การฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วโดยการล้างด้วย N,N-BIS(CARBOXYMETHYL)-DL-ALANINE TRISODIUM SALT (MGDA)

REMEDIATION OF PB CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH N,N-BIS(CARBOXYMETHYL)-DL-ALANINE TRISODIUM SALT (MGDA)

นายณัฐพงศ์ โพธิ์ศุภสาณนท์

นายธนาวุฒิ วัฒนชัย

นายสรวุฒิ ชำนิศุภาพ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วโดยการล้างด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

REMEDIATION OF Pb CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

นายณธีพงศ์ โพธิ์สุทธานนท์

นางสาวบุลลา วัฒนชัย

นางสาวอุบลวรรณ ชัยพฤกษ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMEDIATION OF Pb CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

NATEEPONG POTHSUTTANON
BULLALA WATTANACHAI
UBONWAN CHAIYAPRUEK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วโดยการล้างด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

นายณธีพงศ์ โพธิ์สุทธานนท์
นางสาวบุลลา วัฒนชัย
นางสาวอุบลวรรณ ชัยพฤกษ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วโดยการล้างด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

REMEDIATION OF Pb CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

ชื่อนักศึกษา นายณธีพงศ์ โพธิ์สุทธานนท์ 52050856

นางสาวบุลลา วัฒนชัย 52050880

นางสาวอุบลวรรณ ชัยพฤกษ์ 52050938

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค	
อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การฟื้นฟูดินปนเปื้อนตะกั่วโดยการล้างด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)
ชื่อนักศึกษา	นายณธีพงศ์ โพธิ์สุทธานนท์
	นางสาวบุลลา วัฒนชัย
	นางสาวอุบลวรรณ ชัยพฤกษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

ในโครงงานพิเศษนี้สาร MGDA ซึ่งย่อยสลายได้ง่ายจะถูกนำมาใช้ล้างดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว ในการวิจัยทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสาร MGDA และ pH ที่เหมาะสมในการล้างดิน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการล้างดินด้วย MGDA และ EDTA การศึกษาจะครอบคลุมไปถึงการสังเกตอิทธิพลของโลหะชนิดอื่น ซึ่งได้แก่ ทองแดง นิกเกิล แคดเมียม และสังกะสี ที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดิน ดินที่ใช้ในการวิจัยเก็บมาจาก ตำบล กฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา หลังจากทำการศึกษาคุณสมบัติพบว่า มีค่า pH 7.8 ,CEC 4.5 meq/100g ,OM 0.7 เปอร์เซ็นต์ ,sand 54.68 เปอร์เซ็นต์, silk 19.69 เปอร์เซ็นต์ และclay 26.29 เปอร์เซ็นต์ ดินชนิดนี้จัดเป็นดิน sandy clay loam ดินถูกนำมาสังเคราะห์ให้ปนเปื้อนโลหะดังนี้ ตะกั่ว (200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตะกั่วผสมทองแดง (ชนิดละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตะกั่วผสมนิกเกิล (ชนิดละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตะกั่วผสมแคดเมียม (ชนิดละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตะกั่วผสมสังกะสี (ชนิดละ 100มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดินสังเคราะห์นำไปล้างด้วยกระบวนการแบบครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมงด้วยอัตราการเขย่า 30 รอบต่อนาที อัตราส่วนดินต่อสารละลายที่ใช้ล้างคือ 1:10 แปรผันความเข้มข้นของ MGDA จาก 0.01 M ถึง 1 M และแปรผันค่า pH ในการล้างจาก 4 ถึง 10 ปริมาณโลหะหนักถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการล้างตะกั่วด้วยสาร MGDA คือ ความเข้มข้น 0.01 M และ pH 7 เมื่อล้างดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว 200 มก/กก ด้วย 0.1 M EDTA ที่ pH 7 และ 0.01 M MGDA ที่ pH 7 จะพบประสิทธิภาพในการล้างดินเป็น 5.19 เปอร์เซ็นต์ และ 7.47 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าตะกั่วจะถูกสกัดออกมาได้มากขึ้นเมื่อมี สังกะสี นิกเกิล และทองแดง ผสมอยู่ในดินตามลำดับ

คำสำคัญ : MGDA การฟื้นฟู ตะกั่ว ดินปนเปื้อน การสกัดลำดับขั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	REMEDIATION OF Pb CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)
Student	Mr. Nateepong Pothsuttanon
	Ms. Bullala Wattanachai
	Ms. Ubonwan Chaiyapruek
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2012
Advisor	Assist.Prof.Dr.Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

In this special project, the biodegradable MGDA solution was used to wash the Pb contaminated soil. The suitable MGDA concentration and pH for washing were studied. The comparison of the MGDA and EDTA washing efficiency was included. The study was also extended to observe the effect of other metals (Cu, Ni, Cd, Zn) to the Pb extraction efficiency. The soil used in this project was from Tumbon Krisana, Amphur Sikue, Nakornratchasrima province. After characterization of the soil, the value of pH , CEC , OM , sand , silk , clay were found to be 7.8, 4.5 meq/100 g ,0.7 % ,54.68 % ,19.69 % and 26.29 %, respectively. The soil was sandy clay loam. The soil was synthesized to contain metals as follow : Pb (200 mg/kg), Pb + Cu (100mg/kg each), Pb + Ni (100mg/kg each), Pb + Cd (100mg/kg each) and Pb + Zn (100mg/kg each). The synthesized soils were washed by batch process at room temperature for 2 hours with 30 rpm shaking rate. The ratio of soil to solution was 1:10. The MGDA concentration was varied from 0.01 to 0.1 M and the pH was varied from 4 to 10. The metal concentration was analyzed by AAS. It was found from the experiment that 0.01 M MGDA and pH 7 was the most suitable condition to wash. When washing the contaminated soil (200 mg/kg) with 0.1 M EDTA at pH 7 and with 0.01 M MGDA at pH 7, the washing efficiencies were 5.19 % and 7.47 %, respectively. It was also found that the Pb was better extracted with the present of Zn, Ni and Cu in soil, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : MGDA , remediation , Pb , contaminated soil, sequential extraction

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาให้ความเมตตาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด และดูแลเอาใจใส่ ตรวจสอบ ติชมผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค และ อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไข รวมถึงตรวจสอบ ติชมผลงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ โครงสร้างและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ MGDA

ขอบขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตร-สโคปี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกจนทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆในสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อมทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จตลอดจนบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวมา ทางผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายณธีพงศ์ โพธิ์สุทธานนท์
นางสาวบุลลา วัฒนชัย
นางสาวอุบลวรรณ ชัยพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	XI
คำย่อและสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ภาวะมลพิษทางดิน (Soil pollution)	4
2.2 โลหะหนัก	4
2.2.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก	4
2.3 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก	5
2.4 ตะกั่ว	5
2.5 ทองแดง	6
2.6 นิกเกิล	7
2.7 แคดเมียม	8
2.8 สังกะสี	9
2.9 สมบัติของดิน	10
2.9.1 สมบัติทางกายภาพ	10
2.9.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ	10
2.9.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (soil porosity)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ(adsorption)และการดูดซึม (absorption) 11

2.9.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน 12

2.9.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ 12

2.9.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน 13

2.9.2 สมบัติทางเคมี 14

2.9.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน 14

2.9.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน(cation exchange capacity,CEC) 14

2.10 ความชื้นในดิน 17

2.10.1 ประเภทของความชื้นในดิน 18

2.11 แรงดูดยึดความชื้นของดิน 18

2.12 สภาพของน้ำในดิน 20

2.13 การล้างดิน 22

2.13.1การล้างดินด้วยสารประกอบประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent) 23

2.13.2 การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงค์เอเจนต์(Reducing agent) 27

2.14 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 27

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 31

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 31

3.1.1 อุปกรณ์ 31

3.1.2 สารเคมี 31

3.2 แหล่งที่มาของดิน 32

3.3 การสังเคราะห์ดิน 33

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 33

3.5 การทำการทดลอง 33

3.5.1 วิธีการล้างดิน 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.1.1 การล้างโลหะหนักโดยใช้MGDA 33

3.5.1.2 การล้างตะกั่วโดยใช้EDTA 34

3.5.2 การสกัดลำดับขั้น 34

บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์ 36

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 36

4.2 ผลการศึกษาการล้างดินปนเปื้อนโลหะหนักด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL- alanine trisodium salt (MGDA) ที่ความเข้มข้นและพีเอชที่แตกต่างกัน 38

4.2.1 การล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ด้วย MGDA 38

4.2.2 การกำจัดตะกั่วออกจากดินโดยใช้ EDTA และ MGDA 39

4.2.3 การล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ที่ผสมตะกั่วชนิดกับโลหะชนิดอื่น 40

4.2.4 การล้างโลหะหนักออกจากดินสังเคราะห์ด้วย MGDA 41

4.3 ผลการศึกษาการสกัดโลหะหนักในดินโดยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) 41

4.3.1 การสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ 41

4.3.2 การสกัดโลหะหนักชนิดอื่นออกจากดินสังเคราะห์ 44

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 46

5.1 สรุปผลการวิจัย 46

5.1.1 คุณสมบัติของดิน 46

5.1.2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย MGDA 46

5.1.3 ประสิทธิภาพของสารละลายที่ใช้ล้างดิน 46

5.2 ข้อเสนอแนะ 46

เอกสารอ้างอิง 47

ภาคผนวก ก 50

ภาคผนวก ข 55

ภาคผนวก ค 58

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ 11

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม 13

ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆและในอินทรียวัตถุ 15

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรียวัตถุกับค่า CEC 16

ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน 16

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน 21

ตารางที่ 3 .1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 33

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 36

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน 37

ตารางที่ ค-1 การกระจายอนุภาค 58

ตารางที่ ค-2 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน 59

ตารางที่ ค-3 ค่าพีเอช 59

ตารางที่ ค-4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 59

ตารางที่ ค-5 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน 59

ตารางที่ ค-6 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 60

ตารางที่ ค- 7 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่ว ผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 60

ตารางที่ ค-8 ปริมาณโลหะทองแดงในดินที่มีตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 60

ตารางที่ ค-9 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 61

ตารางที่ ค-10 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินที่มีตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับส่วน 61

ตารางที่ ค-11 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค-12 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินที่มีตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 62

ตารางที่ ค-13 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 62

ตารางที่ ค-14 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินที่มีตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น 62

ตารางที่ ค-15 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย EDTA pH7 63

ตารางที่ ค-16 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0 M 63

ตารางที่ ค-17 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0.01 M 63

ตารางที่ ค-18 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0.05 M 64

ตารางที่ ค-19 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 1.0 M 64

ตารางที่ ค-20 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 64

ตารางที่ ค-21 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 65

ตารางที่ ค-22 ปริมาณโลหะทองแดงในดินที่มีตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 65

ตารางที่ ค-23 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 65

ตารางที่ ค-24 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินที่มีตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 66

ตารางที่ ค-25 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค-26 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินที่มีตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 66

ตารางที่ ค-27 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินที่มีตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 67

ตารางที่ ค-28 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินที่มีตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับส่วนขั้นที่ล้างด้วย MGDA 67

ตารางที่ ค-29 ปริมาณของตะกั่วที่ล้างด้วย MGDA 68

ตารางที่ ค- 30 ปริมาณของสังกะสีที่ล้างด้วย MGDA จากดินตะกั่วผสมสังกะสี อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 68

ตารางที่ ค-31 ปริมาณของแคดเมียมที่ล้าง MGDA จากดินตะกั่วผสมแคดเมียม อย่างละ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม 68

ตารางที่ ค-32 ปริมาณของทองแดงที่ล้าง MGDA จากดินตะกั่วผสมทองแดง อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 69

ตารางที่ ค-33 ปริมาณของนิกเกิลที่ล้าง MGDA จากดินตะกั่วผสมนิกเกิล อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ 19

รูปที่ 2.2 สภาพของน้ำในดิน 21

รูปที่ 2.3 โครงสร้าง อีดีทีเอ 25

รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดิน 32

รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน 32

รูปที่ 3.3 การสกัดลำดับขั้น 35

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคดิน 37

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่สกัดได้จากการล้างด้วย MGDA ความเข้มข้นต่างๆ 38

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วย EDTA และ MGDA 39

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ตะกั่วที่สกัดได้จากการล้างดินสังเคราะห์ตะกั่ว ตะกั่วผสมทองแดง ตะกั่วผสมนิกเกิล ตะกั่วผสมแคดเมียม และตะกั่วผสมสังกะสี ด้วย MGDA 40

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โลหะหนักชนิดต่างๆที่สกัดได้จากการล้างดินสังเคราะห์ด้วย MGDA 41

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ก่อนและหลังการล้างด้วย MGDA 42

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบปริมาณโลหะชนิดต่างๆที่สกัดได้ก่อนและหลังการล้างด้วย MGDA 44

รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
DI	น้ำปราศจากไอออน
D_b	ความหนาแน่นรวม
hr	ชั่วโมง
kg	กิโลกรัม
meq	มิลลิอิควิวาเลนซ์
M	โมลาร์
mL	มิลลิลิตร
mg	มิลลิกรัม
OM	อินทรียวัตถุ
pH	พีเอช หรือ ระดับความเป็นกรดด่าง
rpm	รอบต่อนาที
μ	ไมครอน
° C	องศาเซลเซียส
CH_3COONH_4	แอมโมเนียมอะซิเตต
NH_4OH	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
CH_3COOH	กรดอะซิตริก
HNO_3	กรดไนตริก
$NH_2OH{\cdot}HCl$	ไฮดรอกซีลามีน ไฮโดรคลอไรด์
H_2O_2	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม ต่างๆ มากมาย ถึงแม้ว่าปัจจุบันประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทยได้เลิกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่มีตะกั่ว แต่ปัญหาภาวะตะกั่วเป็นพิษต่อสุขภาพยังคงเป็นปัญหา เพราะตะกั่วถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสีและหมึกพิมพ์ การผลิตแบตเตอรี่ การผลิตแผงวงจร อิเล็กทรอนิคส์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทีวี หรือวิทยุ ซึ่งมีการใช้โลหะตะกั่วหรือโลหะผสมของตะกั่ว ทำให้ตะกั่วซึ่งสลายได้ยากมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานซึ่งตะกั่วจะสะสมอยู่ใน 3 แหล่งใหญ่ คือ น้ำ ดิน และอากาศ ทั้ง 3 แหล่งนี้มีความสัมพันธ์กันสามารถเปลี่ยนแปลงส่งผ่านสารตะกั่วซึ่งกันและกันได้ ถ้าแหล่งใดแหล่งหนึ่งเกิดมลพิษของตะกั่วย่อมทำให้เกิดปัญหามลพิษของอีก 2 แหล่งได้

สารตะกั่วที่พบได้ทั้งในดิน หิน น้ำ พืช อากาศ โดยเฉลี่ยในหินจะมีตะกั่ว 13 มิลลิกรัมต่อหิน 1 กิโลกรัม แร่ที่มีตะกั่วผสมอยู่ได้แก่ แร่กาลีนา (Galean, pbs) แร่เซอรัสไซท์ (Cerrussite) แร่อะไนลีไซท์ (Anylesite) ในดินพบคล้ายในหินคือประมาณ 5-25 มิลลิกรัมต่อดิน 1 กิโลกรัม ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยเฉพาะน้ำบาดาล พบสารตะกั่วในอนุภาคเล็กประมาณ 1-60 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม แต่ในน้ำทะเลพบปริมาณของตะกั่ว โดยพบในปริมาณ 0.08-0.04 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม ในอากาศบริเวณห่างไกลชุมชนพบประมาณ 0.0006 ไมโครกรัมต่อ อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร แต่บริเวณชุมชนพบมากถึง 0.001 ไมโครกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ในพืชโดยทั่วไปจะพบในพืชขนาดใหญ่ซึ่งพบประมาณ 1.0 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม (ของเนื้อไม้แห้ง) สำหรับในพืชผักพบประมาณ 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม (ของพืชแห้ง) (คลังปัญญา, 2554)

ค่ามาตรฐานของตะกั่วในอากาศไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตะกั่วในน้ำ กำหนดไว้ไม่เกิน 50 mg/L(0.05 mg/L) ตะกั่วในอาหาร กำหนดไว้ให้น้อยกว่า 300 mg/day ตะกั่วในดิน กำหนดไว้ให้น้อยกว่า 400 ppm

เทคโนโลยีการแก้ปัญหาดินมีหลายวิธีได้แก่ 1)การจัดการดินโดยการปรับถมดิน (Soil dressing) ที่มีปัญหาด้วยดินหรือวัสดุที่ไม่มีการปนเปื้อน 2)การจัดการดินปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้พืช (Phytoremediation) และ 3)การจัดการดินทางเคมี คือการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากดินด้วยสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดคือ EDTA (Ethylenediamine tetraacetic acid) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการสกัดโลหะหนักให้ออกจากอนุภาคดินแต่มีข้อเสียคือตกค้างสะสมในดินเป็นระยะเวลานานเนื่องจากย่อยสลายได้ยากซึ่งมีผลต่อสภาพแวดล้อมของดินดังนั้นในการวิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการสกัดตะกั่วออกจากดินด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA) ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายง่ายกว่า EDTA เตรียมสารละลายได้ง่ายกว่า EDTA มีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทุกpH ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเนื่องจากมีค่า LD_{50} มีค่ามากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (NICNAS, 1989)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการล้างดินปนเปื้อนตะกั่วด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดดินปนเปื้อนกับ EDTA
4. เพื่อศึกษาผลของโลหะชนิดอื่นต่อประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วออกจากดิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เก็บตัวอย่างดินจาก ตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง (pH) ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) ความชื้น สารอินทรีย์ในดิน(OM) การกระจายอนุภาค (particle size distribution) และโลหะในดิน
2. สังเคราะห์ดินปนเปื้อน โดยเติมโลหะหนักลงในดินดังนี้

   Pb (200mg/kg)

   Pb+Cu (100mg/kg each)

   Pb+Ni (100mg/kg each)

   Pb+Cd (100mg/kg each)

   Pb+Zn (100mg/kg each)
3. สกัดลำดับขั้น
4. ล้างดินปนเปื้อน Pb 200mg/kg โดยแปรผันความเข้มข้นของ N,NBis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA) ดังนี้ 0 , 0.01 , 0.05 และ 0.1 M

   ปรับสภาวะการทดลองที่ pH เป็น 4 , 7 และ 10
5. สกัดลำดับขั้น เฉพาะตัวอย่างที่พบว่าสกัดด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA) ได้ดีที่สุด
6. นำสภาวะที่ดีที่สุด ไปสกัดตัวอย่างอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปรียบเทียบกับ EDTA โดยนำ Pb 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไปสกัดโดยใช้ EDTA ความเข้มข้น 0.1 M และสกัดแบบลำดับขั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสกัดตะกั่วออกจากดินในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการสกัดโลหะหนักชนิดอื่นๆต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาวะมลพิษทางดิน (Soil pollution)

