเมื่อแปรเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ เพื่อทดสอบว่าปัจจัยต่างๆมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือไม่

3.4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของดินเบากับตัวดูดซับอื่นๆ

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบากับตัวดูดซับชนิดอื่นๆที่เคยมีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองการดูดซับโลหะหนักบางชนิดอันได้แก่ แคดเมียม (ประจุ+2) โครเมียม (ประจุ+3) และ อาร์เซนิก (ประจุ+5) จากน้ำเสียด้วยดินเบา ซึ่งทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเบา สภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาในการดูดซับโลหะหนัก การทดสอบไอโซเทอมของการดูดซับ ศึกษาการชะละลายของโลหะหนัก การทดสอบประสิทธิภาพของดินเบาในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบา กับตัวดูดซับอื่นๆ ผลการทดลองมีดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินเบา

ดินเบาที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เป็นดินเบาจากแอ่งแม่ทะ จังหวัดลำปาง โดยนำดินเบา มาบดละเอียดเป็นผง สีของดินเบา มีสีเหลืองนวล จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินเบา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ดินเบา มีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้คือ SiO_2 68.14 %, Al_2O_3 13.75 %, Fe_2O_3 5.00 %, MgO 0.87 % และ Na_2O 1.00 % ซึ่งจะเห็นได้ว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของดินเบา คือ SiO_2 ทำให้พื้นผิวส่วนใหญ่ของดินเบา เป็นหมู่ silanol group ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (อิริชา บวรวัฒนานนท์, 2527) มีพื้นที่ผิวสัมผัสเท่ากับ 44.83 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 ลูกบาศก์เซนติเมตร และขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 121.71 อังสตรอม ทั้งนี้จากภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของดินเบาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าดินเบาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีรูพรุนอยู่ทั่วไป ตามรูปที่ 4.1

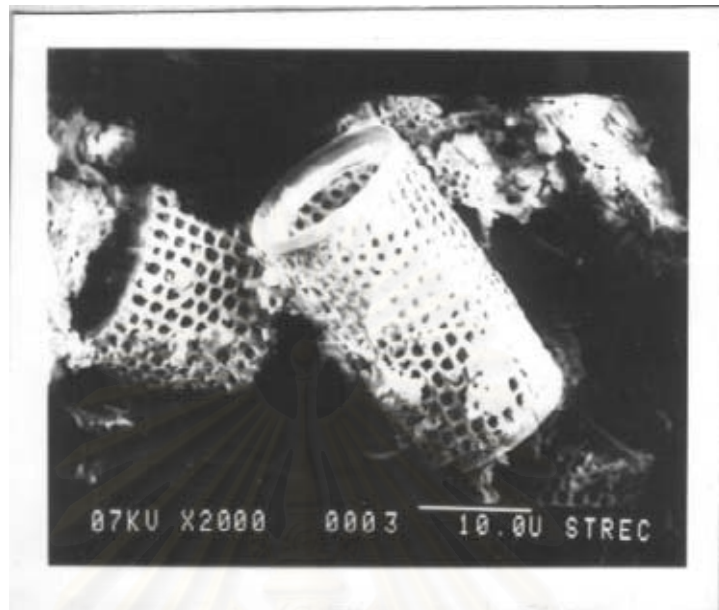
และเนื่องจากดินเบาไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการดูดซับสารละลายอาร์เซนิกที่ระดับความเข้มข้น ในช่วงที่ทำการศึกษาได้ จึงได้ทดลองนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาใช้ในการดูดซับ พบว่าสามารถใช้ในการดูดซับได้ดี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดินเบาเผาดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่าดินเบาเผามีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คือ SiO_2 55.21 %, Al_2O_3 10.56 %, Fe_2O_3 4.77 %, MgO 0.68 % และ Na_2O 0.52 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินเบาเผามีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่ใกล้เคียงกับดินเบาธรรมชาติมาก ยกเว้นในส่วนของ CaO ที่พบอยู่มากถึง 26.48 % ในขณะที่ดินเบาที่มีอยู่เพียง 0.42 % เท่านั้น

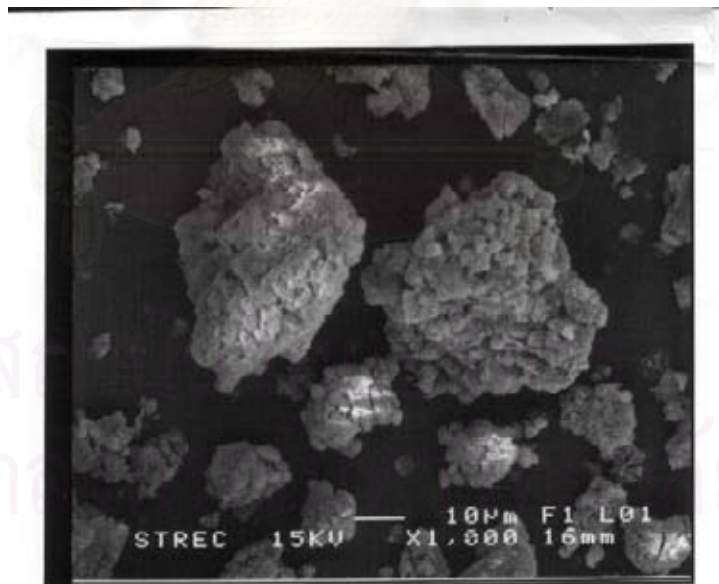
ผลการศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสของดินเบาเผามีค่าเท่ากับ 24.60 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ลูกบาศก์เซนติเมตร และขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 175.51 อังสตรอม ทั้งนี้จากภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของดินเบาเผาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าดินเบาเผาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีลักษณะแตกต่างจากดินเบาธรรมชาติ ตามรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของดินเบาและดินเบาเผา

ลักษณะทางกายภาพและเคมี	ดินเบา	ดินเบาเผา
องค์ประกอบทางเคมี		
SiO_2	68.14 %	55.21 %
Al_2O_3	13.75 %	10.56 %
Fe_2O_3	5.00 %	4.77 %
MgO	0.87 %	0.68 %
Na_2O	1.00 %	0.52 %
ขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัส	44.83 ตารางเมตรต่อกรัม	24.60 ตารางเมตรต่อกรัม
ปริมาตรของรูพรุน	0.14 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม	0.11 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย	121.71 อังสตรอม	175.51 อังสตรอม



รูปที่ 4.1 รูปดินเบาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 4.2 รูปดินเบาเผาถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 4.3 ดินเบา



รูปที่ 4.4 ดินเบาเผา

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบาแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 เป็นการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่เหมาะสมในการดูดซับด้วยดินเบา ขั้นที่ 2 เป็นการศึกษาปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับ ขั้นที่ 3 เป็นการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ และ ขั้นที่ 4 เป็นการศึกษาผลของช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ และผลการทดลองที่ได้จะนำไปคำนวณให้เป็นค่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัด

ผลการทดลองมีดังนี้

4.2.1 ผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่เหมาะสมในการดูดซับ

การศึกษาผลของค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการดูดซับด้วยดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม และใช้ช่วงเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ในรูปของสารละลายแคดเมียมโครเมียม และอาร์เซนิก ที่ความเข้มข้น 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ทำการปรับพีเอชเป็น 7 สำหรับแคดเมียม และ อาร์เซนิก และปรับพีเอชเป็น 4 สำหรับโครเมียม โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้น 1 N แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายแคดเมียมที่ความเข้มข้น 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 68.10%, 95.83%, 90.21% และ 84.89% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุดคือ 95.83% ที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ค่าความเข้มข้น 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

ผลการทดลองค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 97.88%, 98.39%, 98.25% และ 98.02% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุดคือ 98.39% ที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นั้นไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาตามสภาวะที่ทำการศึกษานี้ พบว่า ดินเบาไม่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ทำการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบามีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 20.61 %, 9.45 %, 6.41 %, 6.08 % และ 7.06 % ตามลำดับ จึงได้ทดลองนำดินเบาไปเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาใช้ในการดูดซับ ผลปรากฏว่าสามารถดูดซับอาร์เซนิกได้ดี โดยที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1, 5, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ >95.45 %, > 99.11 %, 99.37 %, 99.35 % และ >99.85 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก ด้วยดินเบาเผาที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 30, 40, 50 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 99.87%, 99.91%, 99.72% และ 99.85% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดเท่ากับ 99.91% ที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายอาร์เซนิกเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ นั้นไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดูดซับของสารละลายโลหะหนักทั้งสามชนิดคือ แคดเมียม โครเมียม และอาร์เซนิก พบว่าค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และจะพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu and others (2001) ที่ทำการดูดซับ Cd^{2+} และ Cr^{3+} ด้วย EPS จาก activated sludge โดยพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงจาก 93% เป็น 85% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ Cd^{2+} และประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงจาก 100% เป็น 89% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ Cr^{3+} ซึ่งการทดลองนี้อธิบายให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสารละลายโลหะหนักนั้นขึ้นอยู่กับ ค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักทั้งสามชนิด เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายอาร์เซนิกด้วยดินเบาและดินเบาเผา ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)	
	ดินเบา	ดินเบาเผา
1	20.61±1.39	> 95.45±0.00
5	9.45±1.07	> 99.11±0.00
10	6.41±0.09	99.37±0.09
20	6.08±0.39	99.35±0.18
40	7.06±1.50	> 99.85±0.00

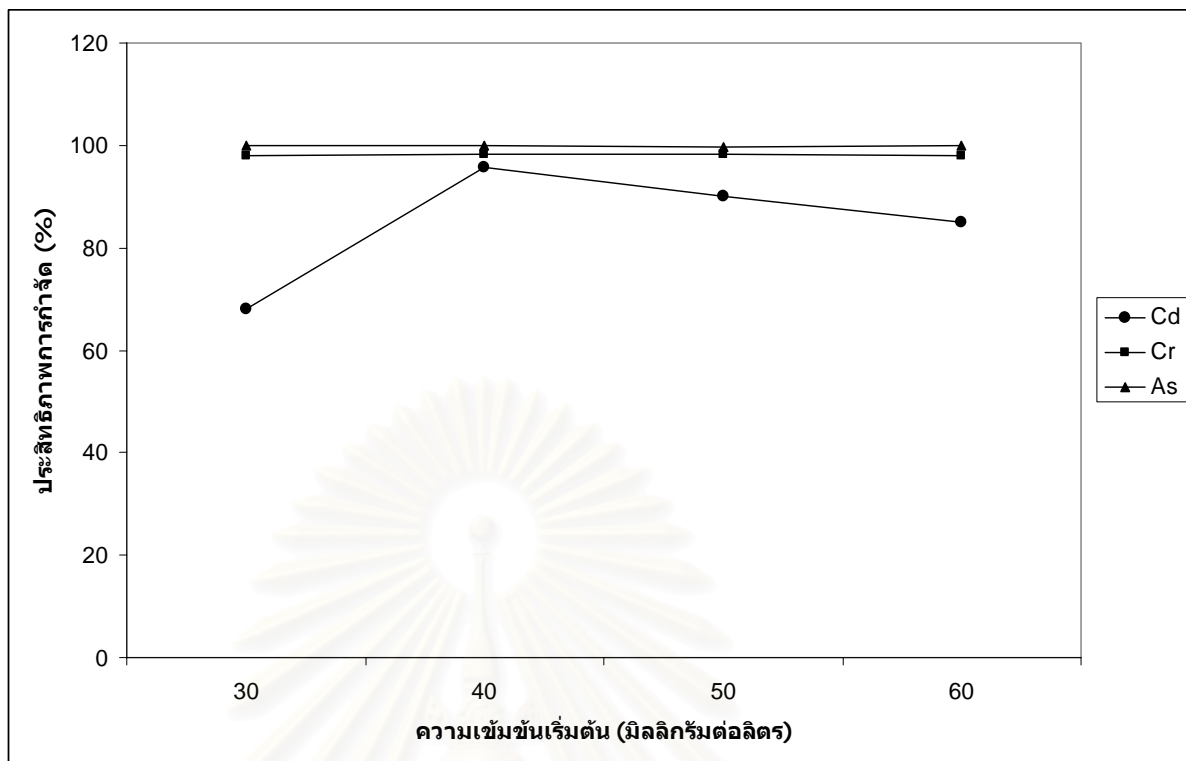
ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิก*
30	68.10±0.52 ^a	97.88±0.79 ^a	99.87±0.04 ^a
40	95.83±0.44 ^b	98.39±0.24 ^a	99.91±0.00 ^a
50	90.21±2.04 ^c	98.25±0.20 ^a	99.72±0.22 ^a
60	84.89±0.72 ^d	98.02±0.08 ^a	99.85±0.10 ^a

หมายเหตุ ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ (sig. 0.05)

* ดูดซับด้วยดินเบาเผา



รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.2.2 ผลของปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับ

การศึกษาผลของปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับที่ความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียม และโครเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตรตามความเข้มข้นที่เหมาะสม ปริมาตร 50 มิลลิกรัม นำมาปรับค่าพีเอชเท่ากับ 7 และ 4 ตามลำดับในตอนเริ่มต้น แล้วเติมดินเบาปริมาณ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม นำมาเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วในการเขย่าเท่ากับ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6

ผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา ปริมาณ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม นั้นมีค่าเท่ากับ 73.51%, 82.55%, 95.83%, 99.77% และ 99.70% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบาปริมาณต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินเบา โดยปริมาณดินเบาที่เหมาะสมเท่ากับ 2.0 กรัม และจะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินเบาเป็น 2.0 และ 3.0 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดจะไม่แตกต่างกัน คือสามารถกำจัดแคดเมียมได้เกือบ 100% ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณดินเบาตั้งแต่ 2.0 กรัมขึ้นไปเป็นปริมาณดินเบาที่มากเกินไปในการกำจัดแคดเมียมในสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด แคลเมียมด้วยดินเบา ๆ ปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 กรัม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเมียมด้วยดินเบาปริมาณ 2.0 และ 3.0 กรัม นั้น ไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโครเมียมด้วยดินเบาปริมาณต่าง ๆ คือ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าเท่ากับ 98.87%, 98.71%, 99.02%, 98.78% และ 98.97% ตามลำดับ โดยจะพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินเบา โดยปริมาณดินเบาที่เหมาะสมคือ 1.0 กรัม และจะพบว่าเมื่อเพิ่ม ปริมาณดินเบาเป็น 2.0 กรัม และ 3.0 กรัม ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะลดลงอันเนื่อง มาจากการเพิ่มปริมาณดินเบา ทำให้การกำจัดพื้นที่ทำให้ดินเบากระจายตัวไม่ดี ชั้นฟิล์มของ สารละลายที่ห่อหุ้มดินบางลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง และเมื่อทำการวิเคราะห์ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา ปริมาณ 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม มีความแตกต่างกับปริมาณดิน 3.0 กรัมอย่างมีนัยสำคัญ

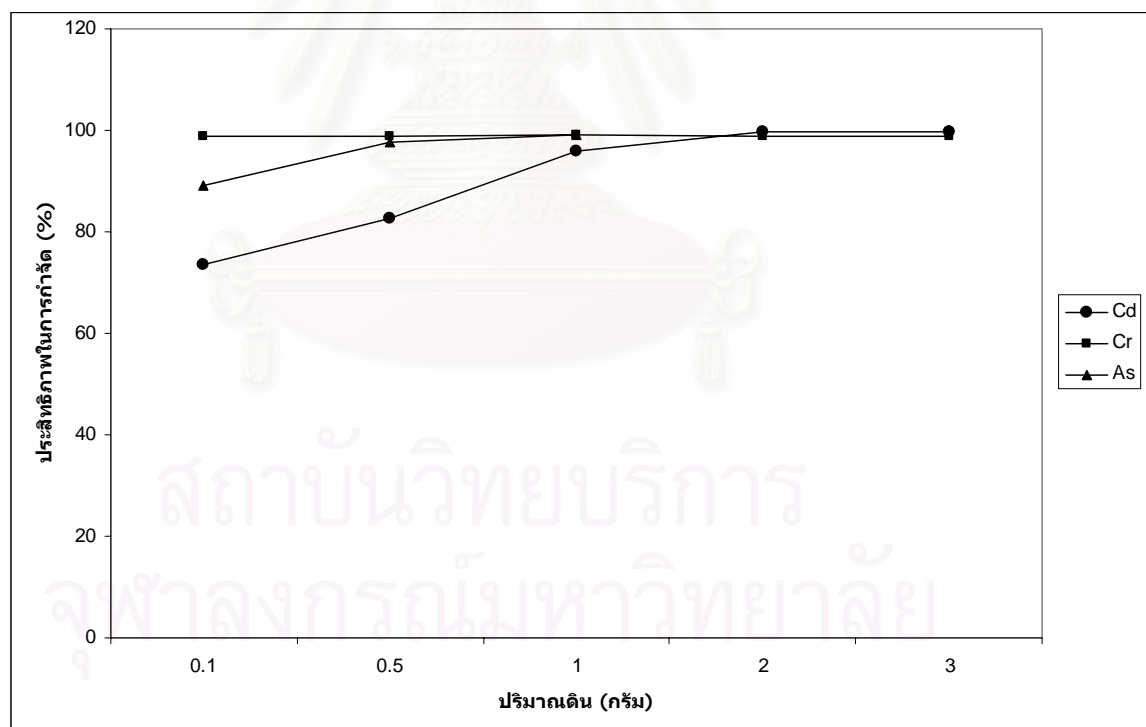
การศึกษาผลของปริมาณดินเบาที่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิกที่ความเข้มข้นของ สารละลายเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 7 แล้วเติมดินเบาเผาปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 กรัม นำมาเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 89.00%, 97.51% และ 99.01% ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกจะเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณดินเบาเผา โดยจะได้เลือกปริมาณดินเบาเผา 1.0 กรัม มาใช้ในการทดลองต่อไป เนื่อง จากให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.01% และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความ เชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผาจะไม่แตกต่างกันที่ ปริมาณดินเบาเผาเท่ากับ 0.5 และ 1.0 กรัม

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักด้วยดินเบาปริมาณต่างๆ

ปริมาณดินเบา (กรัม)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิก*
0.1	73.51±0.93 ^a	99.87±0.01 ^a	89.00±2.53 ^a
0.5	82.55±0.97 ^b	98.71±0.20 ^a	97.51±0.21 ^b
1.0	95.83±0.44 ^c	99.02±0.28 ^a	99.01±0.12 ^b
2.0	99.77±0.08 ^d	98.78±0.09 ^a	-
3.0	99.70±0.03 ^d	98.97±0.11 ^b	-

หมายเหตุ ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. 0.05)