มลพิษทางดิน หมายถึง ดินที่เสื่อมคุณภาพหรือมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพที่เป็นอยู่เดิมตามธรรมชาติ เนื่องจากถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกหรือสิ่งเป็นพิษต่างๆ จนไม่สามารถจะใช้ดินนั้นให้เป็นประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม และยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืช

ปัญหาที่เกิดขึ้นบนดินแยกได้เป็นสองประเภทคือ

1. สภาพธรรมชาติ ได้แก่ สภาพที่เกิดตามธรรมชาติของบริเวณนั้น ๆ เช่น บริเวณที่มีเกลือในดินมาก หรือบริเวณที่ดินมีความหนาแน่นน้อย เป็นต้น ทำให้ดินบริเวณนั้นไม่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช ปรากฏการณ์ธรรมชาติบางอย่าง เช่น พายุน้ำท่วมก็ ทำให้ ดินทรายถูกพัดพาไปได้สิ่งปฏิกูลที่มีชีวิต ซึ่งได้แก่ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินหรือถูกใส่ในดิน ทำให้ดินเสียได้โดยอาจเป็นตัวก่อโรคหรือก่อความกระทบกระเทือนต่อความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต
2. การกระทำของมนุษย์ ส่วนมากมักเกิดเนื่องจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ มุ่งแต่จะดัดแปลง ธรรมชาติเพื่อหวังผลประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยไม่คำนึงถึงผลเสียที่เกิดขึ้นภายหลัง

2.2 โลหะหนัก

2.2.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่ม Transition metals มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ (ยกเว้นปรอทมีสถานะเป็นของเหลว) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆได้ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดี และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำมีโลหะหนักหลายชนิดที่มนุษย์ได้รับจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วก่อให้เกิดอาการต่างๆของโรค ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยรวม ตั้งแต่มีอาการเล็กน้อยจนถึงอาการรุนแรงรวมทั้งถึงการเสียชีวิตในจำนวนโลหะหนักที่มีมากมายในสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

สารที่ปัจจุบันถือว่าเป็นภัยต่อสุขภาพมากที่สุด ได้แก่ ตะกั่ว(Lead) ปรอท(Mercury) แคดเมียม (Cadmium) และ อาเซนิก(Arsenic)

2.3 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก

แหล่งที่แพร่กระจายตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่

1. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใช้สารประกอบตะกั่วในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมผลิตสีและหมึกพิมพ์ถ้าโรงงานเหล่านี้ไม่มีกระบวนการบำบัดน้ำก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการปนเปื้อน
2. จากอุตสาหกรรมการทำเหมืองตะกั่ว ทำให้เกิดฝุ่นในอากาศและกระจายสู่สิ่งแวดล้อม
3. จากเตาเผาขยะที่มีการเผาไหม้ของเหลือใช้ที่มีตะกั่วเป็นสารประกอบ
4. จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การบัดกรี การใช้ยาฆ่าแมลงและน้ำมันที่ผสมสารตะกั่ว

2.4 ตะกั่ว

ตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นโลหะหนักชนิดหนึ่ง มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.19 มีสีเทาหรือขาวแกมน้ำเงิน ถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศในรูปของธาตุตะกั่ว (Pb) ออกไซด์ของตะกั่ว (PbO, PbO2, PbxO3) ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) และตะกั่วซัลไฟต์ (PbS) ตะกั่วอัลคิล ($Pb(CH3)_4$, $Pb(C_2H_5)_4$) และตะกั่วเฮไลด์ สารตะกั่วเมื่อถูกปล่อยเข้าสู่บรรยากาศในรูปต่างๆ แล้วจะเกาะอยู่กับฝุ่น สารประกอบของตะกั่ว (Tetraethyl Lead) มีสูตรเคมีคือ $Pb(C_2H_5)_4$

แหล่งกำเนิดของสารตะกั่ว

1.แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ สารตะกั่วในธรรมชาติมาจากฝุ่นซิลิเกตของการผุสลายของดินและการปล่อยออกมาจากภูเขาไฟ

2.แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งในการปล่อยสารตะกั่วที่สำคัญจากการกระทำของมนุษย์ เกิดจากการสันดาปของน้ำมันที่มีส่วนผสมของสารตะกั่ว การเผาไหม้ของของเสียต่างๆ ยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมต่างๆ สารตะกั่วนับเป็นโลหะหนัก อันดับต้นๆที่รับรู้กันมานานว่าเมื่อเข้าสู่ร่างกาย แล้วก่อให้เกิดผลกระทบต่ออวัยวะต่างๆของร่างกายสารตะกั่วมีอยู่ในของใช้ประจำวันต่างๆ เช่นใน แบตเตอรี่ สีย้อม สีทาบ้าน ของเล่นเด็ก การทำเซรามิค น้ำมันรถยนต์ รวมทั้งเครื่องมือแพทย์ และเครื่องสำอาง ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ ทางระบบหายใจ และทางระบบทางเดินอาหาร แต่ส่วนใหญ่จะเข้าสู่ร่างกายผ่านทางอาหาร ผู้ใหญ่จะดูดซึมประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่อยู่ในอาหาร แต่เด็กและหญิงตั้งครรภ์จะดูดซึมได้สูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นตะกั่วจึงเป็นอันตรายต่อเด็ก และหญิงตั้งครรภ์มากกว่าผู้ใหญ่ ตะกั่วที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตจะจับตัวกับ hemoglobin และถูกนำไปสะสมในเนื้อเยื่ออ่อน (softtissue) โดยเฉพาะตับและไต รวมทั้งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไฟล์นี้ไปเผยแพร่ต่อในรูปแบบอื่นๆ

กระดูกและในเส้นผม แต่ในที่สุดตะกั่วในร่างกายเกือบทั้งหมดจะเข้าไปสะสมอยู่ในกระดูกซึ่งสามารถอยู่ได้นานถึงกว่า 60 ปี (half-life = 32 ปี) อาการพิษจากตะกั่วอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ อาการเฉียบพลัน (acute exposure) จะพบกรณีที่ได้รับสารตะกั่วจำนวนมากในระยะเวลาสั้น สารตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยเฉพาะสมอง อาการตัวสั่น ไม่รู้สึกตัว ส่วนผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารจะมีอาการปวดท้อง จุก เสียด คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น สำหรับผู้ที่ได้รับสารตะกั่วทีละเล็กละน้อยเป็นเวลานานจะมีอาการเรื้อรัง (chronic exposure) อาการที่พบ คือ ปวดเมื่อยตัว เบื่ออาหาร ท้องผูก มีเลือดออกในปัสสาวะและโลหิตจาง

2.5 ทองแดง

ทองแดง (Copper) เป็นแร่ที่พบได้ตามธรรมชาติที่มีความหนาแน่น จุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง สมบัติและประโยชน์ของทองแดง

1. โลหะทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ 99.95 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าได้ดีมาก จึงถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
2. ใช้โลหะทองแดงทำท่อในอุปกรณ์ตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ
3. ใช้ทำอุปกรณ์เกี่ยวกับรถยนต์ อาวุธ เหรียญกษาปณ์ และตราต่างๆ
4. ใช้เป็นส่วนประกอบในโลหะหลายชนิด เช่น

โลหะผสมระหว่างทองแดงกับนิกเกิล มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะในน้ำทะเล จึงใช้ทำท่อในระบบกลั่น อุปกรณ์ภายในเรือโลหะผสมระหว่างทองแดง นิกเกิล และสังกะสี หรือเรียกว่า เงินนิกเกิลหรือเงินเยอรมัน ใช้ทำเครื่องใช้ต่างๆ เช่น ช้อน ส้อม เครื่องมือแพทย์ทองบรอนซ์ หรือทองสัมฤทธิ์ หรือทองสำริด โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก ถ้ามีดีบุกผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.8-10 โดยมวล และมีการเติมฟอสฟอรัสเล็กน้อย เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) จะมีความแข็งกว่าทองแดง เมื่อเย็นตัวมีความแข็งแรง มีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดี และไม่ถูกกัดกร่อน ทองเหลือง โลหะผสมที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก มีสังกะสีผสมอยู่ร้อยละ 20-45 โดยมวล ทองเหลืองจะมีความแข็ง และความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมของสังกะสีเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการตีแผ่ให้เป็นแผ่น ขึ้นรูปง่าย ทองเหลืองจึงถูกนำมาใช้ในการทำท่อ ลิ้นปิด-เปิด และตัวเชื่อม ทองแดงไม่ทำปฏิกิริยากับกรด แต่ในกรณี กรดไนตริก พบว่า NO_3^- จะเป็นตัวออกซิไดซ์ และไปรีดิวซ์ทองแดงให้เป็น Cu^{2+} ไอออน $CuSO_4.5H_2O$ (จุนสี) ใช้ฆ่าเชื้อราและสาหร่าย แร่ทองแดงที่มีสีหรือลวดลายสวยงามเช่น มาลาไคต์ ($CuCO_3.Cu(OH)_2$ สีเขียวอ่อน) อะซูไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$หรือ$2CuCO_3.Cu(OH)_2$ สีน้ำเงิน) และคริโซคอลลา ($(CuAl)_2H_2Si_2O_5(OH)_4.nH_2O$) สามารถนำมาทำเป็นเครื่องประดับได้

2.6 นิกเกิล

นิกเกิล (Nickel) คือ ธาตุเคมี ที่มีหมายเลขอะตอม 28 และสัญลักษณ์คือ Ni อยู่ในตารางธาตุหมู่ 28 นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความมันวาวสีขาวเงิน มันอยู่กลุ่มเดียวกับเหล็กมีความแข็งแต่ตีเป็นแผ่นได้ นิกเกิลได้มาจากการถลุงสินแร่ nickliferous limonite และ pentlandite แล้วผ่านกระบวนการสกัดให้ได้นิกเกิลที่บริสุทธิ์ขึ้นด้วย Mond's process นิกเกิลในธรรมชาติจะทำปฏิกิริยาเคมีกับกำมะถันเกิดเป็นแร่มิลเลอร์ไรต์ (millerite) ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับสารหนู (arsenic) จะเกิดเป็นแร่นิกกอไลต์ (niccolite) แต่ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับทั้งสารหนูและกำมะถันจะเป็นก้อนนิกเกิลกลานซ์ (nickel glance) นิกเกิลถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอย่างมากมาย เช่น

1. ใช้ทำสเตนเลสสตีล และอัลลอยด์กันสนิมชนิดต่างๆ กว่า 65 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้นิกเกิลในโลกตะวันตกนั้นเป็นการใช้ทำสเตนเลสสตี 12 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการทำซูเปอร์อัลลอยด์ และอีก 23 เปอร์เซ็นต์ เป็นการใช้ทำโลหะอัลลอยด์
2. ใช้ทำเกราะ และ burglar-proof vaults
3. ใช้เป็นส่วนผสมของโลหะ Alnico เพื่อใช้ในการทำแม่เหล็ก
4. Monel metal ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างทองแดงและนิกเกิล มีคุณสมบัติป้องกันการผุกร่อนได้ดีเยี่ยมนำไปใช้ในการผลิตใบพัดเรือ เครื่องครัว และท่อในอุตสาหกรรมเคมีเป็นต้น
5. ผลิต shape memory alloys ซึ่งใช้ในหุ่นยนต์บางชนิด
6. ถ่านชาร์จ เช่น ถ่านนิกเกิลเมตัลไฮดราย (nickel metal hydride) และ ถ่านแบบนิกเกิลแคดเมียม (nickel cadmium)
7. ทำเหรียญกษาปณ์ โดยในประเทศอเมริกาและแคนาดา ใช้นิกเกิลเป็นส่วนผสมในการผลิตเหรียญ 5 เซ็นต์
8. เคลือบโลหะ (electroplating) เพื่อป้องกันสนิม

เนื่องจากนิกเกิลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายจึงอาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้โดยนิกเกิลอาจถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ทางการหายใจ ทางผิวหนัง และจากทางเดินอาหาร ภาวะเป็นพิษของนิกเกิลเกิดจากการรับสัมผัสทางการหายใจ และจากอาชีพเป็นหลักโดยความสามารถในการถูกดูดขึ้นกับความสามารถในการละลายในน้ำของสารประกอบนิกเกิลสารที่ละลายน้ำได้ดี ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิกเกิลคาร์บอนิลเป็นสารประกอบที่ถูกดูดซึมได้ดีกว่าสารประกอบที่ละลายในน้ำได้ไม่ดีเช่น นิกเกิลออกไซด์ และนิกเกิลซัลไฟด์ นิกเกิลถูกกำจัดจากร่างกายทางปัสสาวะ

การสัมผัสนิกเกิลคาร์บอนิลทางการหายใจจะทำให้เกิดอาการไข้ไอ เจ็บหน้าอก หายใจลำบาก ปวดศีรษะ หลังจากนั้น 12-36 ชั่วโมงอาจเกิดภาวะปอดอักเสบเฉียบพลัน ซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตจากสภาวะการหายใจล้มเหลวการฟื้นตัวจากภาวะปอดอักเสบนี้ใช้เวลาหลายสัปดาห์ถึงหลายเดือนซึ่งผู้ป่วยจะยังคงมีอาการอ่อนเพลียและเหนื่อยง่ายในระยะการสัมผัสนิกเกิลที่ผิวหนังอาจทำให้เกิดภาวะผิวหนังอักเสบเป็นผื่นสัมผัส (Contact dermatitis) หรือเป็นผื่นแพ้ในส่วนอื่นๆของร่างกาย ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาภูมิแพ้ ผู้ป่วยที่แพ้จะเกิดผื่นได้แม้สัมผัสนิกเกิล เพียงเล็กน้อย

ผู้ที่ดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนนิกเกิล อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดมวนท้อง และท้องเสีย มีรายงานอุบัติการณ์ของมะเร็งในโพรงจมูก และที่ปอดเพิ่มขึ้นในกลุ่มคนงานที่รับสัมผัสนิกเกิล

2.7 แคดเมียม

แคดเมียม (cadmium) คือ ธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 48 และสัญลักษณ์ คือ Cd แคดเมียมเป็นโลหะทรานซิชันสีขาว-ฟ้า เป็นธาตุมีพิษ ในธรรมชาติพบอยู่ในแร่สังกะสี แคดเมียมได้จากการถลุงแร่ แคดเมียมที่อยู่ในแร่จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แคดเมียมออกไซด์ แคดเมียมคลอไรด์ แคดเมียมซัลเฟต แคดเมียมซัลไฟด์ เป็นต้น ไม่มีกลิ่น หรือรสที่แน่นอนพบว่าในดิน หิน และปุ๋ยจากดินแร่ (mineral fertilizers) มีแคดเมียมอยู่บ้าง แคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้จากการสกัดระหว่างการถลุงสังกะสี ตะกั่ว และทองแดงแคดเมียมทนทานการกัดกร่อน ใช้ประโยชน์ได้มากมาย ทั้งในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค เช่น ใช้ในแบตเตอรี่ ใช้เป็นรงควัตถุ ใช้ในการเคลือบผิวโลหะ ใช้ในพลาสติก แคดเมียมสามารถกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ เช่นแคดเมียมเข้าสู่อากาศได้จากการเหมืองแร่ การอุตสาหกรรม การเผาถ่านหิน และการเผาขยะตามบ้านเรือน อนุภาคแคดเมียมในอากาศสามารถเดินทางไปในระยะไกลกว่าที่จะตกลงบนพื้นดินหรือในน้ำอนุภาคแคดเมียมปนเปื้อนน้ำ และดินจากการทิ้งขยะและการรั่วไหลของของสารพิษจากสถานที่เก็บ อนุภาคแคดเมียมเกาะกับดินได้ดี และบางรูปละลายน้ำได้ แคดเมียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อม แต่เปลี่ยนรูปได้ ปลา พืช และสัตว์ ได้รับแคดเมียมจากสิ่งแวดล้อมจะสามารถอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานมาก และสะสมเพิ่มขึ้นทุกๆปีจากการรับเข้ามาทีละน้อย ๆ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ เราสามารถรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จากการหายใจในสถานที่ปฏิบัติงานที่มีแคดเมียมปนอยู่ในอากาศเช่น ในโรงงานแบตเตอรี่ บริเวณที่มีการเชื่อมโลหะ

2. รับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม อาหารโดยทั่วไปมีแคดเมียมในระดับต่ำ (มีมากในหอย กุ้ง ปู ตับ และไตสัตว์)

3. จากควันบุหรี่ หากได้รับทุกวัน ปริมาณแคดเมียมในร่างกายจะสะสมขึ้นอย่างรวดเร็ว

4. ดื่มน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม

5. หายใจอากาศที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากบริเวณที่มีการเผาซากพืชซากสัตว์ หรือเตาเผาขยะจากเมืองใหญ่

เมื่อได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ ดังนี้

การหายใจในอากาศที่มีแคดเมียมปนอยู่สูงจะเป็นอันตรายต่อปอด และเสียชีวิตได้

การรับประทานอาหาร และดื่มน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูงมากจะกัดกร่อนกระเพาะ ทำให้อาเจียน และท้องเสีย

การได้รับแคดเมียมทีละน้อยจาก อากาศ น้ำ และอาหาร เป็นเวลานานทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในไต อาจจะทำให้เป็นโรคไตได้ อาจทำให้ปอดเสียและกระดูกเปราะ จากการทดลองในสัตว์โดยการให้แคดเมียมทางน้ำและอาหาร พบว่าความดันเลือดสูงขึ้น เหล็กในเลือดต่ำ เป็นโรคตับ ประสาท และสมองเสียหาย

นอกจากอันตรายที่กล่าวมาแล้วแคดเมียมยังมีส่วนทำให้เป็นมะเร็งมีหลักฐานสนับสนุนไม่ชัดเจนนักที่จะระบุว่าผู้ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจจะเป็นมะเร็งปอดแต่จากการทดลองในสัตว์พบว่าสัตว์ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจจะเป็นมะเร็งปอดแน่นอนเรายังไม่ทราบว่าถ้าสัมผัสแคดเมียมทางผิวหนัง หรือรับแคดเมียมโดยทางน้ำและอาหารแล้วแคดเมียมจะทำให้เป็นมะเร็งได้หรือไม่