* ดูดซับด้วยดินเบาเผา



รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักด้วยดินเบาปริมาณต่างๆ

4.2.3 ผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ

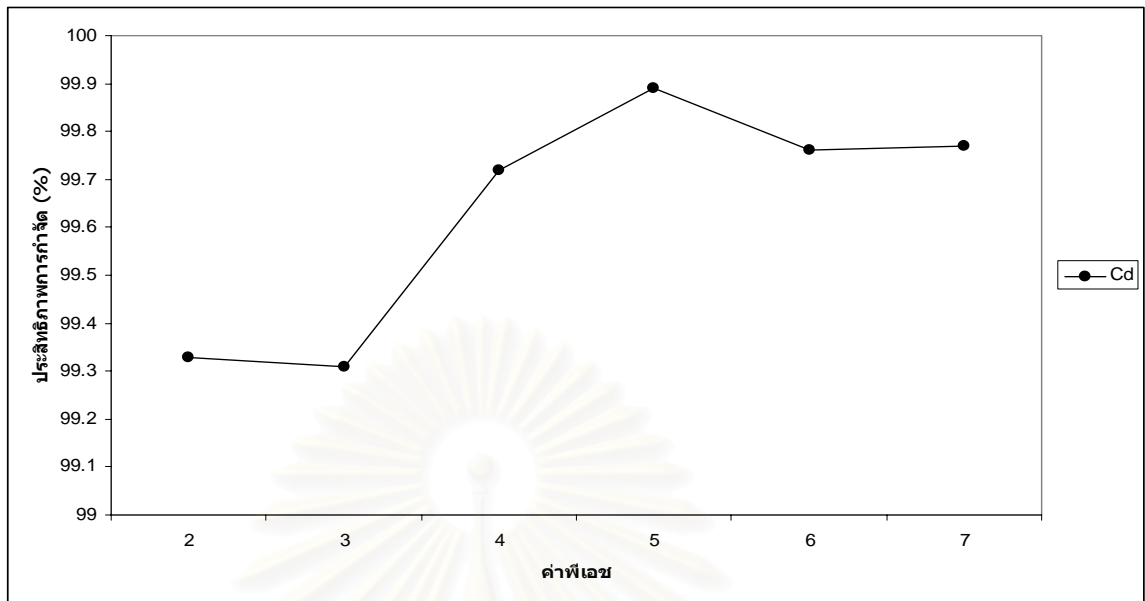
การศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายแคดเมียมด้วยดินเบาที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณดินเบา 2.0 กรัม ตามผลที่ได้จากข้อ 4.2.2 และปรับค่าพีเอชเป็น 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 เนื่องจากที่ค่าพีเอชสูงกว่านี้สารละลายจะตกตะกอนแล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.7 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 99.33%, 99.31%, 99.72%, 99.89%, 99.76% และ 99.79% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะมีค่าสูงสุดเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.89% และ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา ที่ค่าพีเอชของสารละลาย เท่ากับ 2 และ 3 นั้นมีความแตกต่างกับประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา ที่ค่าพีเอชของสารละลาย 4, 5, 6 และ 7 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักที่ค่าพีเอชต่างๆ

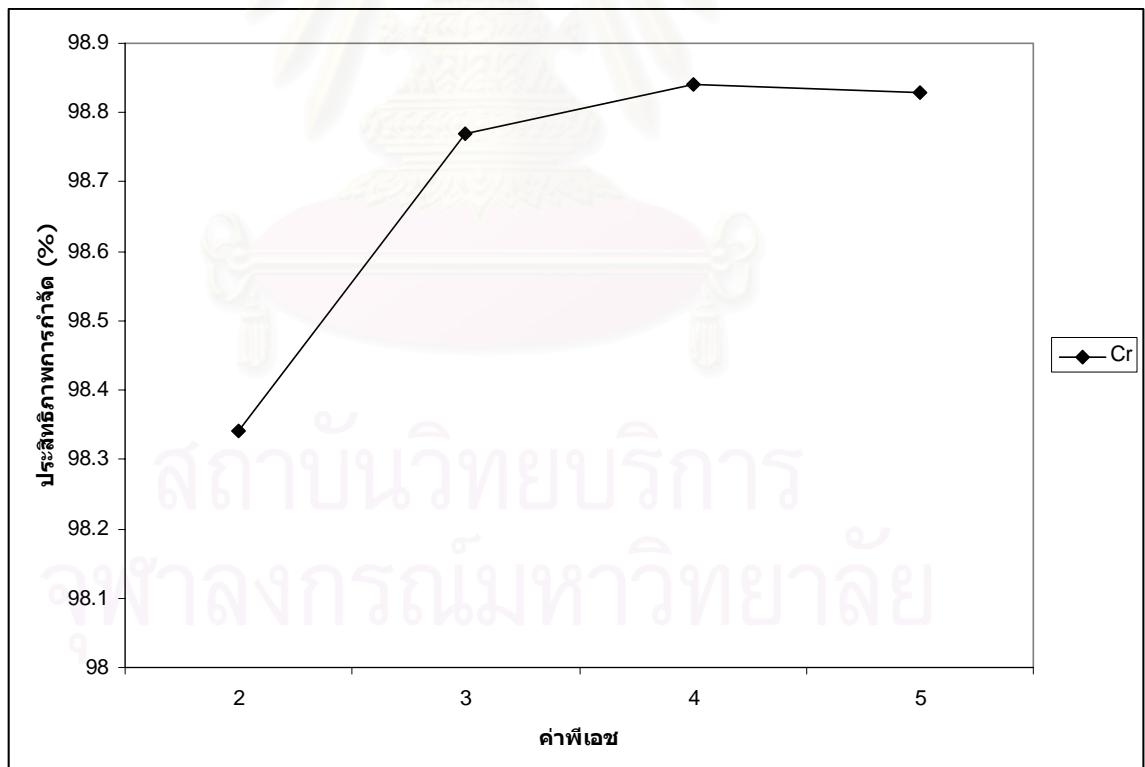
ค่าพีเอช	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิก*
2	99.33±0.08 ^a	98.34±0.17 ^a	98.34±0.10 ^a
3	99.31±0.12 ^a	98.77±0.08 ^b	-
4	99.72±0.03 ^b	98.84±0.04 ^b	98.52±0.03 ^a
5	99.89±0.05 ^b	98.83±0.19 ^b	-
6	99.76±0.10 ^b	ตกตะกอน	98.43±0.07 ^a
7	99.77±0.08 ^b	ตกตะกอน	-
8	ตกตะกอน	ตกตะกอน	98.27±0.12 ^a
10	ตกตะกอน	ตกตะกอน	98.46±0.14 ^a
12	ตกตะกอน	ตกตะกอน	98.36±0.09 ^a

หมายเหตุ ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. 0.05)

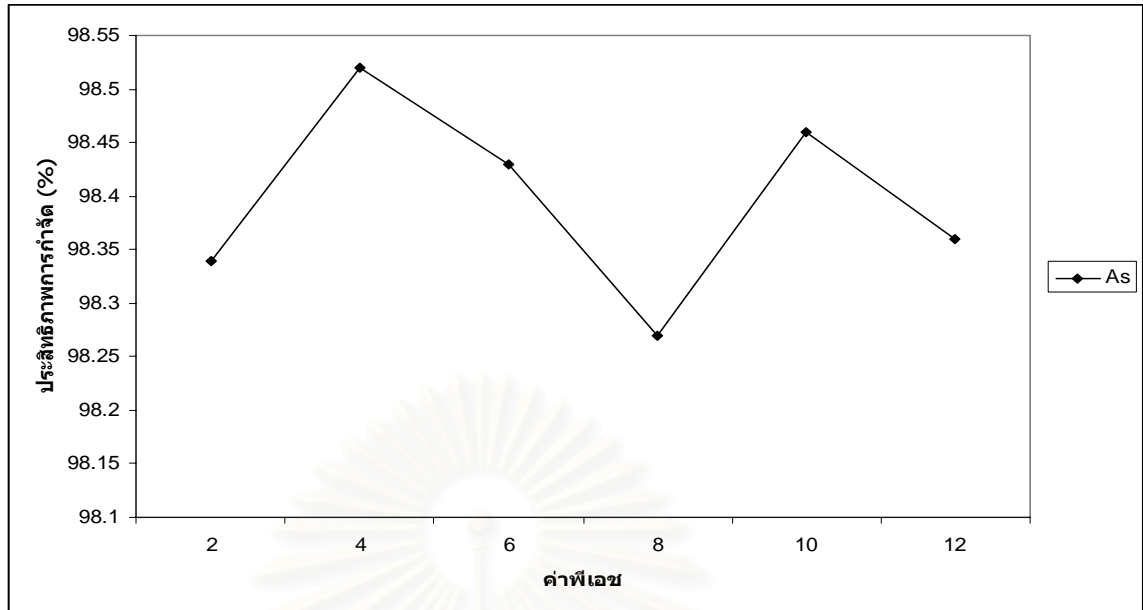
* ดูดซับด้วยดินเบาเผา



รูปที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายแคดเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ



รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโครเมียมที่ค่าพีเอชต่างๆ



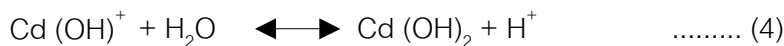
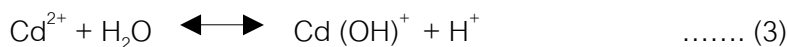
รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายอาร์เซนิกที่ค่าพีเอชต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าพีเอชหลังจากที่สารละลายสัมผัสกับดินเบานั้นจะสูงขึ้นไปเป็นพีเอชในระดับที่เกิดการตกตะกอน ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบาในน้ำเสียสังเคราะห์จึงเกิดขึ้น โดยกระบวนการดูดซับควบคู่ไปกับกระบวนการตกตะกอน เมื่อส่วนผสมระหว่างน้ำเสียและดินเบามีค่าพีเอชในระดับที่เกิดการตกตะกอนของแคดเมียม สำหรับการดูดซับแคดเมียมที่เพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชนั้นเป็นการยืนยันว่าการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายโดยค่าพีเอชจะมีผลต่อประจุบริเวณผิวหน้าของสารดูดซับ กล่าวคือ เมื่อสารประกอบออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบดินเบาสัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในสารละลาย ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบสารประกอบออกไซด์จะเคลื่อนย้ายมาสู่ออกซิเจนที่ประกอบอยู่ตรงชั้นผิวของสารประกอบออกไซด์ ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถรับและให้ไฮโดรเจนไอออนได้ดังสมการ (Leckie, 1986 ; Dzombak and Morel, 1990)