2.8 สังกะสี

สังกะสี (Zinc) คือ ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 30 และสัญลักษณ์คือ Zn สังกะสีอยู่ในตารางธาตุหมู่ 12 ชื่อในภาษาอังกฤษมาจากภาษาเยอรมันว่า Zink เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเป็นแร่โลหะชนิดหนึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติมีคุณประโยชน์และสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งคน สัตว์ และพืช แร่สังกะสี (Zinc Mineral) ประกอบด้วยธาตุต่างๆที่มีธาตุสังกะสีเป็นหลักเมื่อนำแร่สังกะสีมาถลุงจะได้โลหะสังกะสีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมายจึงนับเป็นแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ตัวอย่างการนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมเช่น เคลือบโลหะ เพื่อป้องกันสนิมและการกัดกร่อน เช่นใน กระเบื้องสังกะสี หรือกระเบื้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สังกะสีลูกฟูก เรียกกันในวงการช่างโลหะว่า เหล็กอาบสังกะสี หรือ เหล็กชุบสังกะสี
- ส่วนประกอบในโลหะผสม เช่นใช้ในการทำของเล่น
- ใช้เป็นภาชนะของถ่านอัลคาไลน์

นอกจากสังกะสีที่เป็นโลหะแล้ว ยังมีสังกะสีที่อยู่ในรูปแร่ธาตุในร่างกาย สังกะสีจัดเป็นแร่ธาตุในกลุ่มแร่ธาตุปริมาณน้อย (Trace Minerals) ประมาณร้อยละ 90 ของสังกะสีในร่างกายอยู่ที่กระดูกและกล้ามเนื้อ อีกร้อยละ 10 อยู่ที่ ตับอ่อน ตับ เลือด โดยส่วนที่อยู่ในเม็ดเลือดนั้น ร้อยละ 80 อยู่ในเม็ดเลือดแดง และร้อยละ 20 อยู่ในน้ำเลือด ส่วนใหญ่ของสังกะสี ที่รับประทานเข้าไปจะถูกขับถ่ายออกทางอุจจาระ ซึ่งเป็นผลรวมของ สังกะสี ที่บริโภคเข้าไปแล้วไม่ถูกดูดซึมจากน้ำย่อยของลำไส้เล็ก นอกจากนี้ร่างกายยังขับถ่าย สังกะสีออกทางปัสสาวะโดยจับกับ กรดอะมิโน ได้อีกด้วย ซึ่งในคนปกติจะขับถ่าย สังกะสี ออกประมาณวันละ 300 – 600 ไมโครกรัม

สังกะสี มีลักษณะเหมือนกับแร่ธาตุและ วิตามิน อื่นๆ คือ เป็นสารอาหารที่ไม่ให้พลังงาน แต่ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวกำกับการทำงานของร่างกาย มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลิอิกและโปรตีนเอนไซม์ในร่างกายมากกว่า 100 ชนิด อาจกล่าวได้ว่าเอนไซม์ที่เป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาภายในร่างกายเกือบทุกชนิดต้องการสังกะสีเป็นส่วนประกอบจึงจะทำหน้าที่ได้ดี ดังนั้นสังกะสี จึงมีความสำคัญต่อการทำงานของทุกอวัยวะในร่างกายเรา (วิกิพีเดีย สารารุกรมเสรี, 2555)

2.9 สมบัติของดิน

2.9.1 สมบัติทางกายภาพ

2.9.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกได้ถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์ได้อย่างคร่าวๆทั้งนี้ เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเมื่ออยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูงดินที่มีเนื้อละเอียดขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้นดังตารางที่ 2.1 การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้เช่นกันโดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มอินทรีวัตถุในดินเมื่อสารอินทรีย์สลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดิน	พื้นที่ผิวจำเพาะ(m^2/g)
เหนียว	120-200
ร่วนเหนียวปนซิลท์	50-150
ร่วนปนซิลท์	50-100
ร่วน	10-40
ร่วนปนทราย	150-250

ที่มา : (เกษมศรี, 2541)

2.9.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (soil porosity)

เนื้อดินยังเกี่ยวพันกับความพรุนของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มากแต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้เกิดการถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูงเมื่อฝนตกหรือระหว่างให้น้ำจะสูญเสียโครงสร้างในดินได้ง่าย ซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องว่างทำให้ช่องผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การให้น้ำเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ผิวหน้าดินเปิดได้ทำให้น้ำ และแสงถ่ายเทได้น้อยลง อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากส่วนใหญ่อยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงยากที่จะบ่งบอกและปริมาณช่องที่มีอยู่ในดินนี้เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวจะมีความพรุนสูงมากในทางตรงกันข้ามหากอนุภาคไม่เกาะยึดกันอยู่ในสภาพฟุ้งกระจายดินเหนียวลักษณะเช่นนี้จะแน่นทึบมากน้ำและอากาศถ่ายเทได้ยากมาก อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดินก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน โดยที่ดินเนื้อละเอียดจะมีความสามารถอุ้มน้ำได้ (availablable water capacity-AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืชและต่อจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นวัสดุเหลือใช้ เพื่อต้องการให้ดิน และพืชเป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว (ถวิล, 2527)

2.9.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption)

กระบวนการดูดซับ (Adsorption) การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) กลไกของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดติดผิว การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent

การดูดซึม (absorption) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นระดับโมเลกุลระหว่างสารที่เป็นตัวดูดซึม (absorbent) และสารที่เป็นตัวถูกดูดซึม (absorbate) โดยสารที่เป็นตัวถูกดูดซึมจะถูกดูดซึมเข้าไปในฝังตัวอยู่ในโครงสร้างของตัวดูดซึม

ในดินการดูดซับที่สำคัญได้แก่ การดูดซับน้ำและการดูดซับไอออนในสารละลายดิน ซึ่งในดินตัวดูดซับก็คือ อนุภาคดินเหนียวและอนุภาคอินทรียวัตถุ เพราะมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงนอกจากนั้นอนุภาคทั้งสองชนิดยังมีประจุไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบจึงสามารถดูดซับประจุบวกได้เป็นอย่างดีทำให้น้ำซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้ว (polar compound) อาจถูกดูดซับได้ด้วยกระบวนการนี้เช่นกัน การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือการดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดซับไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมดทั้งนี้ เพราะแรงดูดซึมจำเป็นต้องเอาชนะอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความไวจึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินเนื้อละเอียดจะดูดซึมน้ำได้มากปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มากเช่นเดียวกัน

2.9.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน

โดยทั่วไปปริมาณอินทรียวัตถุจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรียวัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบความสัมพันธ์เช่นนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำ และดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มากพืชพรรณที่ขึ้นในดินจึงมีปริมาณมากกว่าที่ขึ้นในเนื้อดินหยาบ เมื่อซากพืชเหล่านี้ทับทมในดินจึงทำให้ดินเนื้อละเอียดมีการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่มากกว่าอีกประการหนึ่งดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศดีกว่าดินเนื้อละเอียดอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุจึงสูงกว่าทำให้เหลือปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

2.9.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดินดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับในการชะละลาย (leaching) ของดิน การแทรกซึมลงของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพจุดความชื้นสนาม (field capacity) ในประเภทเนื้อดินต่างๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารรถปรับได้โดยการเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ปริมาณอินทรีย์ในดินและการปรับปรุงโครงสร้างดิน เพราะฉะนั้นการทำลายอินทรียวัตถุในดินและการทำลายโครงสร้างดินจึงเป็นการลดอัตราการไหลซึม และลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม

เนื้อดิน	การไหลซึม (นิ้ว/ชั่งโมง)		ปริมาณน้ำทั้งหมด (ลูกบาศก์นิ้ว)
	ดินมีพืชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
อินทรียวัตถุ	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2	1	1.2

ที่มา : (ศุภมาศ, 2539)

2.9.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน

ความหนาแน่นของดินแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ความหนาแน่นรวม (bulk density,Db) และความหนาแน่นอนุภาค (particle density,Dp) ซึ่งความหนาแน่นรวม หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวลดินขณะที่แห้งสนิทกับปริมาตรทั้งหมดของดิน (ปริมาตรของส่วนประกอบทุกๆส่วนรวมกัน) ส่วนความหนาแน่นอนุภาค หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของดินทั้งหมดขณะที่ดินแห้งสนิทกับปริมาตรของส่วนที่เป็นอนุภาคของดิน (soil particle) เท่านั้น

ส่วนความพรุนของดินนิยมบอกเป็นค่าความพรุนทั้งหมด (total porosity,E) ซึ่งหมายถึงปริมาตรของส่วนที่ไม่ใช่ของแข็งในดินเมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

$$E=(1-Db/Dp)\times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าความหนาแน่นรวมคำนวณโดยเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของดินกับปริมาตรตามทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง และส่วนที่เป็นช่องในดิน ดังนั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำจึงหมายความได้ว่าดินนั้นมีส่วนที่เป็นช่องมากเมื่อดินเนื้อละเอียดยิ่งขึ้นความพรุนของดินโดยปกติจะมากขึ้น

ดังนั้นความหนาแน่นรวมของดินเนื้อละเอียดจึงต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ ดินเหนียวมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.0-1.3 g/ml ดินร่วนเหนียว และดินร่วนปนซิลท์มีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.1-1.g/ml ดินร่วน ดินร่วนปนทราย และทรายมีความหนาแน่นโดยเฉลี่ยประมาณ 1.32 g/ml ดินในระดับที่ลึกลงไปความพรุนของดินจะน้อยลงทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

2.9.2 สมบัติทางเคมี

2.9.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

ความเป็นกรด-ด่างของดิน นิยมบอกเป็นค่า pII ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1-14 โดยดินที่มี pH ต่ำกว่า 7 จัดว่าเป็นดินกรด ส่วนค่า pH สูงกว่า 7 จัดว่าเป็นดินด่าง และค่า pH เท่ากับ 7 จัดว่า ดินเป็นกลางความเป็นกรด-ด่างเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุ อาหารในดิน ให้ออกมาอยู่ในรูปสารละลายรวมกับน้ำในดิน ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสม ธาตุอาหารในดินอาจละลายออกมาได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้ามธาตุอาหารบางชนิดอาจละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้

ดินมีความเป็นกรดอยู่สองชนิด คือ กรดจริง (active acidity) และกรดแฝง (potential acidity) ไฮโดรเจนไอออนมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับจึงเรียกว่าสภาพกรดแฝงซึ่งจะสมดุลกับไฮโดรเจนที่ไม่ถูกดูดซับซึ่งเรียกว่าสภาพกรดจริงค่า pH ของดินที่วัดได้คือการวัดสภาพกรดจริง (เทียนชัย, 2539)

2.9.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน(cation exchange capacity,CEC)

การแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (CEC) แสดงถึงความสามารถของดินในการดูดยึดและแลกเปลี่ยนไอออนบวก อนุภาคดินเหนียว เป็นอนินทรียสารที่มีรูปร่างแบนบาง และมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด จะมีพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมากที่สุด และอนุภาคเหล่านี้มีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกไว้ที่ผิวของมันได้เช่นเดียวกันกับ ฮิวมัส ซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวมากเช่นกัน ก็สามารถดูดซึมประจุบวกได้เช่นเดียวกันกับอนุภาคดินเหนียว ประจุบวกเหล่านี้ดูดยึดที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว และฮิวมัส ด้วยแรงที่เหนียวแน่นพอสมควร และทนทานต่อการชะล้างของน้ำ แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถถูกไล่ที่ให้ออก หรือหลุดโดยไอออนอีกชนิดหนึ่งที่เป็นอิสระอยู่ใน Soil Solution ได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนไอออนบวก และไอออนบวกที่ดูดซับอยู่ที่พื้นที่ผิวของอนุภาคดิน หรือฮิวมัส นี้เรียกว่า ไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนที่ได้ และปริมาณไอออนบวกทั้งหมดที่ดูดซับสามารถวัดได้โดยคิดจำนวนเป็น milliequivalent (me) ต่อน้ำหนัก 100 กรัมของดินอบแห้ง เรียกคุณสมบัตินี้ว่า ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดิน (Cation Exchange Capacity) หรือเรียกย่อๆว่า CEC ซึ่งส่วนใหญ่ เนื้อดินละเอียด มักมีค่า CEC มากกว่า ดินเนื้อหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักในการหาค่า CEC คือใช้ไอออนบวก เช่น NH_4^+ เข้าไปไล่ที่ไอออนบวกอื่นๆที่ดูดซึมอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว NH_4^+ แล้วแทนที่ ด้วย Na จาก NaCl อีกครั้งหนึ่ง NH_4^+ ที่ถูกแทนที่จะกลับมาอยู่ในสารละลาย ซึ่งสามารถแยกออกมาได้ แล้วหาปริมาณ NH_4^+ อีกครั้งหนึ่งก็จะหาค่า CEC ได้

เนื้อดินและอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวกำหนดค่า CEC ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าทรายไม่มีประจุขณะที่ดินเหนียวมีค่า CEC สูงสุดแต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าอินทรียวัตถุในสภาพดินทั่วไปค่า CEC จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียว และอินทรียวัตถุ (ตารางที่ 2.4) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวหากทราบปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุแล้วก็อาจจะประเมินค่า CEC ได้อย่างคร่าวๆ โดยทั่วไปในดินเหนียว 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่า CEC ประมาณ 0.5 meq และอินทรียวัตถุ 1 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้ดินมี CEC ประมาณ 2 meqในดินทั่วไป CEC ของหน้าดินมีค่าระหว่าง 0.0 – 5 meq/100 g ซึ่งในการประเมิน CEC ของดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆและในอินทรียวัตถุ

ส่วนประกอบของดิน	CEC (meq/100g)
ทราย	0
ซิลท์	3-7
ดินเหนียว	22-63
อินทรียวัตถุ	200-400

ที่มา : (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรียวัตถุกับค่า CEC

เนื้อดิน	อินทรียวัตถุ (%)	ดินเหนียว (%)	CEC (meq/100g)
ทราย	1.7	7	6
ร่วนปนทราย	3.2	13	13
ร่วน	4.2	17	20
ร่วนปนซิลท์	5.4	18	24
ร่วนเหนียว	5.5	31	27

ที่มา : (ศุภมาศ, 2539)

ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน

ระดับ	CEC (meq/100g)
ต่ำมาก	<3
ต่ำ	3 – 5
ต่ำปานกลาง	5 – 10
ปานกลาง	10 – 15
สูงปานกลาง	15 – 20
มาก	20 – 30
สูงมาก	> 30

ที่มา : (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ความชื้นในดิน

น้ำเป็นสารประกอบจำพวกโมเลกุลที่มีขั้ว (polar compound) คือสามารถละลายได้ดีในโมเลกุลที่มีขั้วธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชทั้ง 13 ธาตุที่อยู่ในดินพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปของไอออนซึ่งน้ำจะเป็นตัวทำละลายที่ดีสามารถละลายธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของมนุษย์ สัตว์ และพืช ในมนุษย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของร่างกาย ในส่วนของพืชจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ในการปลูกพืชน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งเนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในเซลล์พืช น้ำเป็นตัวปรับอุณหภูมิภายในลำต้นของพืชไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินเวลากลางวันซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำเป็นตัวช่วยในการลำเลียงธาตุอาหารไปภายในต้นพืช ซึ่งน้ำสามารถช่วยลดความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มตลอดจนทำให้สารเคมีที่เป็นพิษจำพวกสารฆ่าแมลง และสารกำจัดศัตรูพืชเจือจางลงทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ ความชื้นของดินประกอบด้วย 2 สถานะ คือสถานะที่เป็นของเหลวเราเรียกว่าน้ำในดิน และสถานะที่เป็นก๊าซเราเรียกว่า ไอน้ำในดินในประเทศที่มีอากาศหนาวจัดความชื้นของดินอาจจะอยู่ในรูปของน้ำแข็งส่วนประเทศในเขตร้อนส่วนใหญ่น้ำในดินจะอยู่ในรูปของของเหลว ดังนั้นความชื้นของดินกับน้ำในดินจึงมีความหมายเดียวกันคือ ส่วนที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวถ้าใส่ในส่วนของช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เต็มไม่มีก๊าซอยู่เลยเรียกว่าดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำ และก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่าดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) ดังนั้นดินที่ใช้ในการทำการเกษตรส่วนใหญ่คือดินที่ไม่อิ่มตัวความชื้นในดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินได้แก่ สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืช และสัตว์เพื่อใช้ในขบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ต่างๆเช่น ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช และจุลินทรีย์ในดินบางชนิดพืชสามารถที่จะนำเอาธาตุอาหารไปใช้ได้ธาตุอาหารเหล่านั้นจะต้องอยู่ในรูปของสารละลายน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีปริมาณมากหาได้ง่ายและสะดวกน้ำเป็นตัวกลางที่ดี ในการเคลื่อนย้ายไอออนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งอีกทั้งยังลำเลียงธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของไอออนจากดินเข้าสู่ภายในลำต้นของพืชและเข้าไปในจุลินทรีย์ นอกจากนี้น้ำยังมีความร้อนจำเพาะ และความร้อนแฝงที่สูงทำให้เปลี่ยนอุณหภูมิได้ยากทำให้น้ำในดินมีอุณหภูมิไม่สูงหรือต่ำจนเกินไป ทำให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ให้ทรรศนะความชื้นของดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ 3 ประเภทคือ (บุญแสน, 2548)

1) ความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่อยู่ภายใต้อำนาจดูดยึดของดินที่พืชดูดไปจากดินในอัตราส่วนที่ทัดเทียมกับอัตราการระเหยของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอ... ไม่ว่ากร... ...ครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความชื้นที่ไม่เป็นประโยชน์ (unavailable moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่ดินดูดยึดไว้ด้วยพลังงานที่มากกว่าที่จะให้พืชดูดไปใช้ในอัตราทัดเทียมกับอัตราการระเหยน้ำของพืชได้

3) ความชื้นเกินจำเป็น (superfluous moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่เกินอำนาจดูดยึดตามปกติของดินซึ่งโดยปกติขังอยู่ในที่ว่างขนาดใหญ่ที่เป็นที่อยู่ของอากาศ และเมื่อมีโอกาสจะเคลื่อนพ้นบริเวณที่รากพืชลึกลงไปในหน้าตัดดินโดยอิทธิพลแรงดึงดูดโลก

2.10.1 ประเภทของความชื้นในดิน

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเก็บน้ำไว้เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้ำในดินสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกแรงระหว่างไอออนในสารละลาย และแรงระหว่างโมเลกุลของน้ำในดินอาจปรากฏในรูปต่างๆดังนี้