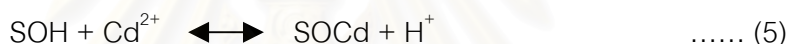


โดย SOH คือ ผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ในดินเบาหลังจากสัมผัสกับน้ำ

แคดเมียมที่อยู่ในน้ำเสียเป็นโลหะหนักชนิดไดวาเลนต์สามารถแตกตัวอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ Cd^{2+} , $Cd(OH)^+$ และ $Cd(OH)_2$ ตามปฏิกิริยา ดังสมการ



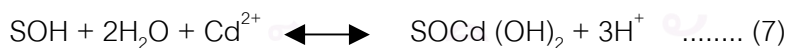
การแตกตัวที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย โดยที่ Cd^{2+} จะพบได้มากที่สุดเมื่อพีเอชของสารละลายเป็นกรด และ $Cd(OH)_2$ จะพบมากที่สุดเมื่อพีเอชของสารละลายเป็นเบส ดังนั้นจึงสามารถอธิบายเกี่ยวกับการดูดซับแคดเมียมที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของสารประกอบออกไซด์ในดินเบาได้ว่าในสารละลายสภาพที่เป็นกรด แคดเมียมจะอยู่ในรูป Cd^{2+} เมื่อโลหะออกไซด์ที่ผิวของดินเบามีการสูญเสีย H^+ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการดูดซับของสารประกอบออกไซด์ เกิดเป็น $SOCd$ ดังสมการ



เมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าสูงขึ้น แคดเมียมจะอยู่ในรูปของ $Cd(OH)^+$ จะเป็นรูปที่มีอยู่มากในสารละลาย เมื่อเกิดการดูดซับจะมี $SOCdOH$ เกิดขึ้นบนผิวของดินเบา ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการ



ในสารละลายที่มีพีเอชเป็นเบส จะมีแคดเมียมในรูป $Cd(OH)_2$ เกิดขึ้นในสารละลาย เมื่อมีปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นจะมี $SOCd(OH)_2$ ที่ผิวของดินเบา ดังสมการ



ดังนั้นพีเอชของสารละลายมีผลต่อการดูดซับโลหะหนักด้วยสารประกอบออกไซด์ที่มีอยู่ในดินเบา โดยที่การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชสูงขึ้น เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนที่ถูกดูดติดอยู่ที่ผิวของสารประกอบออกไซด์ในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูงจะถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและเป็นจำนวนมาก ในขณะที่สารละลายที่มีพีเอชต่ำจะเกิดการดูดซับโลหะหนักบนสารประกอบออกไซด์ได้ไม่มากนัก เนื่องจากในสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้โลหะหนักในรูปไอออนอิสระในสารละลายที่เป็นกรดมีความสามารถในการดูดซับของ

ออกไซด์ได้ต่ำ เพราะไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่เป็นจำนวนมากจะไปแข่งขันกับไอออนของโลหะหนักในการดูดติดกับผิวของสารประกอบออกไซด์ จึงมีการดูดซับโลหะหนักเกิดขึ้นได้น้อย

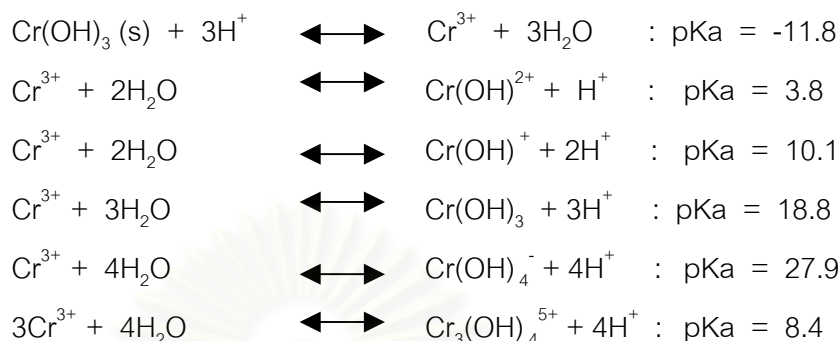
การศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายโครเมียมด้วยดินเบาที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณดินเบา 1.0 กรัม ตามผลที่ได้จากข้อ 4.2.2 และปรับค่าพีเอชเป็น 2, 3, 4 และ 5 เนื่องจากที่ค่าพีเอชสูงกวานี้สารละลายจะตกตะกอน แล้วนำไปเขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีค่าเท่ากับ 98.34%, 98.77%, 98.84% และ 99.83% ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะมีค่าสูงสุดเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.84% และ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา ที่ค่าพีเอชของสารละลาย เท่ากับ 2 นั้นมีความแตกต่างกับประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา ที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 3, 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าพีเอชหลังจากที่สารละลายสัมผัสกับดินเบา นั้นจะสูงขึ้นไปเป็นพีเอชในระดับที่เกิดการตกตะกอน ดังนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบาในน้ำเสียสังเคราะห์จึงเกิดขึ้น โดยกระบวนการดูดซับควบคู่ไปกับกระบวนการตกตะกอน เมื่อส่วนผลสมระหว่างน้ำเสียและดินเบาที่มีค่าพีเอชในระดับที่เกิดการตกตะกอนของโครเมียม สำหรับการดูดซับโครเมียมที่เพิ่มขึ้นตามค่าพีเอชนั้นเป็นการยืนยันว่าการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายโดยค่าพีเอชจะมีผลต่อประจุบริเวณผิวหน้าของสารดูดซับ กล่าวคือเมื่อสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบดินเบาสัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในสารละลาย ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบสารประกอบออกไซด์จะเคลื่อนย้ายมาสู่ออกซิเจนที่ประกอบอยู่ตรงชั้นผิวของสารประกอบออกไซด์ ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถรับและให้ไฮโดรเจนไอออนได้ดังสมการ (Leckie, 1986 ; Dzombak and Morel, 1990)



โดย SOH คือ ผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ในดินเบาหลังจากสัมผัสกับน้ำ

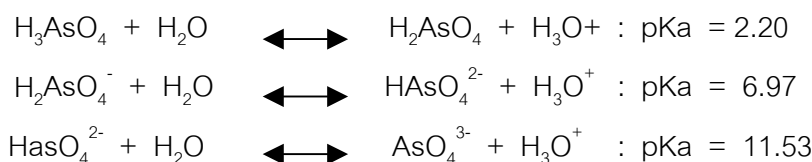
โครเมียมที่อยู่ในน้ำเสียสามารถแตกตัวอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ Cr(OH)^{2+} , $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$, Cr(OH)_2^+ , Cr(OH)_3 และ Cr(OH)_4^- ตามปฏิกิริยา ดังสมการ



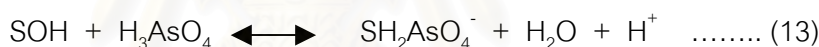
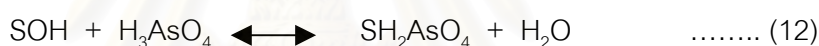
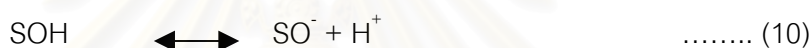
จากการทดลองค่าพีเอชที่ทำการศึกษายู่ในช่วงเป็นกรด ซึ่งจะมีผลให้โลหะออกไซด์ที่ผิวของดินเบามีการสูญเสีย H^+ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการดูดซับของสารประกอบออกไซด์ของโลหะกับ โครเมียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Achraf (2001) ที่ทำการศึกษาดูดซับ โครเมียม (ประจุ+3) ด้วย expanded perlite โดยพบว่าที่พีเอชต่ำกว่าค่า PZC (เท่ากับ 7.5) โครเมียมจะมีประจุบวก และที่พีเอชสูงกว่าค่า PZC โครเมียมจะเป็นประจุลบ ซึ่งตรงกันข้ามกับพื้นผิวของ expanded perlite ที่พื้นผิวจะเป็นลบที่พีเอชต่ำกว่าค่า PZC และจะเป็นบวกที่พีเอชมีค่าสูงกว่าค่า PZC จึงทำให้โครเมียม (ประจุ +3) ถูกดูดซับบน expanded perlite ได้ดี

การศึกษาผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา ที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการปรับค่าพีเอชเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1.0 กรัม เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกมีค่าเท่ากับ 98.34%, 98.52%, 98.43%, 98.27%, 98.46% และ 98.36% ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด ที่ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.52 % และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติในช่วงความเชื่อมั่น 95% พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด อาร์เซนิกที่ค่าพีเอชของสารละลายต่างๆมีค่าไม่แตกต่างกัน

อาร์เซนิกที่อยู่ในน้ำเสียสามารถแตกตัวอยู่ในรูปต่าง ๆ คือ H_3AsO_4 , H_2AsO_4^+ , HAsO_4^{2-} และ AsO_4^{3-} ในช่วงพีเอช <2, 3-6, 8-10 และ > 12 ตามปฏิกิริยา ดังสมการ



จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า กระบวนการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผาได้ ว่า กระบวนการดูดซับทางเคมีที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของดินเบาเผากับอาร์เซนิกนั้น อาศัยกลไกการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนออกไซด์ของโลหะที่บนผิวของดินเบาเผากับสารละลายอาร์เซนิก ดังแสดงตามสมการ



ซึ่ง Stephen (1997) กล่าวว่า ค่าพีเอชมีผลต่อกระบวนการดูดซับอาร์เซนิกในดิน คือ ประสิทธิภาพในการดูดซับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายต่ำๆ หรือมีความเป็นกรดอย่างแรง มากกว่าการดูดซับในสภาวะที่สารละลายเป็นด่างหรือสภาวะรีดักชัน ซึ่งจะมีอาร์เซนิก (ประจุ+3) มากกว่าอาร์เซนิก (ประจุ+5)

4.2.4 ผลของช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับ

การศึกษาผลของช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบา ตามปริมาณดินเบา และค่าพีเอชที่เหมาะสม จากข้อ 4.2.3 กับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ช่วงเวลาสัมผัสที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดของโลหะทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.10

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมมีค่าเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาสัมผัส โดยมีค่า 99.56 %, 99.78 %, 99.83 % และ 99.85 % ที่ช่วงเวลาสัมผัส 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ แล้วเริ่มกำจัดได้คงที่ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด 99.92 %, 99.93 % และ 99.94 % ที่ช่วงเวลาสัมผัส 10, 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ผลปรากฏว่า ที่ช่วงเวลาสัมผัส 2 ชั่วโมงให้ผลของประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างจากช่วงเวลาสัมผัส 4, 6, 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ช่วงเวลาสัมผัส 4 ชั่วโมง แตกต่างจากช่วงเวลาสัมผัส 10, 12 และ 24 ชั่วโมง ส่วนผลของช่วงเวลาสัมผัสที่ 10, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นไม่แตกต่างกัน

ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมก็เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาสัมผัสเช่นเดียวกัน โดยมีค่า 98.56 %, 98.79 %, 98.66 % และ 98.72 % ที่ช่วงเวลาสัมผัส 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ จากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างจะคงที่ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด 98.82 %, 98.77 % และ 98.83 % ที่ช่วงเวลาสัมผัส 10, 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าช่วงเวลาสัมผัสไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ

สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผาตามความเข้มข้นปริมาณดินและค่าพีเอช ที่เหมาะสมจากข้อ 4.2.3 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นที่ช่วงเวลาสัมผัสหนึ่ง คือ ที่ช่วงเวลาสัมผัส 2, 4 และ 6 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 99.09 %, 99.70 % และ 99.96 % ตามลำดับ แล้วหลังจากนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลง ที่ช่วงเวลาสัมผัส 8, 10, 12 และ 24 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92 %, 99.76 % และ 99.58% และ 97.18 % ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่า ช่วงเวลาสัมผัสไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ

เมื่อพิจารณาผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมโครเมียม และ อาร์เซนิก จะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วคงที่ที่ช่วงเวลาสัมผัสค่าหนึ่ง ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด แคดเมียม และ โครเมียมมีค่าสูงที่สุดที่ช่วงเวลาสัมผัส เท่ากับ 10 ชั่วโมง ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิก มีค่าสูงที่สุดที่ช่วงเวลาสัมผัสหนึ่งแล้วจะลดลง โดยช่วงเวลา

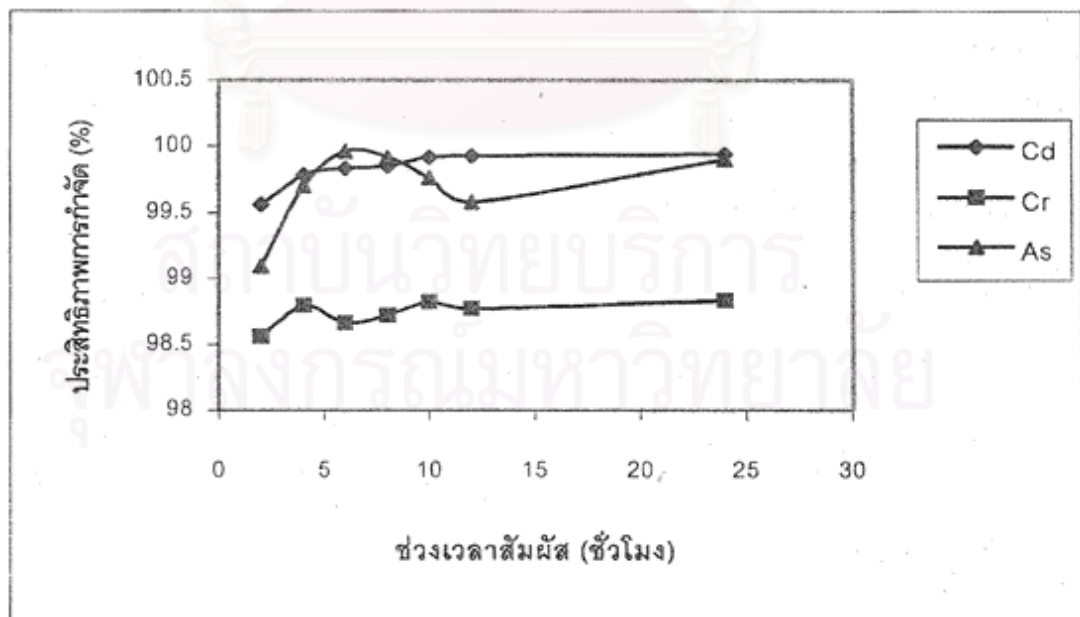
สัมผัสที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือ ช่วงเวลาสัมผัส เท่ากับ 6 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือก ช่วงเวลาสัมผัสดังกล่าวมาเป็นช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดต่อไป

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ

ช่วงเวลาสัมผัส (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)		
	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิก*
2	99.56±0.04 ^a	98.56±0.12 ^a	99.09±0.12 ^a
4	99.78±0.03 ^b	98.79±0.14 ^a	99.70±0.44 ^a
6	99.83±0.03 ^{bc}	98.66±0.11 ^a	99.96±0.02 ^a
8	99.85±0.03 ^{bd}	98.72±0.03 ^a	99.92±0.07 ^a
10	99.92±0.04 ^{cd}	98.82±0.10 ^a	99.76±0.13 ^a
12	99.93±0.03 ^d	98.77±0.03 ^a	99.58±0.03 ^a
24	99.94±0.01 ^d	98.83±0.08 ^a	99.90±0.12 ^a

หมายเหตุ ตัวเลขที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (sig. 0.05)

* ดูดซับด้วยดินเบาเผา



รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายโลหะหนักที่ช่วงเวลาสัมผัสต่างๆ

4.3 ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

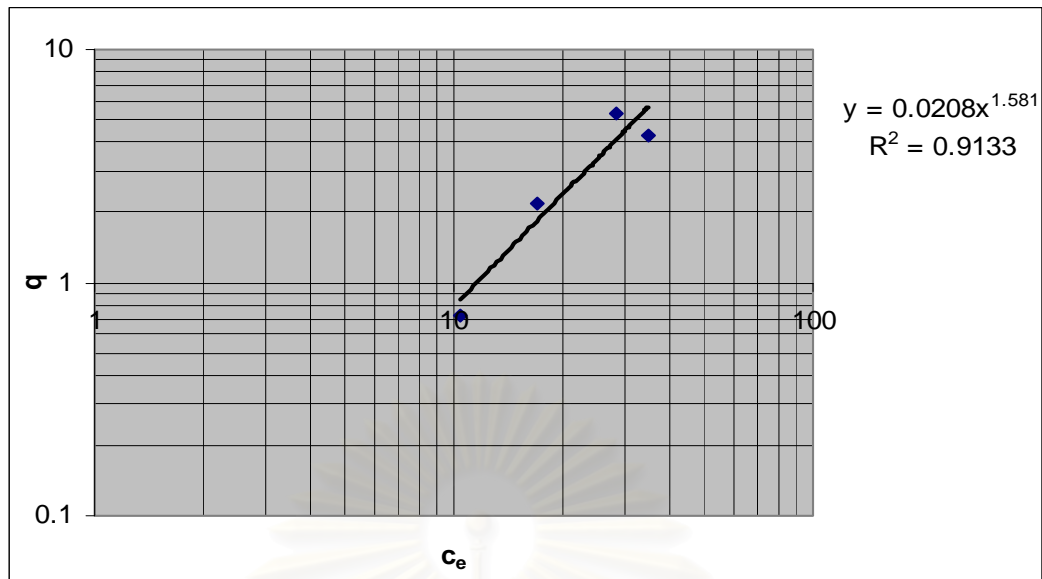
ผลการศึกษาการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับจะทำการทดลองแบบแบชท์ โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น และ ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2 มีดังนี้

จากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับแคดเมียมด้วยดินเบา โดยหาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดที่ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยดินเบาปริมาณ 0, 0.1, 0.2, 1.0 และ 4.0 กรัม พบว่า การดูดซับแคดเมียมด้วยดินเบา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช โดยมีค่า $1/n$ เท่ากับ 1.581 ซึ่งค่า $1/n$ ที่สูงๆ นั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับดีเมื่อความเข้มข้นสูง แต่เกิดขึ้นได้น้อยที่ความเข้มข้นต่ำๆ และมีค่า K เท่ากับ 0.0208 ซึ่งแสดงถึงความสามารถสูงสุดในการดูดซับแคดเมียมของดินเบา ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.7 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา

น้ำหนักดินเบา (กรัม)	ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
0	38.97	0
0.1	34.73	10.88
0.2	28.30	27.38
1.0	17.00	56.38
4.0	10.35	73.44

จากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับโครเมียมด้วยดินเบา โดยหาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดที่ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยดินเบาปริมาณ 0, 0.1, 0.2, 1.0 และ 4.0 กรัม พบว่า การดูดซับโครเมียมด้วยดินเบา นั้นไม่เป็นไปตามสมการไอโซเทอมของการดูดซับ เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา นั้นเกิดจากการตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่

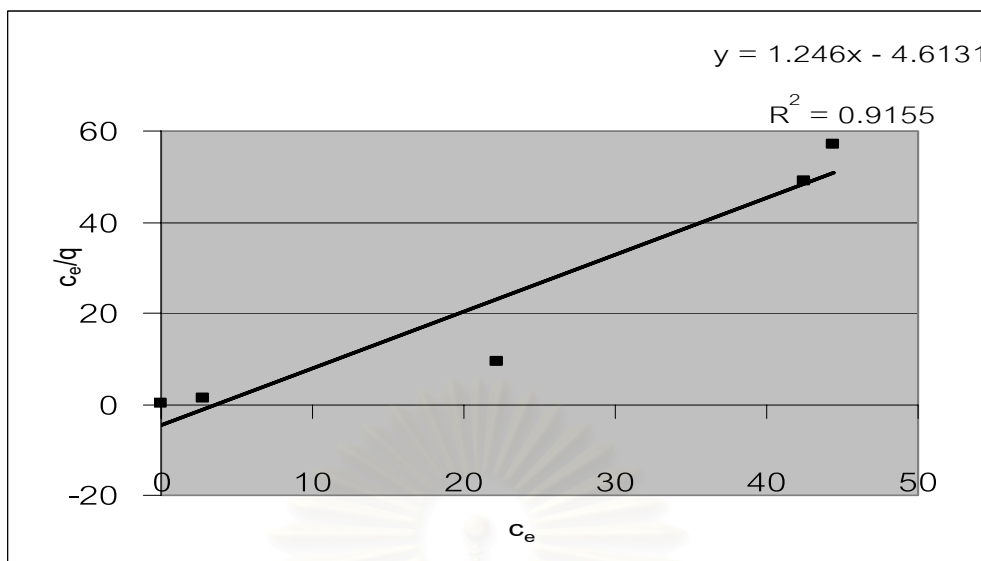


รูปที่ 4.11 แสดงความสามารถสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบา

จากผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา โดยหาประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดที่ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยดินเบา ปริมาณ 0, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม พบว่า การดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์ โดยมีค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับอาร์เซนิกเท่ากับ 0.803 ซึ่งหาได้จากส่วนกลับของความชันของกราฟ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 ความสามารถสูงสุดในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา

น้ำหนักดินเบา (กรัม)	ความเข้มข้นของอาร์เซนิกที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)
0	45.96	0
0.2	44.40	3.39
0.4	42.47	7.60
1.0	22.20	51.70
2.0	2.80	93.91
4.0	0.05	99.89



รูปที่ 4.12 แสดงความสามารถสูงที่สุดในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา

4.4 ผลการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาและดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับโลหะทั้ง 3 ชนิด โดยวิธี Leaching test

ผลการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาและดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับ แคดเมียม โครเมียม และอาร์เซนิก โดยวิธี Leaching test ซึ่งปรับปรุงจากวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ.2540) โดยนำดินเบาและดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับจากข้อ 4.2 มาบดเป็นผง เติมน้ำฝนสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดซัลฟูริก จนส่วนผสมมีค่าพีเอชเท่ากับ 5 ให้มีอัตราส่วนของปริมาณน้ำฝนสังเคราะห์เป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของดินเบา จากนั้นนำมาเขย่า 60 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.9 ผลการศึกษาการคายออกจากผิวของโลหะทั้ง 3 ชนิด โดยวิธี Leaching test

ชนิดของกากตะกอน	ความเข้มข้น	ประสิทธิภาพการกำจัด	ปริมาณที่ชะละลายออกมา		ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
			มิลลิกรัมต่อลิตร	ร้อยละ	
แคดเมียม	40	99.88 %	0.02	0.08	1.0
โครเมียม	40	99.85 %	0.53	1.77	5.0
อาร์เซนิก*	40	99.95 %	13.78	31.30	5.0

หมายเหตุ * ดูดซับด้วยดินเบาเผา

ผลการทดลองการคายออกจากผิวของ แคลเซียม และ โครเมียม มีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ที่กำหนดระดับแคลเซียมและโครเมียมไว้ไม่เกิน 1.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าดินเบาที่มีค่าการคายออกของแคลเซียมและโครเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้นดินเบาที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำไปกำจัดได้ด้วยวิธีการฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลได้

สำหรับผลการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับอาร์เซนิก มีค่าเท่ากับ 13.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ ซึ่งเท่ากับ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงถือได้ว่ากากตะกอนที่เกิดขึ้นจัดอยู่ในข่ายของสารพิษ ซึ่งควรจะต้องมีการนำไปทำลายฤทธิ์ โดยทำให้อาร์เซนิกถูกยึดไว้และไม่สามารถแสดงคุณสมบัติทางเคมีออกมาได้ก่อนที่นำไปฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลต่อไป

4.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบาและดินเบาเผาที่น้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่

การศึกษากำจัดโครเมียม อาร์เซนิก และ ตะกั่ว ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ดินเบาและดินเบาเผา 1.0 กรัม โดยนำมาดูดซับน้ำเสียที่ได้จากตำแหน่งบ่อรวมน้ำเสียของโรงงานผลิตแบตเตอรี่แห่งหนึ่ง ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีความเข้มข้นของโครเมียมอาร์เซนิกและตะกั่วเท่ากับ 0.23, 0.42 และ 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชเท่ากับ 1.59 ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิตร ระยะเวลาสัมผัสที่ใช้คือ 1 ชั่วโมง เขย่าด้วยความเร็ว 100 รอบ ต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ประสิทธิภาพในการกำจัดดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการดูดซับของดินเบาและดินเบาเผาที่น้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัด	ค่ามาตรฐาน
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		
ตะกั่ว	5.89	<0.05	>99 %	0.2
โครเมียม	0.23	<0.05	>99 %	0.5
อาร์เซนิก	0.42	<0.05	>99 %	0.25
พีเอช	1.59	5.62 5.36*		5-9

หมายเหตุ * ดูดซับด้วยดินเบาเผา

ผลการทดลองพบว่า ดินเบาสามารถกำจัดโครเมียมและตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ได้ดีจนปริมาณของโครเมียมและตะกั่วที่เหลืออยู่หลังการดูดซับนั้นต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยดินเบาพบว่า ปริมาณอาร์เซนิกที่เหลืออยู่นั้นมีค่าต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรเช่นกัน ส่วนค่าพีเอชหลังการเติมดินเบาและดินเบาเผามีค่าเท่ากับ 5.62 และ 5.36 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ดินเบาและดินเบาเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม อาร์เซนิกและตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ได้ โดยปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่เหลืออยู่และค่าพีเอชหลังการทดลองมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของดินเบากับตัวดูดซับอื่นๆ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักด้วยดินเบากับตัวดูดซับชนิดอื่นๆที่เคยมีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว มีดังนี้

จากงานวิจัยของ จันทรีนา สงวนรุ่งวงศ์ ในปี พ.ศ. 2539 ทำการศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ถ้ำลอย พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะต่างๆขึ้นอยู่กับ ค่าพีเอช เวลา และความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนัก สำหรับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแคดเมียม คือ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 10 ที่เวลา 30 นาที โดยได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 99.12 % และยังพบว่า การทดสอบการชะละลายของแคดเมียมถูกชะละลายออกมาสูงเกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงาน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดินเบาเป็นตัวดูดซับแคดเมียมนั้น จะเห็นได้ว่าดินเบามีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าใช้ถ้ำลอย คือ ดินเบาสามารถดูดซับแคดเมียมที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92 % และยังมีค่าการชะละลายที่ไม่สูงเกินค่ามาตรฐาน ดังแสดงตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมด้วยดินเบากับใช้ถ้ำลอย

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ปริมาณการชะละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ดินเบา	40	2.0	99.92	0.02
ใช้ถ้ำลอย	10	1.25	99.12	8.21

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผา กับ ไคโตรแซนจากงานวิจัยของ รามนรี เนตรวิเชียร ในปี พ.ศ. 2543 (2543) ทำการศึกษาเรื่องการจัดสรรหนูในรูปอาร์เซนิตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไคโตรแซนแบบเม็ดทำโดยใช้ปฏิกรณ์แบบชุด ชนิดผสม สมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าดินเบาเผามีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์เซนิกได้ดีกว่าไคโตรแซน คือ ดินเบาเผาสามารถกำจัดอาร์เซนิกที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สูงถึง 99.96 % ส่วนไคโตรแซนสามารถกำจัดอาร์เซนิกที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้เพียง 76.00 % ดังแสดงในตารางที่ 4.12 อีกทั้งดินเบาเผานั้นสามารถเตรียมได้ง่ายกว่าการผลิตไคโตรแซนมาก

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผากับไคโตรแซน

ชนิดของตัวดูดซับ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	ประสิทธิภาพ การกำจัด (%)	ปริมาณการชะละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ดินเบาเผา	40	1.0	99.96	13.78
ไคโตรแซน	1	0.5	76.00	2.78

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าดินเบาและดินเบาเผาเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพดีกว่าซีเถ้าลอยและไคโตรแซน ในการกำจัดแคดเมียมและอาร์เซนิกในน้ำเสีย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการดูดซับแคดเมียม (ประจุ+2) โครเมียม (ประจุ+3) และอาร์เซนิก (ประจุ+5) ด้วยดินเบาและดินเบาเผา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการศึกษาลักษณะสมบัติของดินเบาและดินเบาเผา พบว่าดินเบาและดินเบาเผา มีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ SiO_2 , Fe_2O_3 และ Al_2O_3