1. น้ำในแร่หรือความชื้นที่อยู่ในองค์ประกอบของสารเคมี (chemically combined water) โดยอยู่ในรูปของน้ำผลึก (water of crystallization) คือเป็นองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งของดิน ดินที่แห้งสนิทซึ่งได้จากการอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงจะยังคงมีความชื้นประเภทนี้อยู่ความชื้นในดินชนิดนี้ไม่เป็นประโยชน์กับพืช
2. น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) น้ำประเภทนี้จะอยู่ในรูปของเยื่อบางๆหนาราว 2-3 โมเลกุลของน้ำ (layer of water molecule) รอบอนุภาคดินพืชไม่สามารถดูดน้ำประเภทนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ดินที่ผึ่งแห้งในร่ม (air dry soil) จะมีความชื้นในดินอยู่ในรูปของน้ำเยื่อ และสามารถไล่ความชื้นนี้ให้ออกไปหมดได้โดยนำดินที่ผึ่งแห้งในร่มนี้ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง
3. น้ำซับ (capillary water) ความชื้นในดินประเภทนี้จะอยู่ในลักษณะที่เป็นเยื่อบางๆรอบอนุภาคดินถัดจากชั้นของน้ำเยื่อและอยู่ในลักษณะที่บรรจุอยู่ในที่ว่าง (pore) ขนาดเล็กมากๆของดินน้ำซับประกอบด้วยน้ำส่วนที่เป็นประโยชน์ (available water) และส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ (unavailable water) ต่อพืช
4. น้ำอิสระและน้ำซึม (gravitational water or drainage water) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดินโดยถูกดูดยึดจากอนุภาคด้วยแรงที่น้อยมาก และจะถูกอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกทำให้เคลื่อนออกไปจากดินพืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำในดินประเภทนี้ได้น้อยมาก (พิชัย, 2543)

2.11 แรงดูดยึดความชื้นของดิน

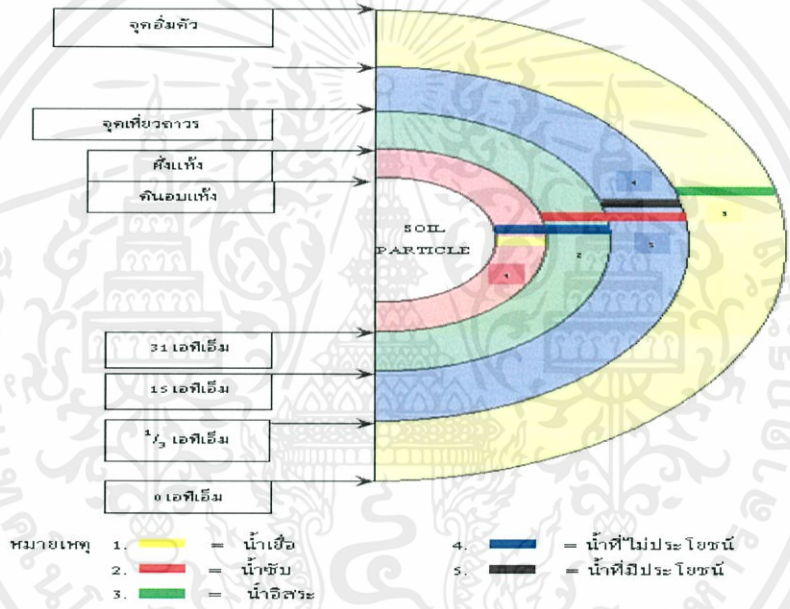
หลังจากฝนตกน้ำส่วนหนึ่งระบายออกไปจากดินแล้วดินนั้นยังเป็นดินชื้นอยู่ต่อไปอีกระยะหนึ่ง การที่น้ำบางส่วนยังคงสามารถอยู่ในช่องว่างของดินโดยไม่ระบายออกไปจนหมด แสดงว่าดินมีแรงดูดยึดต่อน้ำจำนวนนั้นแรงดูดยึดนี้อาจแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การดูดซับ (adsorption) การดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวอนุภาคดินโดยเฉพาะผิวของอนุภาคที่มีประจุเกิดจากสมบัติมีขั้วของโมเลกุลของน้ำการดูดซับนี้มักจะเกิดในขณะที่ดินมีระดับความชื้น

ค่อนข้างต่ำ และอาจเกิดขึ้นได้ในอีกกรณี คือเมื่ออนุภาคดินมีไอออนบวกถูกดูดอยู่ และไอออนเหล่านั้นดูดซับโมเลกุลของน้ำเอาไว้ล้อมรอบตัวมันเอง (water of hydration)

2. การดูดผ่านช่องเล็กๆ (osmotic suction) น้ำในดินมีสารละลายอยู่หลายชนิดละลายหรือแขวนลอยอยู่ไอออนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไอออนบวกจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวนอกของดินเหนียวที่มีประจุเป็นลบ และทำให้ความเข้มข้นของไอออนในชั้นของไอออนบวกที่ถูกดูดซับสูงกว่าในสารละลายรวม (bulk solution) ถ้าความชื้นของดินค่อนข้างต่ำซึ่งไม่ถึงกับแห้งอนุภาคดินเหนียวมีโอกาสสัมพันธ์ (overlap) ซึ่งกันและกัน และทำให้สารละลายในระหว่างชั้นทั้งสองนั้นเข้มข้นยิ่งขึ้นเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสารละลายที่เข้มข้นจะมีการดูดแบบออสโมติกสูงถ้านำมาสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ผ่านเมมเบรนกึ่งซึมได้ (semipermeable membrane) น้ำจะเคลื่อนตัวผ่านเมมเบรน (membrane)



หมายเหตุ 1. = น้ำเยื่อ 2. = น้ำซับ 3. = น้ำอิสระ 4. = น้ำที่ไม่ประโยชน์ 5. = น้ำที่มีประโยชน์

รูปที่ 2.1 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ ที่มา : (เทียนชัย, 2539)

ไปหาสารละลายนั้นๆปรากฏการณ์นี้ใช้ได้กับดินนั่นคือถ้าสารละลายในบริเวณการดูดซับ (adsorption zone) ของอนุภาคดินเหนียวเข้มข้นมากดินนั้นจะมีแรงดึงดูดน้ำที่เพิ่มขึ้น และน้ำที่ถูกดึงดูดเข้าไปในระหว่างดินเหนียว 2 แผ่นที่เรียงซ้อนกันจะดันให้ดินเหนียวพองตัว

3. แคพิลลารีตี้ (capillarity) เป็นแรงดึงน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำซึ่งเป็นผลรวมระหว่างความเชื่อมแน่น (cohesion) ของน้ำ และการประสาน (adhesion) ระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดินตรงผิวของน้ำ (air – water interface) ปรากฏการณ์นี้อาจเห็นได้ทั่วไปคือ เมื่อจุ่มหลอดเล็กๆที่ผนังด้านในเปียกน้ำลงไปในน้ำผิวเรียบจะมีน้ำบางส่วนดึงดูดขึ้นไปขังอยู่ในหลอดและถ้าสังเกตจะเห็นว่าผิวของน้ำในหลอดจะเว้าลงไปในน้ำ และความโค้งของผิวน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของหลอดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในขณะเดียวกันความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในหลอดจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีของหลอดเล็กลงด้วยการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์แสดงให้เราทราบว่ามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างความสูงของน้ำในหลอดแคพิลลารีกับรัศมีของหลอด หรือความโค้งของผิวน้ำในหลอด ปรากฏการณ์นี้สามารถใช้ได้กับดิน โดยที่ดินมีรูพรุนซึ่งเป็นช่องแทรกตัวอยู่ทั่วไปทั้งในเม็ดดิน และระหว่างเม็ดดินถึงแม้ว่าช่องในดินจะมีรูปร่าง และความต่อเนื่องที่แตกต่างจากหลอดแคพิลลารีมากแต่เราสามารถดัดแปลงปรากฏการณ์แคพิลลารี (capillarity phenomenon) ใช้กับดินได้ (เอิบ, 2526)

2.12 สภาพของน้ำในดิน

ในช่องว่างของดินจะมีน้ำ และอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญถ้าช่องว่างของดินมีปริมาณน้ำมากหรือน้ำขังตลอดเวลาย่อมแสดงว่าไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่าง ดังนั้นสามารถแบ่งสภาพของน้ำในดินออกได้ตามความแตกต่างของน้ำที่มีอยู่ในดินได้ดังต่อไปนี้

1. สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturates soil) คือ ดินที่มีน้ำอยู่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดินได้แก่ ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง
2. สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturates soil) คือ ดินที่มีน้ำอยู่ไม่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศ และเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดินได้แก่ดินที่ดอนที่ใช้ทำการเกษตรกรรมโดยทั่วไป
3. สภาพความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity : FC) คือ สภาพของดินที่สามารถอุ้มน้ำ หรือดูดยึดน้ำได้มากที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินลงไป 6 นิ้วช่องว่างขนาดเล็กในดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนน้ำที่อยู่ในช่องขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ออกหมดโดยแรงดึงดูดของโลก
4. สภาพน้ำเยื่อ (hygroscopic coefficient) เป็นสภาพที่น้ำจะอยู่ในรูปเยื่อบางๆรอบอนุภาคดิน น้ำจะถูกยึดด้วยแรงดึงดูดที่สูงมากตั้งแต่ 31 บรรยากาศจนถึง 10,000 บรรยากาศสภาพเช่นนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์
5. สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช (permanent wilting point) เป็นสภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากในช่องว่างขนาดเล็กของดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อยประกอบกับมีแรงยึดเพิ่มขึ้นในเวลากลางวันพืช จะต้องคายน้ำทำให้อัตราการคายน้ำมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืชทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบชั่วคราว เมื่อเราเพิ่มน้ำให้กับดินอาการเช่นนี้ก็จะหายไปในกรณีที่เราไม่เพิ่มน้ำให้แก่ดินปริมาณน้ำในดินก็จะน้อยลงไปเรื่อยๆประกอบกับแรงดูดยึดมีค่ามากขึ้น ทำให้ปริมาณการดูดน้ำของพืชได้น้อย และยากกว่าเดิม ทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบรุนแรงมากสภาพเช่นนี้จะทำให้พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวรแม้เราเพิ่มปริมาณน้ำในดินก็ตาม น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ดินเหนียว ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดพบว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีช่วงกว้างกว่าดินร่วน และดินทรายการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพาะปลูกต้องคำนึงเนื้อดินเป็นองค์ประกอบด้วย ถ้า

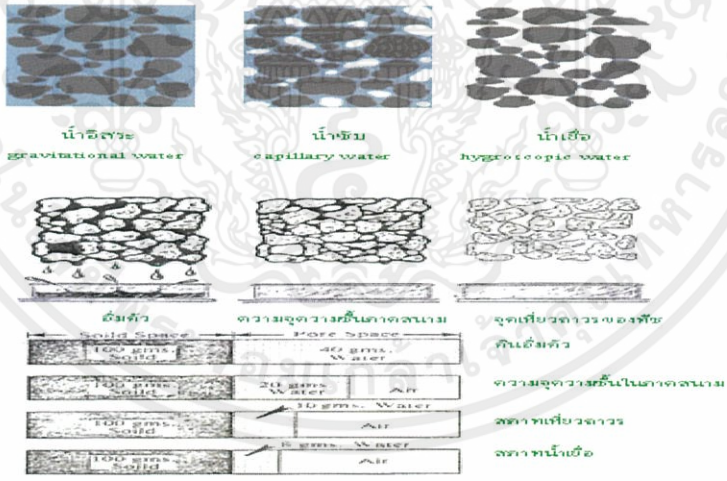
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

เนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากว่าดินร่วน และดินเหนียวในการหาน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหาได้ดังนี้ น้ำที่เป็นประโยชน์ = ความจุความชื้นภาคสนาม – ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน

ระดับความชื้นของดิน (%)				
เนื้อดิน	จำนวนตัวอย่าง	ความจุความชื้นในภาคสนาม	จุดเหี่ยวถาวร	น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
หยาบมาก	4	5.5	2.0	3.5
หยาบ	5	22.2	12.0	10.2
ปานกลาง	9	34.6	20.3	14.3
ละเอียด	6	33.8	21.3	12.5
ละเอียดมาก	9	33.5	20.2	13.3

ที่มา : (เกษมศรี, 2541)



รูปที่ 2.2 สภาพของน้ำในดิน (ปรับปรุงมาจากเกษมศรี, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การล้างดิน

การล้างดินเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสิ่งที่ปนเปื้อนออกจากดินผ่านตัวกลางในการล้างซึ่งเหมือนกับวิธีที่ใช้น้ำล้าง โดยทั่วไปในกระบวนการล้างดินด้วยตัวสกัดนั้นสารละลายที่ใช้ล้างอาจเป็นสารละลายที่เป็นด่าง ได้แก่ สารที่กัดกร่อนปูนขาว หินปูนที่แตกตัวด้วยน้ำ หรือในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบที่เป็นเบสในการล้าง เป็นต้น สารละลายกรด ได้แก่ ซัลฟูริก (H_2SO_4) ไนตริก (HNO_3) ฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือคาร์บอนิก (H_2PO_4) เป็นต้น หรือสารละลายที่เป็นสารลดแรงตึงผิว หรือ คีเลตติ้งเอเจนต์ พวกเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ หรือตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ตัวอื่นๆโดยเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสิ่งปนเปื้อนอยู่ เบสแก่ หรือสารละลายลดแรงตึงผิวสามารถใช้ได้ในการสกัดสารอินทรีย์ และสารละลายกรดแก่หรือสารละลายคีเลตติ้งเอเจนต์สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักได้ สามารถลดแรงตึงผิว และคีเลตติ้งเอเจนต์ มีความสำคัญมากในการล้างดินเพราะดินส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนออกจากดิน ขึ้นอยู่กับขนาดดิน ความพรุน โครงสร้างทางกายภาพ และทางเคมีของดิน

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆซึ่งนิยมใช้กันมี 3 ประเภท ดังนี้
   - การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนในดิน
   - การเติมคีเลตติ้งเอเจนต์ ซึ่งเป็นตัวที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะ และช่วยในการละลายเกิดดีขึ้น
   - การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ทำให้เป็นกลาง และทำลายสิ่งปนเปื้อน

การล้างดินปกติจะใช้น้ำในการกำจัดสารเคมีหรือมลพิษออกจากดิน สารเหล่านี้จะยึดเกาะ หรือดูดซับกับผิวของอนุภาคซิลท์ หรือเคลย์มากว่าที่จะดูดซับกับอนุภาคทราย หรือดินลูกรัง จุดประสงค์ในการล้างดิน อย่างแรกคือ การแยกอนุภาคที่ละเอียดของซิลท์ หรือเคลย์ออกจากอนุภาคทราย และดินลูกรัง อีกประการก็คือแยกสารเคมีที่ปนเปื้อนออกจากดิน โดยใช้น้ำหลังจากการบำบัดเสร็จแล้วก็จะเหลือสิ่งที่ตกค้างอยู่คือ

1. ทรายและดินที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้าง และสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้
2. ซิลท์และเคลย์ที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้าง และสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้
3. ดินที่ประกอบด้วยซิลท์และเคลย์ที่ละเอียด และยังปนเปื้อนอยู่ซึ่งต้องบำบัดโดยวิธีอื่น เช่น Incineration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำที่ล้างดินสามารถนำไปบำบัดโดยวิธีการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของสารปนเปื้อน

ข้อดีของวิธีนี้ คือ

1. ทำในระบบปิดจะควบคุมโดยควบคุมค่า pH และอุณหภูมิ
2. ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายอาจถูกกำจัด และบำบัดที่แหล่งได้
3. กำจัดสารปนเปื้อนได้หลายชนิด
4. ราคาถูก เพราะเป็นกระบวนการบำบัดเริ่มต้นไม่ต้องการกระบวนการกลไกที่ซับซ้อน

1. การใช้สารละลายสกัดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนเข้าไปอยู่ในรูปสารละลาย สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการล้างดินมีหลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพก็แตกต่างกันออกไป สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ประเภท คือ

2.13.1การล้างดินด้วยสารประกอบประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent)

คีเลต (Chelates) คือ สารที่มีความสามารถดูดยึดไอออนบวกบางอย่างให้มาอยู่ร่วมกันได้อย่างเหนียวแน่น โดยไม่ยอมให้ไอออนอื่นเข้าทำปฏิกิริยาให้พวกไอออนบวกที่ถูกดูดยึดอยู่นี้ตกตะกอน เสียความเป็นประโยชน์ไป เช่น การทำปฏิกิริยาของจุลธาตุไอออนบวกกับไฮดรอกไซด์หรือซัลเฟตไอออน เป็นต้น

คีเลต คือ สารอินทรีย์เคมี ซึ่งสามารถจะรวมและคุ้มกันไม่ให้มีการตกตะกอนของพวกไอออนบวกบางชนิด รวมทั้งธาตุไอออนพวกเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี สารคีเลตจะห้อมล้อมไอออนที่เป็นโลหะ (Metallic cation) ไว้เป็นการป้องกันไอออนอื่นที่เข้าไปเกิดพันธะ (Bond) กับโลหะบวกในสารคีเลต ทำให้โลหะไอออนบวกเหล่านี้อยู่ในสารละลายที่มี pH สูงกว่า ทำให้การตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะได้ยากขึ้น สารโลหะคีเลตแต่ละตัวมีความคงทนไม่เท่ากัน เหล็กคีเลตให้ผลดีในกรณีที่ระดับ pH ดินไม่สูงเกินไปสมบัติโดยทั่วไปของสารคีเลตสังเคราะห์ที่สำคัญ คือ ลักษณะที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับธาตุโลหะต่างๆในรูปของโลหะคีเลตเชิงซ้อน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระดับความสัมพันธ์แห่งการเกาะยึดธาตุโลหะไว้ได้แน่น หรือไม่แน่นของสารคีเลตชนิดต่างๆนั้น ได้มีการตรวจสอบค่าคงที่ ซึ่งแสดงเปรียบเทียบให้เห็นถึงความสามารถคงสภาพสัมพันธ์ระหว่าสารคีเลตแต่ละชนิดกับธาตุโลหะต่างๆหรือเรียกว่า ค่าคงที่ของความเสถียร (Stability constsnt ; K) โดยปกติตารางที่แสดงค่าความเสถียรคงที่ของโลหะคีเลตชนิดต่างๆนิยมบอกเป็นค่าลอกการิทึม ($\log_{10}$) ประเมินค่าความเสถียรคงที่ของโลหะคีเลตชนิดหนึ่งเปรียบเทียบกับโลหะอื่นๆที่เกาะยึดอยู่กับสารคีเลตประเภทต่างๆ การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้สารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงเนื่องจากสารดังกล่าวสามารถเกิดคีเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในดิน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแต่สารชนิดนี้มีราคาสูงจึงไม่นิยมใช้

การใช้สารคีเลตติ้งเอเจนต์กับการแก้ปัญหาของดิน ควรคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 4 ข้อ ดังนี้

1. สารเคมีควรมีความสามารถเกิดในสารเชิงซ้อนที่เสถียรในช่วงพีเอชที่กว้างที่อัตราส่วนลิแกนต์ต่อโลหะ 1:1
2. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารคีเลตติ้ง และสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักควรมีค่าต่ำ (ยกเว้นกรณีที่ใช้สารคีเลตติ้งที่ผ่านการใช้มาแล้ว)
3. สารคีเลตติ้งควรมีความเป็นพิษ และอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ
4. สารเคมีควรคุ้มค่าต่อการนำมาใช้

ตัวอย่างคีเลตติ้งเอเจนต์ที่ใช้

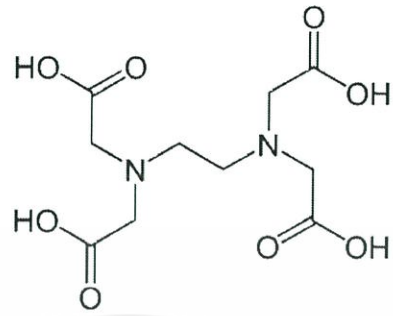
Ehtylene diaminetetraacitic (EDTA)

1. โครงสร้างของ EDTA

EDTA คือ ตัวคีเลตติ้งเอเจนต์และเป็นพอลิเดนเทตลิแกนต์อะตอมจะจ่ายมี 6 อะตอม สามารถจับอะตอมโลหะได้ในลักษณะที่คล้ายๆกรงเล็บ คำว่า “chele” ในภาษากรีกแปลว่ากรงเล็บซึ่งทำให้เป็นคีเลตติ้งลิแกนต์ที่ดี และเป็นสารประกอบ Tertiary amine ที่ประกอบด้วยหมู่ Carboxyl สามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิด สารนี้ใช้เป็นลิแกนด์เมื่อจับกับโลหะไอออนจะไอออนเชิงซ้อน หรือโมเลกุลที่มีความเสถียรสูงคือ สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากทรานซิชั่นสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มเรียกว่า สารประกอบโคออร์ดิเนชั่น ซึ่งโลหะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่และลิแกนต์ คือตัวคีเลตติ้งเอเจนต์เป็นอะตอม จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านการบำบัดเสียต่างๆมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะศึกษาโครงสร้างและสมบัติบางประการของสารนี้ สูตรโครงสร้างของ EDTA ดังนี้



รูปที่ 2.3 โครงสร้าง EDTA (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2555)

สารนี้เป็นกรดอ่อนชนิด Tetraprotic acid มีค่า $k_1 = 1.02 \times 10^{-2}$ $k_2 = 2.14 \times 10^{-3}$ $k_3 = 6.92 \times 10^{-7}$ $k_4 = 5.50 \times 10^{-11}$ ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าโปรตอนสองตัวแรกจะหลุดง่ายกว่าสองตัวหลังที่เหลือ ในสารละลายของกรดนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบดับเบิ้ลซวิทเทอร์ไอออน (Double zwitterions)

อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ O แต่ละหมู่ใน OH ของ N แต่ละตัวทำให้โมเลกุลของ EDTA เป็นลิแกนต์เฮกซะเดนเทต (Hexadintate ligand) ซึ่งสามารถรวมกับไอออนของโลหะได้สูตรอย่างย่อของ EDTA คือ H_4Y ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130-145 องศาเซลเซียสเป็นเวลาหลายชั่วโมง การละลายของสารนี้ต้องเติมเบสลงไปเล็กน้อยจะเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนเกลือโซเดียมไฮเดรตของ EDTA เป็นที่นิยมมากถึงแม้จะมีความชื้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ แต่ละลายน้ำได้และเมื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดโพลิเอทีลีนก็เสถียรเป็นเวลาหลายเดือน

1. การเกิดสารเชิงซ้อนของ EDTA กับโลหะ

สมบัติที่ดีของ EDTA เป็นลิแกนด์ที่รวมตัวกับอิออนของโลหะส่วนใหญ่ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ตัวอย่างเช่น ซิลเวอร์ไอออน คอปเปอร์ไอออน และอลูมิเนียมไอออน เมื่อรวมกับ EDTA จะให้สารเชิงซ้อนดังนี้

$$Ag^{+} + Y^{4-} \longleftrightarrow AgY^{4-} \quad \ldots\ldots (2.1)$$

$$Cu^{2+} + Y^{4-} \longleftrightarrow CuY^{2-} \quad \ldots\ldots (2.2)$$

$$Al^{3+} + Y^{4-} \longleftrightarrow AlY^{-} \quad \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบคีเลตที่เป็นตัวการที่ทำให้สารเหล่านี้เสถียร เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเกิดพันธะเคมีของลิแกนด์ที่มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลาง และล้อมรอบด้วยลิแกนด์ซึ่งจะทำให้ไอออนของโลหะแตกตัวออกจากโมเลกุลของตัวทำละลายได้

2. ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA

ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับ EDTA คือ K_{MY} ของไอออนของโลหะต่างๆที่มี EDTA เป็นลิแกนด์ค่านี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของ Y^{4-} ดังนี้

$$M^{n+} + Y^{4-} \longleftrightarrow MY^{(n-4)+} \quad \ldots\ldots (2.4)$$

$$K_{MY} = \frac{[MY^{(n-4)+}]}{[M^{n+}][Y^{4-}]} \quad \ldots\ldots (2.5)$$

3. ผลของ pH ที่มีต่อองค์ประกอบของ EDTA

เนื่องจาก K_{MY} มีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ Y^{4-} แต่ในสารละลายของ EDTA จะประกอบด้วยไอออน และโมเลกุลนอกเหนือไปจาก Y^{4} , HY^{3-} , H_3Y^{-} , H_2Y^{2-} และ H_4Y สารเหล่านี้มีความเข้มข้นมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่า pH จะเห็นว่าที่ pH 3-6 คือสารละลายกรดอ่อนเกือบเป็นกลาง H_2Y^{2-} จะเป็นสารที่มีมากที่สุด แต่ถ้าสารละลายเป็นกลาง หรือค่อนข้างเป็นเบสเล็กน้อย คือ pH ระหว่าง 6-10 EDTA ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ HY^{3-} แต่ถ้าเกิด pH สูงกว่า 10 EDTA จะอยู่ในรูป Y^{4-} จะเป็นสัดส่วนที่มีมากที่สุด ดังนั้นปฏิกิริยาของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะไดวาเลนซ์กับ EDTAในสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยจะเป็น ดังนี้

การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent) และคีเลตติ้งเอเจนต์ที่ใช้เป็นสารละลาย EDTA เมื่อนำไปล้างดินปนเปื้อนตะกั่วจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$Pb^{2+} + EDTA \longleftrightarrow [Pb(EDTA)]^{2+}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงค์เอเจนต์ (Reducing agent)

กระบวนการของรีดิวซิงค์เอเจนต์อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำให้อิเล็กตรอนของรีดิวซิงค์เอเจนต์มีจำนวนลดลง ซึ่งรีดิวซิงค์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน และการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามสารอินทรีย์ และโลหะ โดยทั่วไปสารประเภทรีดิวซิงค์เอเจนต์เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆเช่น การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องหนัง เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบรีดิวซิงค์เอเจนต์เหล่านี้มีราคาถูก จึงนำมาใช้ในการล้างดิน แต่ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันจึงมีการนำสารดังกล่าวมาใช้ควบคู่กับคีเลต

2.14 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

การหาปริมาณโลหะหนักนิยมใช้เทคนิคสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะ และแร่ธาตุในดินตะกอน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะ และชนิดของดินหรือกากตะกอน วิธีสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจะเกี่ยวข้องกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมในการสกัดแต่ละลำดับ (เพ็ญใจ, 2532)

ปริมาณของโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายลักษณะของโลหะหนักที่เป็นพิษในสภาวะแวดล้อมต่างๆได้การเคลื่อนที่ของโลหะหนักมักขึ้นกับ pH ศักย์รีดอกซ์ และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อมโดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (รัตติกาล, 2542)

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้

ปกติน้ำบริสุทธิ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่ใช้กันแต่มักใช้เป็นการสกัดในช่วงแรกเพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้นสามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับกันอย่างหลวมๆด้วยแรงไฟฟ้าสถิตกับแร่ธาตุ ทั้งในสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ของดินตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือเป็นสารละลายที่เป็นอิเลคโทรไลท์แตกตัวในน้ำได้และสามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวตัวอย่างสารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น neutral salt electrolytes และ buffered neutral solutions ซึ่ง $MgCl_2$ และ NH_4OAc นิยมใช้กันมากในส่วนนี้ เพราะไอออนที่มีประจุ +2 จะมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีกว่า ยกเว้น NH^{4+} ที่สามารถสกัด

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ไม่ว่าการนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

โลหะหนักได้ดีเท่ากับประจุ +2 และอะซิเตทสามารถจับกับโลหะหนักได้เสถียรมากกว่าโลหะหนักที่จับกับคลอไรด์ไอออน

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด

คุณสมบัติของสารในส่วนนี้ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ซึ่งสารละลายอะซิเตทถูกนำมาใช้โดยทำให้อยู่ในสภาวะเป็นกรดที่ pH 5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์โดยในงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิติก 0.11 M pH 3 มาใช้ในการสกัดโดยใช้อัตราส่วนสารตัวอย่างต่อสารที่ใช้สกัดเท่ากับ 1 : 25 กรัม : มิลลิลิตร

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวส์ได้

ในงานวิจัยนี้จะใช้การผสมของ reducing agent และกรดซึ่งปกติใช้สกัดโลหะปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe-oxidation หรือ Mn-oxide ในดิน และตะกอนซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า reducing phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง amorphous และ crystalline ค่า pH ที่ได้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวส์ของ reducing agent HOAc-$NH_2OH.HCl$ ไม่สามารถรีดิวส์ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนได้แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์ซึ่งในส่วนนี้ปกติจะนิยมใช้ hydroxylamine hydrochloride ใน acid เป็นการสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกออกซิไดส์ได้

การสกัดโลหะในดิน และตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์ด้วยกลไกหลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดแบบลำดับขั้นจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดส์เพื่อใช้สารละลายอินทรีย์ หรือสารที่สามารถได้สาเหตุที่การสกัดนี้ต้องรักษาสภาพให้เป็นกรดเพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ เพราะอาจเกิดการดูดซับกลับอีกครั้งของโลหะที่ถูกสกัดหากมีสภาวะที่สามารถออกซิไดส์ได้ซึ่งในงานวิจัยนี้สารสกัด และสภาวะสกัดจะใช้ 30 เปอร์เซ็นต์ H_2O_2 ที่ถูกทำให้เป็นกรดด้วย HNO_3 ให้มี pH เท่ากับ 2 และเติม 1.0 NH_4OAc pH 2 หลังจากทำการสกัดด้วย 30 เปอร์เซ็นต์ H_2O_2

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ

หลังจากที่สกัดบางส่วนออกไปแล้วของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรงเพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่นๆที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อนส่วนที่เหลือจากส่วนที่ 5 สามารถถูกละลายโดยการย่อยด้วย HF และ HNO_3 ที่อัตราส่วน 2 : 3 v/v

ปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปการหาขั้นตอนในการสกัดที่เจาะจงในโลหะหนักแต่ละขั้นได้ในการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบหลายขั้นตอนจะทำให้เกิดการชะโลหะหนักที่อยู่ในรูปอื่นออกมาได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามการสกัดแบบลำดับขั้นยังคงเป็นวิธีที่ใช้อธิบายหาลักษณะของโลหะหนักรูปต่างๆในดินหรือกากตะกอนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Chulsung Kim (2003)

เป็นการศึกษาการสกัดตะกั่วด้วยสารละลาย ethylene diamine tetar – acetic acid (EDTA) ทำการทดลองโดยใช้ดินตัวอย่าง 1 กรัม มาทำการล้างด้วย EDTA ความเข้มข้น 0.003 M ปรับ pH4 ,7 และ10 ควบคุมอัตราส่วนดินต่อสารละลายที่ 1 : 10 จากนั้นนำไปเขย่านาน 24 ชั่วโมง แล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 30 นาทีที่อัตราเร็ว 300 รอบต่อนาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตร- สโคปี พบว่า EDTA pH4 มีประสิทธิภาพในการล้างตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนมากที่สุด 50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ pH7 สกัดออกมาได้ 18 เปอร์เซ็นต์ และ pH10 สกัดออกมาได้ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. Zandra Arwidsson Kristin Elgh – Dalgren (2009)

เป็นการศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากดินโดยการล้างด้วย EDDS และ MGDA ทำการทดลองโดยใช้ดินตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง คือ Sandy , Sandy coarse และ Clay มาทำการล้างด้วย EDDS และ MGDA ความเข้มข้น 0.18 M pH7 อัตราส่วนดินต่อสารละลาย เป็น 1 : 10 ใช้เวลาเขย่านาน 10 , 20 , 30 ,60 นาที ,24 ชั่วโมง และ 10 วัน หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 6 นาที ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีแยกส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วย Perkin Elmer Winlab 32 software การกำจัดตะกั่วออกที่เวลา 10 นาที ดิน Sandy สามารถกำจัดตะกั่วออกได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ดินSandy coarse สามารถกำจัดตะกั่วออกได้ 20 เปอร์เซ็นต์ ดินClay มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วออกได้ 10 เปอร์เซ็นต์ที่ 24 ชั่วโมง การกำจัดตะกั่วจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ ดินSandy สามารถกำจัดออกได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ดิน Sandy coarse สามารถกำจัดตะกั่วออกได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ดิน Clay มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่ว 40 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลา 10 วัน ดิน Sandy coarse และ Clay มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วเพิ่มเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ดิน Sandy มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่ว 50 เปอร์เซ็นต์

3. Zinnat A. Begum (2012)

เป็นการศึกษาการกำจัดโลหะหนักออกจากดินโดยการล้างด้วย EDDS IDSA MGDA GLDA HIDS ทำการทดลองโดยใช้ดินตัวอย่าง 1 กรัมต่อสารละลาย 10 มิลลิลิตร โดยที่สารละลายมีการปรับ pH4,7 และ10 เข้าเครื่องเขย่านาน 1 ชั่วโมงแล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงนาน 10 นาที 3,000 รอบต่อนาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำส่วนใสไปวิเคราะห์ด้วยวิธี ICP-OES ประสิทธิภาพการกำจัดออกที่ pH7โดยใช้ EDDS และIDSA ล้างมีดังนี้ Cd > Cu > Zn > Ni > Pb ประสิทธิภาพการกำจัดออกโดยใช้ HIDS ล้างมีดังนี้ Cd > Cu > Zn > Ni > Pb ประสิทธิภาพการกำจัดออก โดยใช้GLDA และ MGDA ล้างมีดังนี้ Cd > Cu > Zn > Ni > Pb ซึ่งผู้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองสนใจการล้างด้วย MGDA โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดออกดังนี้ Cd ล้างออกได้ 50 เปอร์เซ็นต์ Cu ล้างออกได้ 38 เปอร์เซ็นต์ Zn ล้างออกได้ 25 เปอร์เซ็นต์ Ni ล้างออกได้ 15 เปอร์เซ็นต์ และPb ล้างออกได้ 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ไฮโดรมิเตอร์ มาตรฐาน ASTM No.1.152H อ่านสเกลในหน่วย กรัมต่อลิตร
2. pH meter ยี่ห้อ Denver instrument model 250
3. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA analyst 200 ยี่ห้อ Perkin Elmer
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
5. ตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช
6. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizental shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
7. เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2
8. ตู้อบ
9. กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
10. กระดาษกรองขนาด 1 ไมโครเมตร
11. ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 100 มิลลิเมตร

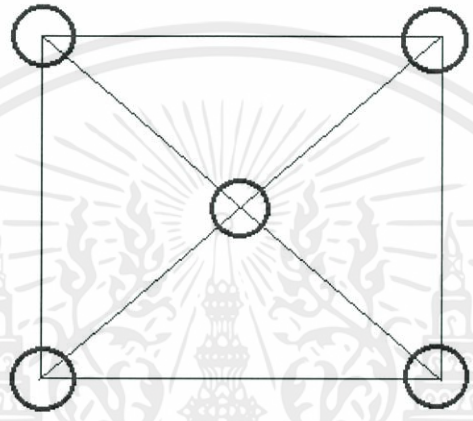
3.1.2 สารเคมี

1. แอมโมเนียอะซิเตต (CH_3COONH_4) A.R.Grade , บริษัท Apex, USA
2. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) A.R.Grade , บริษัท Apex, USA
3. กรดอะซิตริก (CH_3COOH) A.R.Grade , บริษัท Italmar, Italy
4. กรดไนตริก (HNO_3) A.R.Grade , บริษัท Italmar, Italy
5. ไฮดรอกซีลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH{\cdot}HCl$) A.R.Grade , บริษัท Italmar, Italy
6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) A.R.Grade , บริษัท Apex, USA
7. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) A.R.Grade , บริษัท Italmar, Italy
8. N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA) บริษัท Sigma-aldrich co.,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

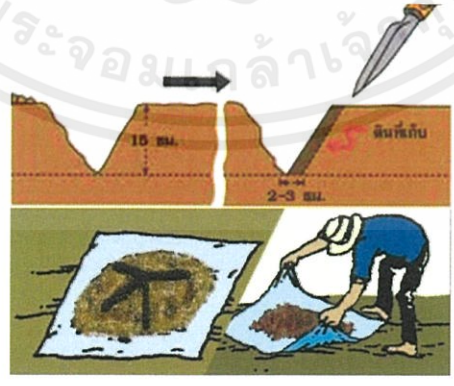
3.2 แหล่งที่มาของดิน

เก็บตัวอย่างดินบริเวณ ตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา โดยดินมีลักษณะเป็น sandy clay loam ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตรจากผิวดินก่อนขุดทำการถางหญ้า เศษวัชพืช หรือวัสดุที่อยู่บนผิวหน้าดินออกเสียก่อนทำการกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5×5 เมตรขุดดินที่มุมทั้งสี่มุม และจุดตัดของเส้นทแยงมุม ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ใช้จอบ เสียม หรือพลั่ว ขุดหลุมเป็นรูปตัว V ให้ลึกในแนวดิ่งประมาณ 15 เซนติเมตรให้ครบทุกจุดทุบให้ละเอียดพอประมาณแล้วเทรวมกันคลุกเคล้าผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการกองตัวอย่างดินให้เป็นรูปกรวยคว่ำแล้วแบ่งผ่าเป็นสี่ส่วนเท่าๆกันเลือกเก็บตัวอย่างดินมาสองส่วนที่อยู่ด้านตรงข้ามกันเพื่อเป็นดินตัวอย่างของดินทั้งหมด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสังเคราะห์ดิน