2. ดินเบาไม่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิก ในช่วงความเข้มข้นที่ทำการศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาใช้ในการดูดซับ

3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักด้วยดินเบา พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาณดินเบา ค่าพีเอช และช่วงเวลาสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์สูงขึ้น แต่จะพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณดินเบา ค่าพีเอช และช่วงเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับมีดังนี้

3.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 5 ใช้ดินเบาเท่ากับ 2.0 กรัม ที่ช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 ชั่วโมง

3.2 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของน้ำเสียเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม และช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 10 ชั่วโมง

3.3 สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิกในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบาเผา คือ ความเข้มข้นของน้ำเสียเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 4 ใช้ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม และช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 6 ชั่วโมง

4. ผลการทดสอบไอโซเทอมการดูดซับ พบว่า การดูดซับแคดเมียมด้วยดินเบา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรุนดลิช การดูดซับโครเมียมด้วยดินเบา นั้นไม่เป็นไปตามสมการไอโซเทอมของการดูดซับ เนื่องจาก ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมด้วยดินเบา

นั้นเกิดจากการตกตะกอนเป็นส่วนใหญ่ และการดูดซับอาร์เซนิกด้วยดินเบาเผาเผา นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงมัวร์

5. การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาที่ผ่านการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด โดยวิธี Leaching test พบว่าการชะละลายของแคดเมียมและโครเมียมมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ซึ่งกากตะกอนที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำไปฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลได้ แต่ ดินเบาไม่เหมาะสมในการดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ทำการศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมาใช้ในการดูดซับการชะละลายของอาร์เซนิกจากดินเบาเผาที่มีค่าเกินจากค่ามาตรฐาน ดังนั้นต้องมีการทำลายฤทธิ์กากตะกอนก่อนที่จะนำไปฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล

6. การนำดินเบาและดินเบาเผามากำจัดโครเมียม อาร์เซนิกและตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ พบว่าดินเบาและดินเบาเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม อาร์เซนิก และ ตะกั่วได้ โดยค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่ และ ค่าพีเอช ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ด้วยดินเบาและดินเบาเผา ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสามารถของดินเบาและดินเบาเผาในการกำจัดสารอื่น ๆ ได้ดียิ่งขึ้น

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ สามารถทดสอบและแปรผันตัวแปรอื่นๆ เช่น ความเร็วในการเขย่า อุณหภูมิ ขนาดอนุภาคของดิน เพื่อหาสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดียิ่ง ๆ ขึ้น

3. ศึกษาการนำกากตะกอนดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับไปทำลายฤทธิ์ก่อน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการชะละลายกลับออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

4. ควรมีการนำผลการทดลองไปประยุกต์กับการทดลองในระดับที่ใหญ่ขึ้น เพื่อสามารถไปใช้กับการบำบัดน้ำเสียในระบบจริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จันทร์นา สงวนรุ่งวงศ์. 2539. การกำจัดโลหะหนักในน้ำโดยใช้ซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรอณิภา หมั่นเหล็ก. 2543. ประสิทธิภาพของแร่ดินเบาในการดูดซับธาตุเป็นพิษจากสารละลายกากแร่โดยวิธี Column Leaching Experiment กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี.
- มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์.
- รามนรี เนตรวิเชียร. 2543. การกำจัดสารหนูในรูปอาร์เซนิตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้โคโคแซนแบบเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อธิชา บวรพัฒนานนท์. การเตรียมสารของแข็งรองรับจากไดอะตอมไมต์ในประเทศไทยสำหรับโครมาโตกราฟีคอลอรั่ม. 2527. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2540. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

- Agdi, K., and others. 2000. Removal of Atrazine and Chlorpyrifos from Aqueous Solution by Adsorption on Diatomaceous Earth – Competitive Adsorption. The International Journal of Environmental Studies. 3.
- Agdi, K., and others. 2001. Comparative Study of Adsorption Capacity of Various Adsorbents for Nitrite Removal from Dairy Wastewaters. The International Journal of Environmental Studies. 4.
- Aualitia, T. U., and Pickering, W. F. 1986. The specific Soption of Trace Amounts of Cu, Pb, and Cd By Inorganic Particulates. Water, air, and Soil pollut. 35: 171-185.

- Benjamin, M. M., and Leckie, J. O. 1980. Adsorption of Metal at Oxide Interface : Effect of The Concentrations of Adsorbate and Competing Metals. In R.A.Baker (eds.), pp.305-322, Contaminants and Sediments Vol.2. Michigan: Ann Arbor Science.
- Chang, J. S. 1991. Treatment of Leachate from Coal Stockpile of Mae Moh Power Plant in Lampang, Thailand. Master 's Thesis, Asian Institute of Technology.
- Diamadopoulos, E., Ioannidis, S., and Sakellaropoulos, G.P. 1993. As(V) Removal from Aqueous Solution by Fly Ash. Water Research. 12: 1773-1777.
- Dikshit, A. K. 2000. Arsenic in Groundwater and Its Sorption by Kimberlite Tailing. Journal of environmental science and health Part A-toxic/hazardous substances & environmental engineering. 35(1): 65-85.
- Dzombak, D. A., and Morel, F. M. M. 1990. Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide. New York: John Wiley & Sons.
- Faust, S. D., and Aly, O. M. 1987. Adsorption Process for Water Treatment. United states of Ammerica : Butterworth Publishers.
- Fendorf, S., Eick, M. J. and Grossl, P. 1997. Arsenate and Chromate Retention Mechanisms on Goethite. 1. Surface Structure. Environmental Science Technology. 31(2): 315-320.
- Huang, C. P., and Wu, M. H. 1977. The Removal of Chromium (VI) from Dilute Aqueous Solution by Activated carbon. Water Res. 11 : 673-675.
- Kinniburgh, D. G., and Jackson, M. L. 1981. Cation Adsorption by Hydrous Metal Oxides and Clay. In M.A.Anderson, and A.J.Rubin(eds.),pp. 91-160, Adsorption of Inorganics at Solid-Liquid Interfaces. Michigan: Ann Arbor Science.
- Lai, C. H., and others. 2001. Adsorption Characteristics of Cadmium and Lead on The Goethite-Coated Sand Surface. Journal of environmental science and health Part A-toxic/hazardous substances & environmental engineering. 36(5): 747-763.
- Leckie, J. O. 1986. Adsorption and Transformation of Trace Element Species at Sediment / Water Interface. In M. Bernhard, F.E. Brinckman, and P.J. Sadler

- (eds.), pp.237-254, The Importance of Chemical "Speciation" in Environmental Process. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.
- Lo, S. L., Jeng, H. T., and Lai, C. H. 1997. Characteristics and Adsorption Properties of Iron-Coated Sand. Water Science and Technology. 35(7): 63-70.
- Liu, Y., Lam, M. C. and Fang, H. H. P. 2001. Adsorption of Heavy Metal by EPS of Activated Sludge. Water Science and Technology. 43: 59-66.
- Mazouak, A., and Azmani, A. 2001. A New Adsorbent for the Efficient Elimination of Heavy Metal from Industrial Dismissals of Tetouan Area. The International Journal of Environmental Studies. 4.
- Namasivayam, C. and Ranganathan, K. 1995. Removal of Pb(II), Ni(II) and Mixture of Metal Ions by Adsorption onto 'Waste' Fe(III)/Cr(III) Hydroxide and Fixed Bed Studies. Environmental Technology. 16: 851-860.
- Nemerow, N. L. and Dasgupta, A. 1991. Industrial and Hazardous Waste Treatment. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Neubauer, U., and others. 2000. Heavy Metal Sorption on Clay Mineral Affect by The Siderophore Desferrioxamin B. Environmental Science Technology. 34: 2749-2755.
- Pandy, K. K., and others. 1987. Fly Ash for The Treatment of Cd(II) Rich Effluents. Environmental. Technology. 14: 225-234.
- Satpathy, J. K., and Chaudhuri, M. Treatment of Cadmium-plating and Chromium-plating Waste by Ion Oxide-Coated Sand. Water Environment Research. 67 (1995): 788-790.
- Stephen Heinemeier. 1997. Arsenic and Man[online]. Available from : <http://lava.Tamu.Edu/courses/geo1420/audit/arsenicsh96/arsenicsh.html>. [2003, March 21]



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า 'ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช่วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)' รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความน้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงแหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคณูงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นใน

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่เกินมากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้ 2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่เกินกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกินกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนด แต่ต้องไม่เกินกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1ปรอท (Mercury) ไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่เกินกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

- 4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
- 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า > 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (6) ไฮยาไนต์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนต์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (9) คลอรีนอิสระ
- (10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ไม่ต้องมี
- (11) อุณหภูมิ ไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- (12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- (13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- (14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (15) ค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน

อุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเรกต์แอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์เจเนชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลีคัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน โคลด์ เวปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไทเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนติ

ไพรีน(Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมา

โตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าที่เคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต

(Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย American Water

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.