นำดินตัวอย่างที่ได้ไปตากให้แห้งเป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำดินที่แห้งแล้วมาตำแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช นำดินที่ร่อนได้ไปสังเคราะห์โดยเติมโลหะหนักลงไป 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อันได้แก่ ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้นาน 2 สัปดาห์ โดยผึ่งแดดให้แห้งตามธรรมชาติ

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดิน ตากแห้งทำได้โดยเทดินลงบนแผ่นพลาสติก หรือผ้ายางเกลี่ยดินให้กระจายผึ่งไว้ในที่ร่มจนแห้ง สำหรับดินที่เป็นก้อนให้ใช้ไม้ทำการทุบให้ละเอียดพอประมาณเมื่อแห้งแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันนำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปทดลองเป็นลำดับต่อไป ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
pH	pH meter
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวโดยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีอบแห้งและกราวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณของโลหะหนักในดิน	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

หมายเหตุ:วิธีการวิเคราะห์ดูได้ที่ภาคผนวก ก

3.5 การทำการทดลอง

3.5.1 วิธีการล้างดิน

3.5.1.1 การล้างโลหะหนักโดยใช้MGDA

1. ชั่งดินไปสังเคราะห์โลหะหนัก 1 กรัม ลงไปในขวดรูปชมพู่พลาสติกขนาด 250 mL
2. ใช้สารละลาย MGDA เข้มข้น 0 , 0.01 , 0.05 และ 0.1 M ที่อัตรา 1 : 10 (W/V)
3. ปรับสภาวะการทดลองที่ pH4 , 7 และ10
4. เขย่าดินนาน 2 ชั่วโมง โดยใช้ความเร็ว 30 rpm ที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวนาน 10 นาที ที่ความเร็ว 3,000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรองโดยใช้ cellulose membrane filters ขนาด 0.45 μm.
7. นำไปวิเคราะห์ผลโดยใช้เครื่อง AAS
8. ทำขั้น 1-7 ซ้ำความเข้มข้นและ pH อีก 2 ครั้ง
9. หาค่า pH และความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่ล้างตะกั่วออกมาได้มากที่สุด
10. ใช้ดินที่ไม่ได้สังเคราะห์มาทำเป็นแบลงค์ล้างด้วย MGDA เหมือนดินที่สังเคราะห์

3.5.1.2 การล้างตะกั่วโดยใช้ EDTA

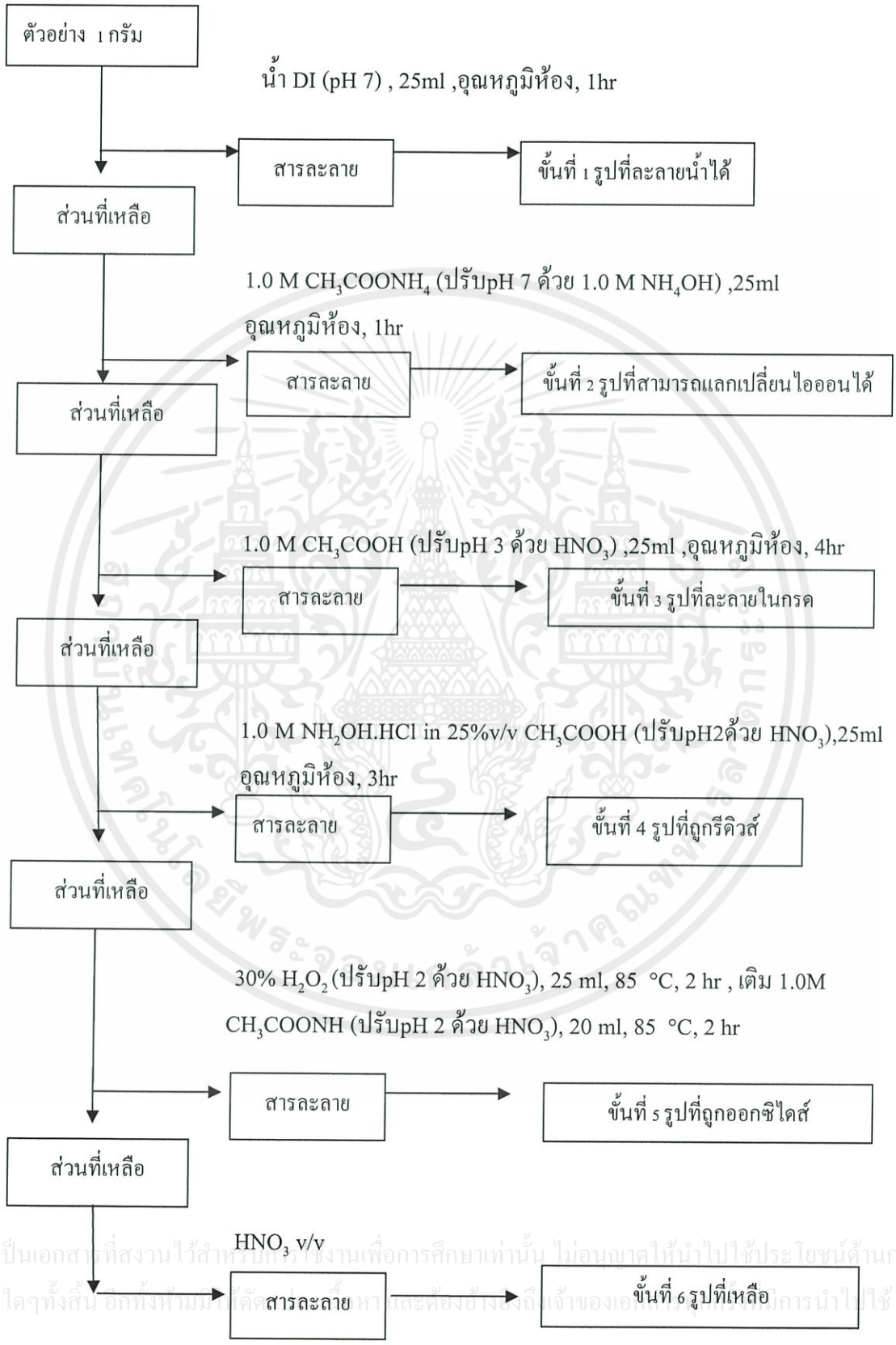
1. การล้างตะกั่วใช้ความเข้มข้นของ EDTA 0.1 M ที่ pH7
2. ทำขั้นตอนการล้างเหมือนกับขั้นตอนการล้างด้วย MGDA
3. ใช้ดินที่ไม่ได้สังเคราะห์มาทำเป็นแบลงค์ล้างด้วย EDTA เหมือนดินที่สังเคราะห์

3.5.2 การสกัดลำดับขั้น

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์มาทำการสกัดแบบลำดับขั้นเพื่อศึกษาว่าตะกั่วที่อยู่ในดินถูกสกัดออกมาในรูปใดมากที่สุด รูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การสกัดลำดับขั้น (รัตติกาล , 2542)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

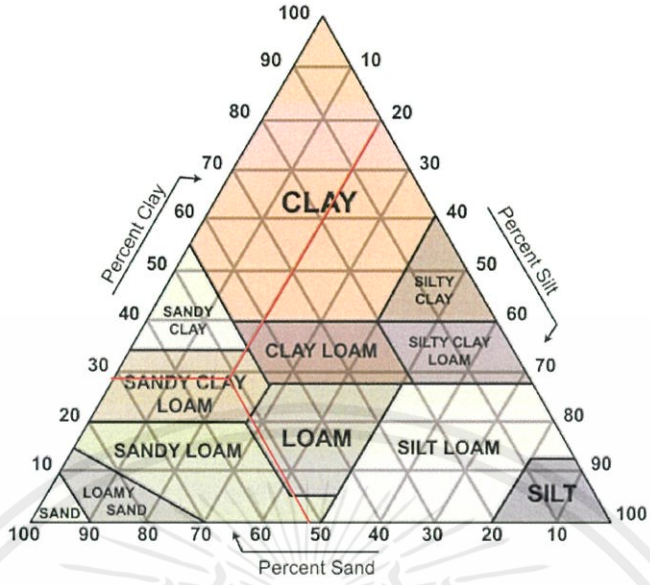
จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินตัวอย่าง มีผลดังตารางที่ 4.1 (ดูตารางข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินทั้งหมดได้ที่ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

pH		7.80±0.01
CEC (meq/100g)		4.50±0.00
ปริมาณสารอินทรีย์ (%)		0.70±0.02
ปริมาณความชื้น (%)		2.33±0.33
การกระจายอนุภาคดิน	% sand	54.68±1.18
	% silt	19.69±1.18
	% clay	26.29±1.18
ลักษณะดิน		Sandy Clay Loam

จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคดินในรูปของ Sandy Clay Loam ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคดิน (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

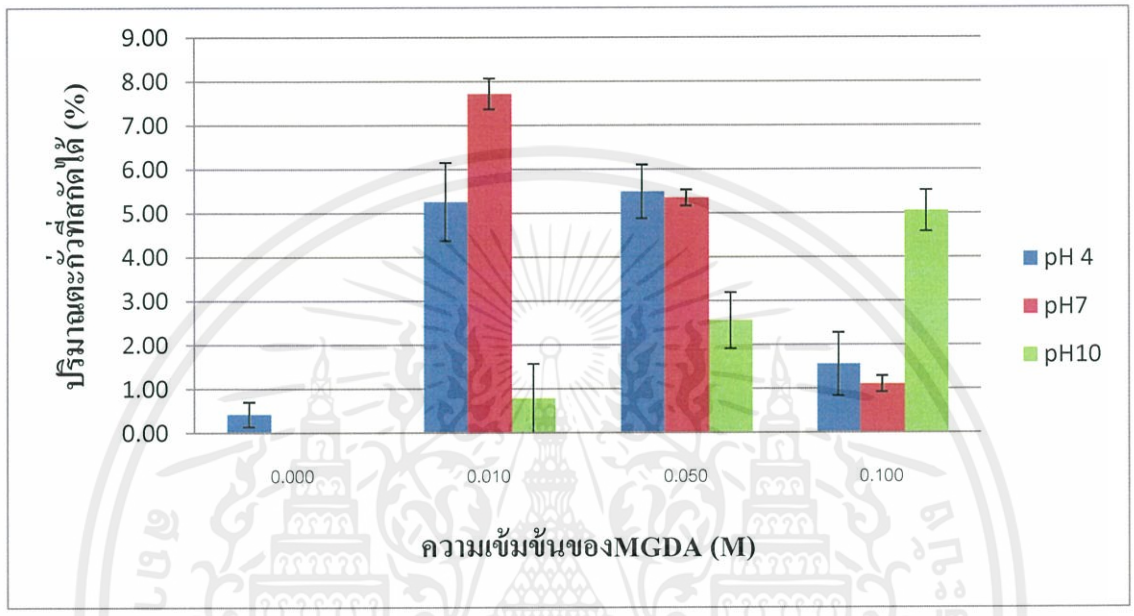
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน

พารามิเตอร์	ปริมาณที่พบ (mg/kg)	ค่ามาตรฐานโลหะหนัก (mg/kg)
ตะกั่ว	0.862±1.054	ไม่เกิน 400
ทองแดง	14.822±0.514	ไม่เกิน 45
นิกเกิล	17.109±0.519	ไม่กิน 1,600
แคดเมียม	2.372±1.660	ไม่เกิน 37
สังกะสี	58.152±0.816	ไม่มีการจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาการล้างดินปนเปื้อนโลหะหนักด้วย N,N-Bis(Carboxymethyl)-DL-alanine trisodium salt (MGDA)

4.2.1 การล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ด้วย MGDA

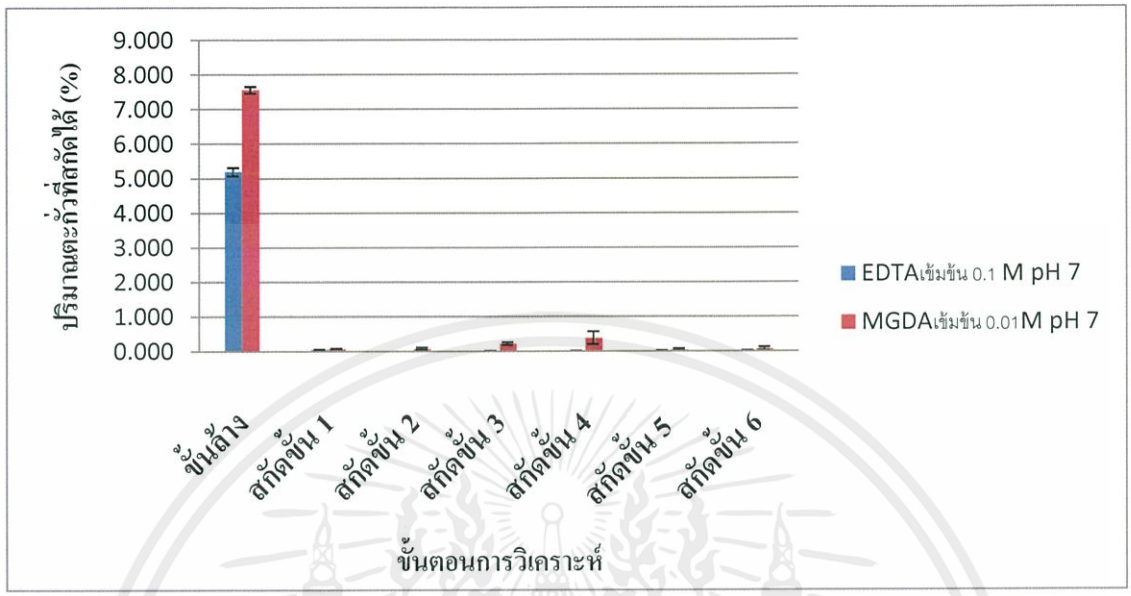


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่สกัดได้จากการล้างด้วย MGDA ความเข้มข้นต่างๆ

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้น และpH ที่เหมาะสมในการสกัดตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนด้วยการนำดินสังเคราะห์ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมาล้างด้วย MGDA ที่แปรผันความเข้มข้นเป็น 0 , 0.01 , 0.05 และ 0.1 M ปรับสภาวะการทดลองที่ pH4 ,7 และ10 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 จากกราฟพบว่า N,N-Bis(Carboxymethly)-DL-alanine trisodium salt (MGDA) ที่ความเข้มข้น 0.01 M สามารถทำการล้างตะกั่วออกมาได้ในปริมาณที่มากที่สุดที่ pH7 โดยมีเปอร์เซ็นต์การล้างที่ 7.47 เปอร์เซ็นต์ซึ่งล้างตะกั่วออกมามากกว่า pH 4 ที่สามารถล้างตะกั่วได้ 5.26 เปอร์เซ็นต์ และที่ pH10 มีเปอร์เซ็นต์การล้างที่ 0.78 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยของ Zinnat A. Begum (2012) ได้ทำการทดลองโดยล้างดินตัวอย่างด้วย MGDA 0.05M ที่pH4 ,7 และ10 ผลการทดลองพบว่าที่ pH4 สามารถล้างตะกั่วออกมาได้ดีที่สุดคือ 45 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ pH10 สามารถล้างตะกั่วออกมาได้ 20 เปอร์เซ็นต์และน้อยที่สุดคือ pH7 สามารถล้างตะกั่วออกมาได้ 10 เปอร์เซ็นต์ซึ่งผลการทดลองมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากค่า pH ของดินที่มีความแตกต่างกัน จากดินที่ใช้ในการทดลองมี pH7.8 ส่วนในดินของงานวิจัยไม่ได้กล่าวไว้ว่ามี pH ที่เท่าใด และสำหรับเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในดินจากผลการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.70 ส่วนในดินของงานวิจัยไม่ได้กล่าวไว้ว่ามีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุในดินที่เท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การล้างตะกั่วออกจากดินโดยใช้ EDTA และ MGDA



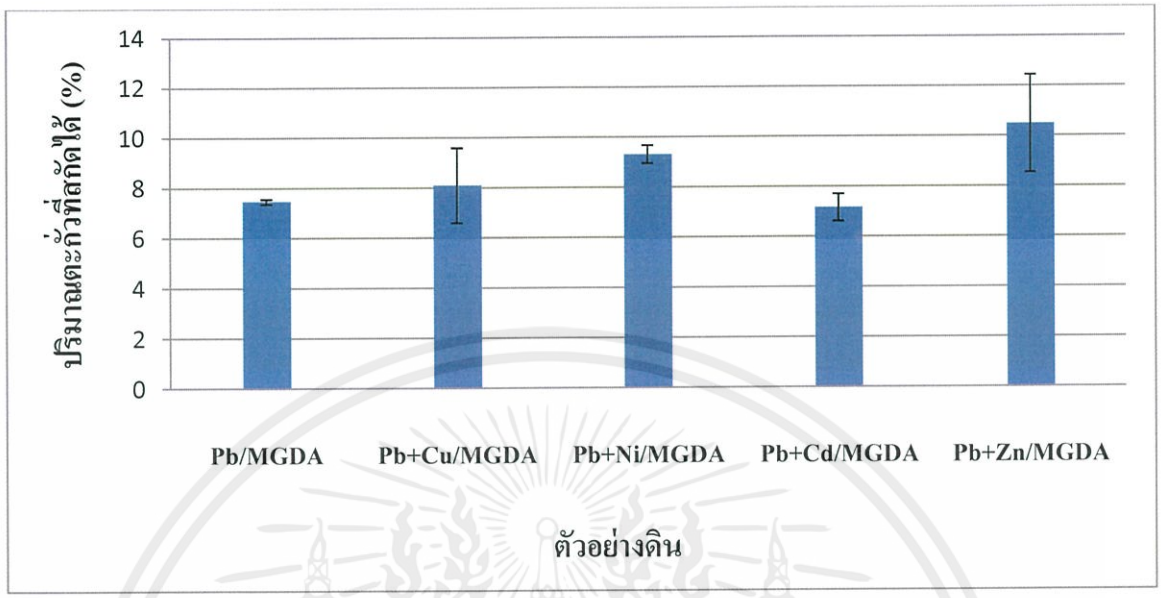
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วย EDTA และ MGDA

หมายเหตุ: สกัดขั้น 1 รูปที่ละลายน้ำ สกัดขั้น 2 รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้
สกัดขั้น 3 รูปที่ละลายในกรด สกัดขั้น 4 รูปที่ถูกรีดิวส์
สกัดขั้น 5 รูปที่ถูกออกซิไดซ์ สกัดขั้น 6 รูปที่เหลือ

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ตะกั่ว 200 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยใช้ EDTA 0.1 M pH7 และ MGDA 0.01 M pH7 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 จากรูปพบว่า MGDA มีประสิทธิภาพในการล้างตะกั่วออกจากดินคือ 7.47 เปอร์เซ็นต์ ส่วน EDTAมีประสิทธิภาพในการล้างตะกั่วออกจากดินคือ 5.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งMGDA มีประสิทธิภาพสูงกว่า EDTA แม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นที่น้อยกว่า เนื่องมาจากการใช้ EDTA ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจากงานวิจัยของ Chulsung Kim (2003) ได้ทำการทดลอง EDTA 0.003 M pH4 , 7 และ10 พบว่า EDTA pH4 มีประสิทธิภาพในการล้างตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนมากที่สุด 50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ pH7 สกัดออกมาได้18 เปอร์เซ็นต์ และ pH10 สกัดออกมาได้10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อดูผลจากการสกัดแบบลำดับขั้นจะเห็นได้ว่าตะกั่วจะถูกสกัดออกมาได้ในปริมาณที่น้อยมากไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ขั้นที่สกัดออกมาได้สูงที่สุดคือรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ที่ผสมตะกั่วกับโลหะหนักชนิดอื่น

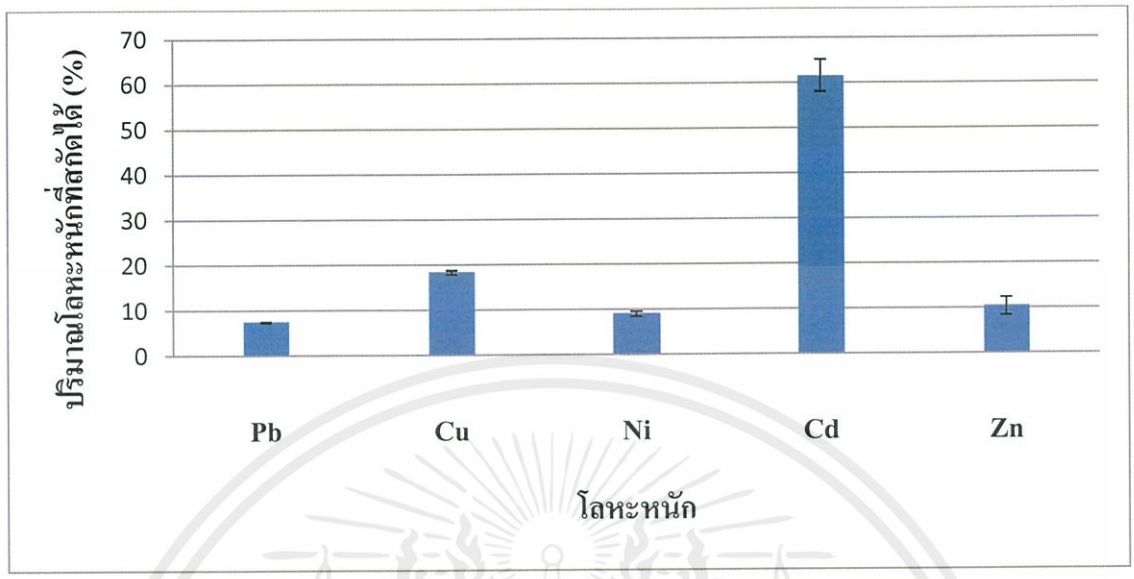


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ตะกั่วที่สกัดได้จากการล้างดินสังเคราะห์ตะกั่ว ตะกั่วผสมทองแดง ตะกั่วผสมนิกเกิล ตะกั่วผสมแคดเมียม และตะกั่วผสมสังกะสี ด้วย MGDA

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การล้างตะกั่วออกมามากที่สุด รองลงมาคือ ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) นั่นพบว่าสังกะสี นิกเกิล และทองแดงมีส่วนช่วยทำให้สามารถล้างตะกั่วออกมาได้ดียิ่งขึ้น โดยสังกะสีให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือนิกเกิล และทองแดง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การล้างโลหะหนักออกจากดินสังเคราะห์ด้วย MGDA



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์โลหะหนักชนิดต่างๆที่สกัดได้จากการล้างดินสังเคราะห์ด้วย MGDA

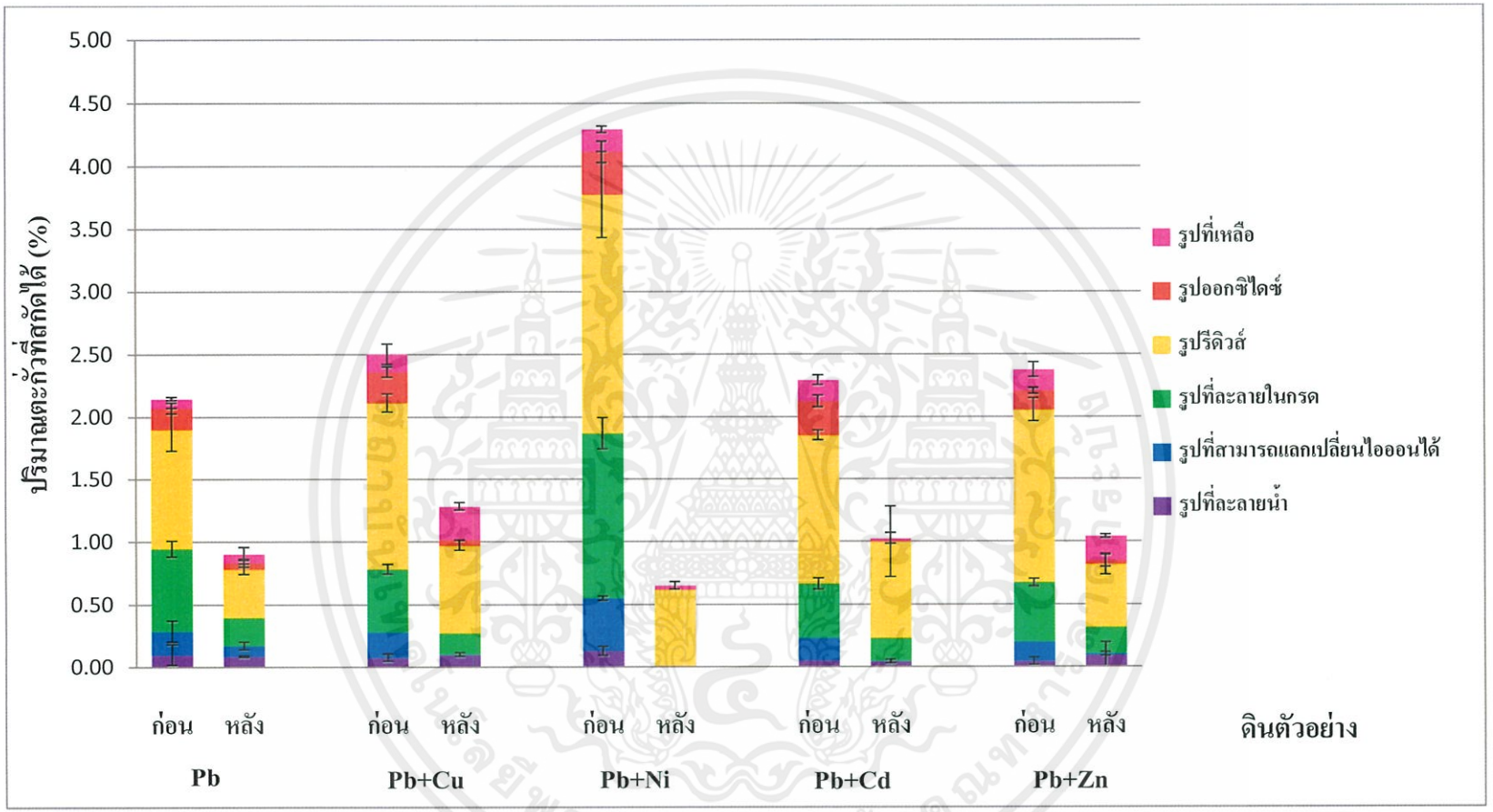
ทำการล้างดินที่ปนเปื้อนตะกั่วอย่างเดียว และตะกั่วที่ผสมกับโลหะอื่นด้วย MGDA ที่ pH7 ความเข้มข้น 0.01 M ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้คือ MGDA สามารถล้างโลหะหนักชนิดอื่นๆคือ ทองแดง นิกเกิล แคดเมียม และสังกะสี ออกมาได้ในปริมาณที่มากกว่าตะกั่ว (รูปที่ 4.5) โดยแคดเมียมถูกล้างออกมาได้ในปริมาณที่มากที่สุดคือ 61.54 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ทองแดง (18.40 เปอร์เซ็นต์) สังกะสี (10.50 เปอร์เซ็นต์) และนิกเกิล (9.11 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zinnat A. Begum, (2012) ได้ทำการทดลองโดยล้างดินตัวอย่างด้วย MGDA pH7 ในการล้างตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล แคดเมียม และสังกะสี พบว่า MGDA มีประสิทธิภาพในการล้างแคดเมียมมากที่สุด รองลงมาคือทองแดง สังกะสี นิกเกิล และน้อยที่สุดคือตะกั่ว

4.3 การศึกษาการสกัดโลหะหนักในดินโดยการสกัดแบบลำดับขั้น

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักด้วยการสกัดลำดับขั้น ได้ผลดังนี้

4.3.1 การสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



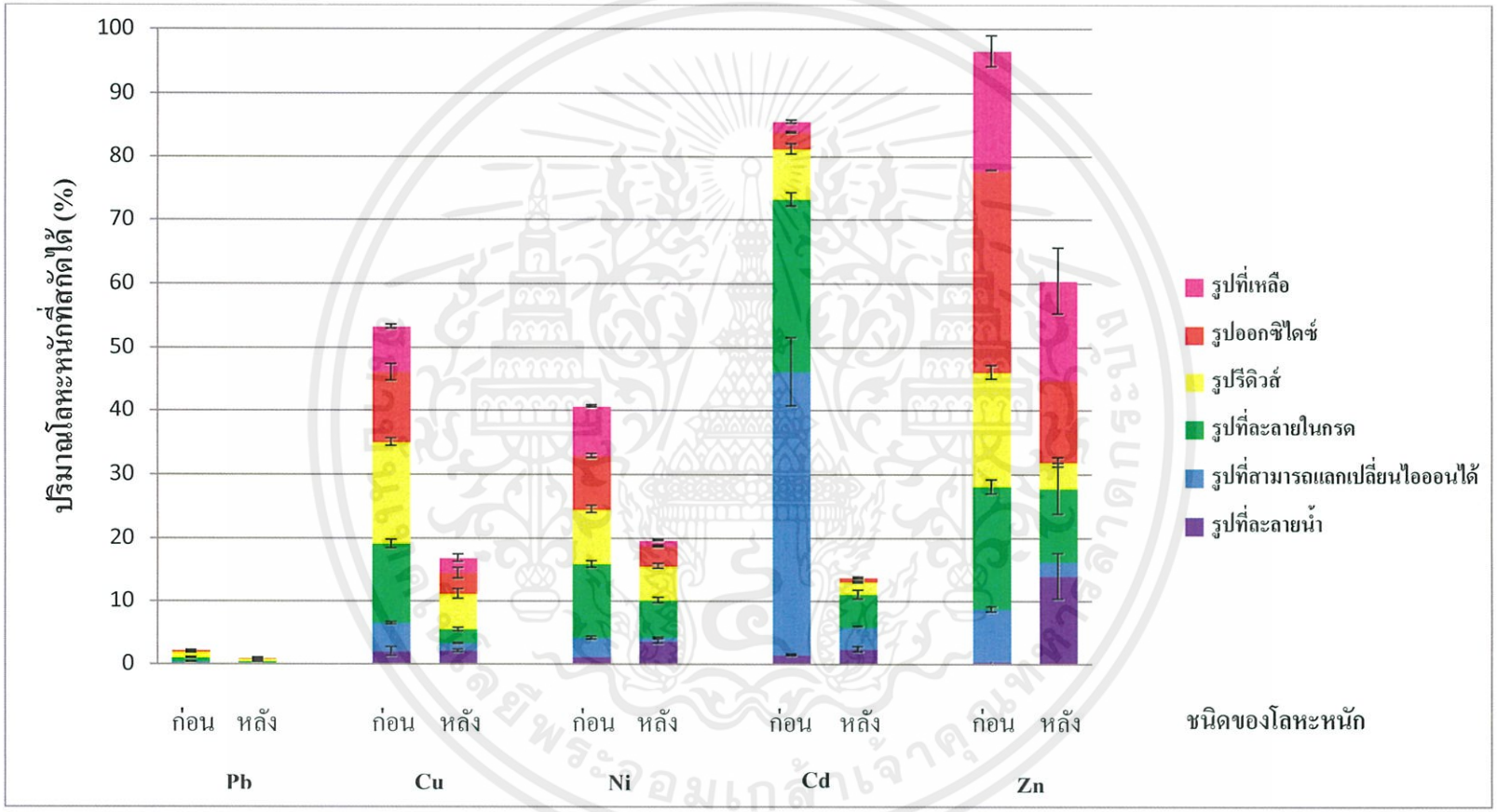
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ก่อนและหลังการล้างด้วย MGDA

จากรูป 4.6 พบว่าการสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ด้วยการสกัดลำดับขั้นประสิทธิภาพการสกัดตะกั่วที่อยู่ในดินได้ดีที่สุดคือ ดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สกัดออกมาได้ 4.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้ โดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นมากถึง 95.80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 0.63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่เหลือน้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ

เมื่อสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์อื่นพบว่าตะกั่วสามารถสกัดออกมาได้อยู่ในช่วง 2.10-2.50 เปอร์เซ็นต์ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้สูงถึง 98.90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 0.90-1.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่ถูกออกซิไดซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การสกัดโลหะหนักชนิดอื่นออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบปริมาณโลหะชนิดต่างๆที่สกัดได้ก่อนและหลังการล้างด้วย MGDA

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์ด้วยการสกัดลำดับขั้น ประสิทธิภาพการสกัดทองแดงที่อยู่ในดินได้ดีที่สุดคือ สกัดออกมาได้ 55.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้ โดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นมากถึง 45.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 17.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกรีดิวส์ รองลงมาคือรูปที่ถูกออกซิไดส์ น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ

การสกัดนิกเกิลออกจากดินสังเคราะห์ด้วยการสกัดลำดับขั้นประสิทธิภาพการสกัดนิกเกิล สกัดออกมาได้ 40.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้ โดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นมากถึง 60.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายในกรด รองลงมาคือรูปที่ถูกรีดิวส์ น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 20.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายในกรด รองลงมาคือรูปที่ถูกรีดิวส์ น้อยที่สุดคือรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้

การสกัดแคดเมียมออกจากดินสังเคราะห์ด้วยการสกัดลำดับขั้นประสิทธิภาพการสกัดแคดเมียมสกัดออกมาได้ 85.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้ โดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นมากถึง 15.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 14.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายในกรด รองลงมาคือรูปสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ น้อยที่สุดคือรูปที่เหลือ

การสกัดสังกะสีออกจากดินสังเคราะห์ด้วยการสกัดลำดับขั้นประสิทธิภาพการสกัดสังกะสีสกัดออกมาได้ 96.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีส่วนที่สกัดออกมาไม่ได้ โดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นมากถึง 4.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ถูกออกซิไดส์ รองลงมาคือรูปที่ละลายในกรด น้อยที่สุดคือรูปที่ละลายน้ำ และหลังจากล้างด้วย MGDA ประสิทธิภาพการสกัดลดลงเหลือ 60.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เหลือ รองลงมาคือรูปละลายน้ำ น้อยที่สุดคือรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการล้างดินปนเปื้อนโดยใช้สารละลาย MGDA เปรียบเทียบผลกับการล้างด้วย EDTA และศึกษาผลของโลหะหนักชนิดอื่นที่มีผลต่อการชะล้างตะกั่วออกจากดิน พบว่า

5.1.1 คุณสมบัติของดิน

ตัวอย่างเป็นดินบริเวณตำบลกฤษณา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา มีลักษณะเนื้อดินเป็น Sandy clay loam เนื้อสัมผัสละเอียด ไม่มีกลิ่น มี pH7.8 ค่า CEC 4.5 meq/100g ค่า OM 0.7 %

5.1.2 ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการล้างดินของสารละลาย MGDA คือ 0.01 M ที่ pH7

5.1.3 เมื่อล้างดินปนเปื้อนตะกั่ว 200mg/kg ด้วย MGDA 0.01 M pH7 พบว่าสามารถล้างตะกั่วได้ 7.47 % ซึ่งมากกว่าเมื่อล้างด้วย EDTA 0.1 M pH7 (ล้างได้ 5.19 %)

5.1.4 จากการศึกษาผลของโลหะหนักชนิดอื่นต่อประสิทธิภาพการล้างของตะกั่ว พบว่าสังกะสีส่งผลให้ล้างตะกั่วออกมาจากดินได้มากที่สุด นิกเกิลส่งผลให้ล้างตะกั่วออกมาจากดินได้รองลงมา และทองแดงส่งผลเป็นอันดับที่สาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การล้างดินด้วย MGDA ควรทดลองนำไปใช้กับโลหะหนักชนิดอื่นนอกเหนือจากตะกั่ว

5.2.2 ระยะเวลาในการเขย่าดิน ควรทดลองใช้ระยะเวลาในการเขย่าให้นานขึ้น

5.2.3 ดินตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ควรเลือกใช้ดินที่มีสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดินที่ 2.** กรมพัฒนาที่ดิน.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

เกษมศรี ซับซ้อน. 2541. **ปฐพีวิทยา.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : นานาสิ่งพิมพ์. 161-165.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 8 . กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์. 80-81.

ถวิล ครุฑกุล. 2527. **ดินและปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูก.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 55-58.

เทียนชัย สุวรรณเวช. 2539. **เคมีของดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 65-69.

นัทชธีร์ญา ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **"การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอ."** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์, บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 25-32.

พิชัย สราญรมย์. 2543. **เอกสารโรเนียวคู่มือการสอนวิชาปฐพีวิทยา.** จันทบุรี : สถาบันราชภัฏรำไพพรรณี. 16-20.

เพ็ญใจ สมพงศ์ชัยกุล. 2532. **"การวิเคราะห์รูปแบบของโลหะปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดยวิธีสกัดลำดับขั้น."** วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 19-23.

รัตติกาล จันทิวาสน์. 2542. **"การปรับเสถียรของโลหะมีพิษในกากตะกอนจากโรงงานถลุงสังกะสี."** วิทยานิพนธ์ปริญญาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 86-94.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจาการใช้สารเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. 62-65.

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2526. **การสำรวจดิน.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 35-48.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2548. **ความชื้นในดิน.** [Online] Availabl http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_4.php เข้าถึงเมื่อวันที่ : 3 กรกฎาคม 2555.

คลังปัญญา. 2554. **ตะกั่ว.** [Online]. Available http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php เข้าถึงเมื่อวันที่ : 3 กรกฎาคม 2555.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2555. **สังกะสี.** [Online] Available http://th wikipedia.org/wiki/สังกะสี เข้าถึงเมื่อวันที่ : 15 กรกฎาคม 2555.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2555. **Ethylenediaminetetraacetic acid**. [Online] Available http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylenediaminetetraacetic_acid เข้าถึงเมื่อวันที่ : 16 กรกฎาคม 2555.

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2553. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งมีพิษ.** [Online] Available http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/ez_001_001.asp เข้าถึงเมื่อวันที่ : 30 กรกฎาคม 2555.

Chulsung Kim, Yongwoo Lee, Say KeeOng. 2003. "Factor affecting EDTA extraction of lead-contaminated soils." **Journal of Chemosphere.** 51 : 845-853.

Nation industrial chemicals notification and assessment scheme. 2004. **Methyl glycine diacetic acid, trisodium salt**. Australia : n.p.

Zandra Arwidsson, Kristin Elgh-Dalgren. 2010. "Remediation of heavy metal Contaminated soil washing residues with amino polycarboxylic acid." **Journal of Hazardous Materials.** 173 : 697-704.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zinnat A. Begum, Ismail M.M. Rahman, Yousuke Tate, Hikaru Sawai, Teruya Maki, Hiroshi Hasegawa. 2012. "Remediation of toxic metal contaminated soil by Washing with biodegradable aminopolycarboxylate chelants." **Journal of Chemosphere.**87:1161-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ดิน

ก.1 การวัดค่า pH (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร

2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องpH meter)

4. จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวน โดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆแล้วอ่านค่า pH

ก.2 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งดินตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ลงไป 20 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน

2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง

3. ล้างดินออกด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 นอร์มอล ครั้งละ 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้งประมาณ 10 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือดถ้าเกิดตะกอน หรือสารละลายขุ่นแสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)

4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 นอร์มอล 4 ครั้งและล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25นอร์มอล อีก 1 ครั้งจากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิวแอลกอฮอลล์ 7 ครั้งๆละ 30 มิลลิลิตร โดยนำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออก จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 นอร์มอล 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไล่แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มิลลิลิตร ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยงเก็บส่วนใสไว้

6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 25 มิลลิลิตร ใส่ใน Kjeldahl Flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (Condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทรเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

9. กลั่นแบลงค์ และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

<u>การคำนวณ</u>

$$CEC = [(A-B)\,N \times 100] / X \text{ มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \quad \text{(ก 1)}$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

ก. 3 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารโดยวิธี walkley and Black (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท 1 นอร์มอล ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นเวลา 1-2 นาทีตั้งทิ้งไว้ให้เดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตรทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต และเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

<u>การคำนวณ</u>

$$\% \text{ Organic Carbon} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{1000} \times \frac{10}{W} \quad \text{..... (ก 2)}$$

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = ปริมาณของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

T = ปริมาณของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักดิน

$$\%\text{Organic matter} = \%\text{Organic carbon} \times 1.724 \text{..... (ก 3)}$$

หรือ $$\%\text{Organic matter} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{1000} \times \frac{10}{W} \text{ ...(ก 4)}$$

ก.4 การหาค่าความชื้น (นัทชธีร์ญา, 2545)

1. ชั่งน้ำหนักกระดาษฟอยที่สะอาด
2. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ลงบนกระดาษฟอยจดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}} \text{ .....(ก 5)}$$

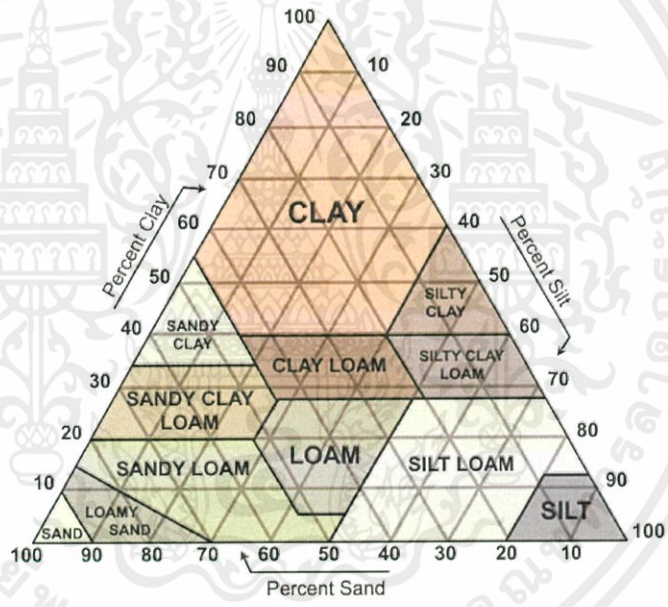
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

ก.5 การหาเปอร์เซ็นต์แซนด์ ซิลท์ เคลย์ (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

<u>การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์</u>

1. เทสารละลายคัลกอน จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร 1.0 ลิตร ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ Plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20-25 °C)
2. ค่อยๆหย่อยไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวังอ่านค่าสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายร่วน หรือดินทรายใช้ 100 กรัม) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายคัลกอน 100 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาทีแล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 ลิตรทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ Plunger ขึ้น-ลงเบาๆเพื่อให้เกินการผสมกันทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อยๆหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอย และอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์เมื่อเวลาผ่านไป 20 และ40 วินาที หลังจากการกวนผสมค่าที่อ่านได้ควรหักลบออกจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อยๆดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จล้าง และเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมงให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

ข้อควรระวัง

การหาขนาดอนุภาคด้วยไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นดินเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณ

$$\%\text{Sand} = \frac{(W - R)40S \times 100}{W} \quad \text{..... (ก 6)}$$

$$\%\text{Clay} = \frac{R_{2hr} \times 100}{W} \quad \text{..... (ก 7)}$$

$$\%\text{Silt} = 100 - (\%\text{Sand} + \%\text{Clay}) \quad \text{..... (ก 8)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการ ล้างดินและสกัดลำดับขั้น

วิธีการล้างดิน

ขั้นที่ 1 การล้างโลหะหนักโดยใช้คีเลต

1.1 การล้างโลหะหนักโดยใช้ MGDA

1. ใช้สารละลาย MGDA เข้มข้น 0 , 0.01 , 0.05 และ0.1 M ที่อัตรา 1 : 10 (W/V)
2. ปรับสภาวะการทดลองที่ pH4 , 7 และ10
3. เขย่าดินนาน 2 ชั่วโมง โดยใช้ความเร็ว 30 rpm ที่อุณหภูมิห้อง
4. แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวนาน 10 นาที ที่ความเร็ว 3,000 rpm
5. กรองโดยใช้ cellulose membrane filters ขนาด 0.45 μm.
6. นำไปวิเคราะห์ผลโดยใช้เรื่อง AAS
7. ทำซ้ำอีก 2 ซ้ำ
8. ใช้ดินที่ไม่ได้สังเคราะห์มาทำเป็นแบลงค์ล้างด้วย MGDA เหมือนดินที่สังเคราะห์

1.2 การล้างตะกั่วโดยใช้ EDTA

1. การล้างตะกั่วใช้ความเข้มข้นของ EDTA 0.1 M ที่ pH7
2. เขย่าดินนาน 2 ชั่วโมง โดยใช้ความเร็ว 30 rpm ที่อุณหภูมิห้อง
3. แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวนาน 10 นาที ที่ความเร็ว 3,000 rpm
4. กรองโดยใช้ cellulose membrane filters ขนาด 0.45 μm.
5. นำไปวิเคราะห์ผลโดยใช้เรื่อง AAS
6. ทำซ้ำอีก 2 ซ้ำ
7. ใช้ดินที่ไม่ได้สังเคราะห์มาทำเป็นแบลงค์ล้างด้วย EDTA เหมือนดินที่สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

ขั้นที่ 1 Water soluble

1. นำตัวอย่างดิน 1 กรัม มาผสมกับน้ำ DI 25 mL ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสนาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นถัดไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH7 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสนาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นถัดไป

ขั้นที่ 3 Acid soluble

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.1 M CH_3COOH pH3 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสนาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH•HCl$ pH2 (ใน 25%V/V CH_3COOH) ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสนาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นถัดไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม H_2O_2 30% pH2 ปริมาตร 20 mL ในขวดรูปชมพู่
2. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 2 ปริมาตร 20 mL
4. นำไปเขย่าด้วย Waterbath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
6. เก็บใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
7. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นถัดไป

ขั้นที่ 6 Residual

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103-105°C นาน 30 นาที
2. นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วไปใส่ในหลอด Kjeldahl
3. นำไปย่อยด้วย HNO_3
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 mL ด้วยน้ำ DI
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางที่ ค-1 การกระจายอนุภาค

ตัวอย่าง	ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer	อุณหภูมิ (°C)	ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer	อุณหภูมิ (°C)
	เวลา 20 (วินาที)		เวลา 40 (วินาที)		เวลา 2 (ชั่วโมง)	
สารละลายคัลกอน 1	2	29	2	29	1	29
สารละลายคัลกอน 2	1	29	1	29	2	29
สารละลายคัลกอน 3	2	29	2	29	2	29
ดินตัวอย่าง 1	24	29	21	29	11	29
ดินตัวอย่าง 2	24	29	20	29	11	29
ดินตัวอย่าง 3	25	29	20	29	10	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

ตัวอย่าง	ปริมาตร FAS ที่ใช้ (ml)		
	ปริมาตรเริ่มต้น	ปริมาตรทีจุดยุติ	ปริมาตรที่ใช้
blank	0.00	19.90	19.90
ดินตัวอย่าง 1	0.00	16.20	16.20
ดินตัวอย่าง 2	0.00	16.00	16.00
ดินตัวอย่าง 3	16.00	32.15	16.15

ตารางที่ ค- 3 ค่า pH

ตัวอย่าง	pH			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตัวอย่าง	7.83	7.85	7.85	7.84

ตารางที่ ค-4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ตัวอย่าง	CEC (meq/100g)			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตัวอย่าง	4.50	4.50	-	4.50

ตารางที่ ค-5 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน

ชนิดของโลหะหนัก	ปริมาณที่พบ (mg/l)		
	1	2	3
ตะกั่ว	0.018	0.014	0.006
ทองแดง	0.581	0.558	0.598
นิกเกิล	0.663	0.652	0.691
แคดเมียม	0.161	0.085	0.032
สังกะสี	2.306	2.266	2.243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
Blank	0.001	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.007
1	0.016	0.005	0.037	0.038	0.006	0.013
2	0.006	0.016	0.048	0.065	0.009	0.014
3	0.004	0.017	0.055	0.084	0.010	0.012

ตารางที่ ค-7 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
Blank	0.001	-0.003	-0.001	-0.003	-0.002	0.012
1	0.004	0.008	0.018	0.054	0.007	0.008
2	0.002	0.008	0.020	0.050	0.006	0.009
3	0.004	0.051	0.021	0.018	0.005	0.014

ตารางที่ ค-8 ปริมาณโลหะทองแดงในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณทองแดงที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
Blank	0.051	0.045	0.066	0.080	0.081	0.182
1	0.107	0.171	0.478	0.732	0.385	0.272
2	0.058	0.181	0.481	0.765	0.235	0.298
3	0.060	1.001	0.525	0.362	0.189	0.282

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-9 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.005	-0.011	-0.009	-0.010	-0.008	0.004
1	0.006	0.018	0.028	0.076	0.004	0.009
2	0.003	0.013	0.021	0.070	0.005	0.013
3	0.001	0.006	0.013	0.054	0.005	0.012

ตารางที่ ค-10 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับส่วน

ตัวอย่าง	ปริมาณนิกเกิลที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.061	0.029	0.059	0.045	0.066	0.275
1	0.064	0.109	0.461	0.335	0.194	0.293
2	0.020	0.125	0.481	0.319	0.209	0.341
3	0.051	0.111	0.439	0.361	0.203	0.283

ตารางที่ ค-11 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.003	-0.005	-0.005	-0.007	-0.006	0.006
1	0.002	0.007	0.015	0.046	0.008	0.014
2	0.002	0.007	0.018	0.048	0.006	0.013
3	0.002	0.007	0.018	0.045	0.006	0.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-12 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณแคดเมียมที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.010	0.001	0.000	-0.011	-0.001	0.036
1	0.049	1.501	1.091	0.313	0.067	0.073
2	0.053	1.854	1.011	0.348	0.064	0.072
3	0.055	1.883	1.069	0.285	0.062	0.056

ตารางที่ ค-13 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.002	-0.005	-0.003	-0.004	-0.004	0.005
1	0.005	0.006	0.018	0.050	0.004	0.010
2	0.003	0.006	0.020	0.055	0.004	0.006
3	0.001	0.006	0.018	0.055	0.004	0.010

ตารางที่ ค-14 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น

ตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสีที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.378	0.076	0.234	0.169	0.199	0.570
1	0.275	0.363	1.069	0.846	0.494	1.442
2	0.438	0.434	1.062	0.790	0.976	1.810
3	0.460	0.406	0.990	0.873	0.970	1.309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-15 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย EDTA pH7

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)						
	ล้าง	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.008	0.006	0.027	0.033	0.087	0.008	0.013
1	0.103	0.010	0.003	0.004	0.004	0.006	0.013
2	0.103	0.010	0.003	0.003	0.005	0.008	0.014
3	0.099	0.011	0.003	0.002	0.003	0.007	0.015

ตารางที่ ค-16 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0 M

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	pH 4	pH 7	pH 10
1	0.165	-0.211	0.179
2	0.188	-0.016	-0.126
3	0.084	-0.139	-0.015

ตารางที่ ค-17 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0.01 M

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	pH 4	pH 7	pH 10
1	3.520	3.500	0.444
2	4.180	2.200	0.206
3	1.910	3.420	0.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-18 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 0.05 M

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	pH 4	pH 7	pH 10
1	0.870	1.030	0.267
2	0.864	1.086	0.435
3	1.074	1.022	0.501

ตารางที่ ค-19 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA 1.0 M

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	pH 4	pH 7	pH 10
1	0.546	0.177	0.806
2	0.549	0.204	0.926
3	0.237	0.123	0.988

ตารางที่ ค-20 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้น ที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.001	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.007
1	0.007	0.003	0.022	0.047	0.002	0.009
2	0.007	0.004	0.020	0.039	0.004	0.008
3	0.007	0.009	0.014	0.038	0.001	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-21 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.001	-0.003	-0.001	-0.003	-0.002	0.012
1	0.005	-0.001	0.007	0.026	0.001	0.016
2	0.004	-0.001	0.008	0.026	0.001	0.016
3	0.004	0.000	0.005	0.030	0.001	0.014

ตารางที่ ค-22 ปริมาณโลหะทองแดงในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดงอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณทองแดงที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.051	0.045	0.066	0.080	0.081	0.182
1	0.122	0.088	0.145	0.267	0.163	0.282
2	0.134	0.089	0.166	0.321	0.141	0.252
3	0.137	0.095	0.149	0.314	0.183	0.299

ตารางที่ ค-23 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.005	-0.011	-0.009	-0.010	-0.008	0.004
1	-0.002	-0.077	-0.001	0.028	-0.005	0.006
2	-0.003	-0.077	-0.002	0.024	-0.006	0.008
3	-0.002	-0.007	-0.001	0.024	-0.006	0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-24 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิลอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณนิกเกิลที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.061	0.029	0.059	0.045	0.066	0.275
1	0.195	0.051	0.281	0.276	0.139	0.309
2	0.174	0.047	0.286	0.250	0.144	0.315
3	0.200	0.052	0.313	0.251	0.145	0.315

ตารางที่ ค-25 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.003	-0.005	-0.005	-0.007	-0.006	0.006
1	0.002	-0.005	0.001	0.026	-0.003	0.006
2	0.001	-0.005	0.002	0.033	-0.003	0.009
3	0.002	-0.005	0.001	0.031	-0.003	0.004

ตารางที่ ค-26 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียมอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณแคดเมียมที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.010	0.001	0.000	-0.011	-0.001	0.036
1	0.118	0.144	0.219	0.073	0.012	0.039
2	0.085	0.128	0.177	0.082	0.018	0.044
3	0.096	0.131	0.228	0.079	0.017	0.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-27 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ 100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	-0.002	-0.005	-0.003	-0.004	-0.004	0.005
1	0.008	-0.001	0.006	0.018	0.002	0.010
2	0.003	0.001	0.012	0.017	-0.001	0.009
3	0.000	-0.002	0.007	0.024	-0.001	0.010

ตารางที่ ค-28 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสีอย่างละ100 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมหลังจากสกัดลำดับส่วนขั้นที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสีที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
blank	0.378	0.076	0.234	0.169	0.199	0.570
1	0.319	0.422	0.613	0.298	0.152	1.016
2	1.025	0.122	0.577	0.345	0.627	1.407
3	0.823	0.206	0.861	0.345	0.396	1.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-29 ปริมาณของตะกั่วที่ล้างด้วย MGDA

ตัวอย่าง	ปริมาณตะกั่วที่ล้างออกมาได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	ตะกั่ว 200 mg/kg	ตะกั่ว100 mg/kg ผสมสังกะสี100 mg/kg	ตะกั่ว100 mg/kg ผสมแคดเมียม100 mg/kg	ตะกั่ว100 mg/kg ผสมทองแดง100 mg/kg	ตะกั่ว100 mg/kg ผสมนิกเกิล100 mg/kg
blank	0.060	-0.001	0.000	0.012	-0.003
1	1.730	0.710	0.740	0.700	0.890
2	1.480	0.750	0.640	0.970	0.950
3	1.460	0.770	0.720	0.740	0.890

ตารางที่ ค-30 ปริมาณของสังกะสีที่ล้างด้วย MGDA จากดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมสังกะสี อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสีที่ล้างออกมาได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
Blank	0.064
1	1.543
2	1.889
3	1.581

ตารางที่ ค-31 ปริมาณของแคดเมียมที่ล้าง MGDA จากดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมแคดเมียม อย่างละ 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ล้างออกมาได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
Blank	0.059
1	2.086
2	2.094
3	1.889

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-32 ปริมาณของทองแดงที่ล้าง MGDA จากดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมทองแดง อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ล้างออกมาได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
Blank	0.073
1	1.839
2	2.612
3	1.900

ตารางที่ ค-33 ปริมาณของนิกเกิลที่ล้าง MGDA จากดินสังเคราะห์ตะกั่วผสมนิกเกิล อย่างละ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ล้างออกมาได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
Blank	0.133
1	0.975
2	1.077
3	1.018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้