2539

ไชยวัฒน์ สิ้นสูงค์

(นายไชยวัฒน์ สิ้นสูงค์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

(นายเสถียร วีระวงศ์)

เจ้าหน้าที่บริหารงานธุรการ 5

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)
ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 13(3) ข้อ 13(3)(ก) และข้อ 13(3)(ข) แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ผู้ประกอบกิจการโรงงานที่มีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ทำयประกาศนี้ ต้องดำเนินการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามที่กำหนดในข้อ 2 และ ข้อ 3

ข้อ 2 ห้ามมิให้นำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามข้อ 1 ออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่จะได้รับการอนุญาตจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม หรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมายให้นำออกไปเพื่อการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังด้วยวิธีการและสถานที่ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในภาคผนวก ที่ 2 ทำยประกาศนี้

ข้อ 3 ต้องแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับชนิด ปริมาณ ลักษณะ คุณสมบัติและสถานที่เก็บสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้น ๆ พร้อมทั้งวิธีการเก็บ ทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง ฝัง เคลื่อนย้าย และการขนส่ง ตามแบบ ร.ง.6 ทำยประกาศนี้ต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมภายในกำหนด 90 วันนับแต่ประกาศนี้มีผลใช้บังคับ ยกเว้นผู้ประกอบกิจการโรงงานซึ่งประกอบกิจการโรงงานภายหลังจากประกาศนี้มีผลใช้บังคับ ให้แจ้งภายในกำหนด 90 วันนับแต่วันที่เริ่มประกอบกิจการโรงงานต้องแจ้งรายละเอียดตามวรรคหนึ่งครั้งต่อไปทุกปีภายในวันที่ 30 ธันวาคม และการแจ้งให้สามารถส่งทางไปรษณีย์ลงทะเบียนตอบรับได้ โดยให้ถือว่าวันที่พนักงานไปรษณีย์ได้ส่งเป็นวันที่แจ้ง

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันถัดจากวันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540

(นายกร ทัพพะรังสี)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 114 ตอนพิเศษ 106ง วันที่ 13 พฤศจิกายน 2540

ภาคผนวกที่ 2

หลักเกณฑ์และวิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ทำยประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ข้อ 1 การทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วตามที่กำหนดในภาคผนวกที่ 1 ให้ผู้ประกอบกิจการโรงงานดำเนินการโดยวิธีการบำบัด (Treatment) หรือการกำจัด (Disposal) วิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรือหลายวิธีต่อเนื่องกัน (Chain treatments) ขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปนื้อกมลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ๆ ซึ่งต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมหรือผู้ซึ่งอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรมมอบหมาย ดังต่อไปนี้

1.1 การบำบัดโดยวิธีฟิสิกส์ (Physical treatment) ได้แก่

1.1.1 การเหวี่ยงแยก (Centrifugation)

1.1.2 การกลั่นแยกด้วยไอน้ำ (Steam distillation and Steam stripping)

1.1.3 การกรองผ่านตัวกรองหลายชั้น (Multi-media filtration)

1.1.4 การกรอง แยกด้วยเยื่อเมมเบรน (Reverse osmosis, Micro-/Ultra-filtration)

1.1.5 การทำระเหย (Evaporation)

1.1.6 การแยกด้วยฟองอากาศ (Air flotation)

1.1.7 การแยกด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravity thickening)

1.1.8 การแยกด้วยเครื่องแยกน้ำและน้ำมัน (Oil/water separator or Coalescence separator)

1.2 การบำบัดโดยวิธีเคมี-ฟิสิกส์ (Physical/chemical treatment) ได้แก่

1.2.1 การชะล้างดิน (Soil washing)

1.2.2 การแยกด้วยอากาศ (Air stripping)

1.2.3 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption)

1.2.4 การจับตัวตกตะกอน (Precipitation/Flocculation)

1.2.5 การแยกด้วยอากาศละลายน้ำและสารเคมี (Dissolved air flotation)

1.2.6 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange)

1.2.7 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid/liquid extraction)

1.2.8 การกรองรีดน้ำ (Filter press, dewatering, vacuum filtration and belt-press)

filtration)

1.3 การบำบัดโดยวิธีเคมี (Chemical treatment) ได้แก่

1.3.1 การปรับค่าความเป็นกรดต่างและทำให้เป็นกลาง(Neutralizaion and pH adjustment)

1.3.2 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน (Oxidation/reduction reactions)

1.3.3 การทำลายความเป็นพิษด้วยก๊าซโอโซน หรือรังสีเหนือม่วง (Ozonation and UV/ozonation)

1.3.4 การแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis)

1.3.5 การตกตะกอน (Precipitation)

1.3.6 การทำลายคลอรีนอิสระ (Dechlorination)

1.3.7 การทำลายสารประกอบฮาโลเจน (Dehalogenation)

1.4 การบำบัดโดยวิธีชีวภาพ (Biological treatment) ได้แก่

1.4.1 ถังปฏิกิริยาชนิดฟิล์มตรึง (Attached film reactors)

1.4.2 ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

1.4.3 ระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

1.4.4 การหมัก (Composting)

1.4.5 ระบบบ่อฝัง (Stabilization ponds)

1.4.6 การย่อยสลายทางชีวภาพแบบอยู่กับที่ (In situ biological decomposition)

1.4.7 การทำลายพิษทางชีวภาพ (Biological detoxification)

1.5 การบำบัด หรือการกำจัดโดยกระบวนการใช้ความร้อน (Thermal processes for treatment and/or disposal) ได้แก่

1.5.1 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Wet-air oxidation)

1.5.2 การฉีดเผาในรูปของเหลว (Liquid injection incineration)

1.5.3 การเผาในเตาเผาซีเมนต์ และการเผาในเตาหมุน (Cement kiln incineration and Rotary kiln incineration)

1.5.4 การเผาในเตาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed incineration)

1.5.5 การทำระเหยด้วยแสงแดด (Solar evaporation)

1.6 การบำบัดโดยกระบวนการปรับเสถียร กระบวนการตรึงสาร กระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Stabilization/fixation/solidification processes) ได้แก่

- 1.6.1 การห่อหุ้มในแก้วหลอม (Molten glass)
- 1.6.2 การตรึงด้วยสารเคมี (Chemical fixation)
- 1.6.3 การทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยสารประสาน (Pozzolan and cement based solidification)
- 1.6.4 การห่อหุ้มด้วยสารเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic encapsulation)
- 1.6.5 การทำเป็นโพลิเมอร์ (Polymer encapsulation)
- 1.7 การบำบัด หรือการกำจัดแบบ land treatment and/or disposal ได้แก่
 - 1.7.1 การทำลายฤทธิ์ในหน้าดิน (Land farming)
 - 1.7.2 การพ่นรดน้ำ (Spray irrigation)
 - 1.7.3 การฝังกลบอย่างปลอดภัย (Engineered, secured landfill)
 - 1.7.4 การเก็บบนพื้นดินระยะยาว (Above ground long-term storage)
 - 1.7.5 การฉีดลงชั้นน้ำใต้ดินลึก (Deepwell injection)

1.8 ผู้ประกอบกิจการโรงงานสามารถใช้วิธีการทำลายฤทธิ์ กำจัด ทิ้ง หรือฝังสิ่งปฏิกูล หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วโดยวิธีการอื่น ๆ ที่ต่างไปจากที่กำหนดไว้ในข้อ 1.1 ถึงข้อ 1.7 หรือใช้วิธีการอื่น ๆ ที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าได้ผลเทียบเท่าหรือดีกว่าวิธีที่กำหนดไว้ หรือเป็นวิธีการที่ลดปริมาณของสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งจะต้องนำไปกำจัด ได้โดยการปรับสภาพหรือคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วนั้นให้นำมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Reuse/recycle) ได้อย่างปลอดภัย ได้แก่ การนำกลับคืนมาใช้ของตัวทำละลาย (Solvent recovery) น้ำมัน (Oil recovery) กรด (Acid regeneration) และโลหะ (Metals recovery) หรือการทำเชื้อเพลิงผสม (Fuels blending) เพื่อใช้ในการเผาไหม้ในเตาเผาอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ (Co-incineration in industrial kilns/furnaces) หรือการแลกเปลี่ยนของเสีย (Wastes exchange) เพื่อใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิต ตลอดจนการใช้บริการการดำเนินการต่าง ๆ ดังกล่าวของบุคคลอื่นแทน

ข้อ 2 สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) แล้ว จะต้องมีความสมบัติดังต่อไปนี้

2.1 สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย

2.2 มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์ในการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ตามวิธีการที่ระบุในข้อ 3 ก่อนการนำไปฝังกลบ

ข้อ 3 การสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

3.1 การสกัดสารเพื่อทดสอบหาปริมาณสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable) จากสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว และเพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์หรือปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์แล้วนั้น ให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

3.1.1 หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเป็นของเหลว หรือมีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ให้กรองตัวอย่างนั้นด้วยแผ่นกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน แล้วนำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2

3.1.2 หากตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มีของแข็ง (Dry solids) ปะปนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.5 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) บดตัวอย่างสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้เป็นผง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร

(2) นำตัวอย่างที่ได้จาก (1) หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic acid rain extraction fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนค่าความเป็นกรดต่างพีเอช (pH) ของส่วนผสม (Mixture) มีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของส่วนผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

(3) เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

(4) กรองสารละลายจากการสกัด (Leachate) ด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

(5) นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ตามข้อ 3.2

3.2 การวิเคราะห์หาค่าสารอันตรายต่างๆ ในของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วจากข้อ 3.1.1

หรือข้อ 3.1.2 ให้ใช้วิธีมาตรฐาน US EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ.2539 ในกรณีที่เกิดการวิเคราะห์ของสารละลายจากการสกัด (Leachate) มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานดังที่ระบุในข้อ 5 หมวด 1 ของภาคผนวกที่ 1 ให้ดำเนินการทำลายฤทธิ์ใหม่ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ/นามสกุล	นางสาวชฎาภรณ์ บุญแท้
วัน เดือน ปี เกิด	15 พฤษภาคม 2520
ภูมิลำเนา	อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี
การศึกษา	
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ระดับปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย