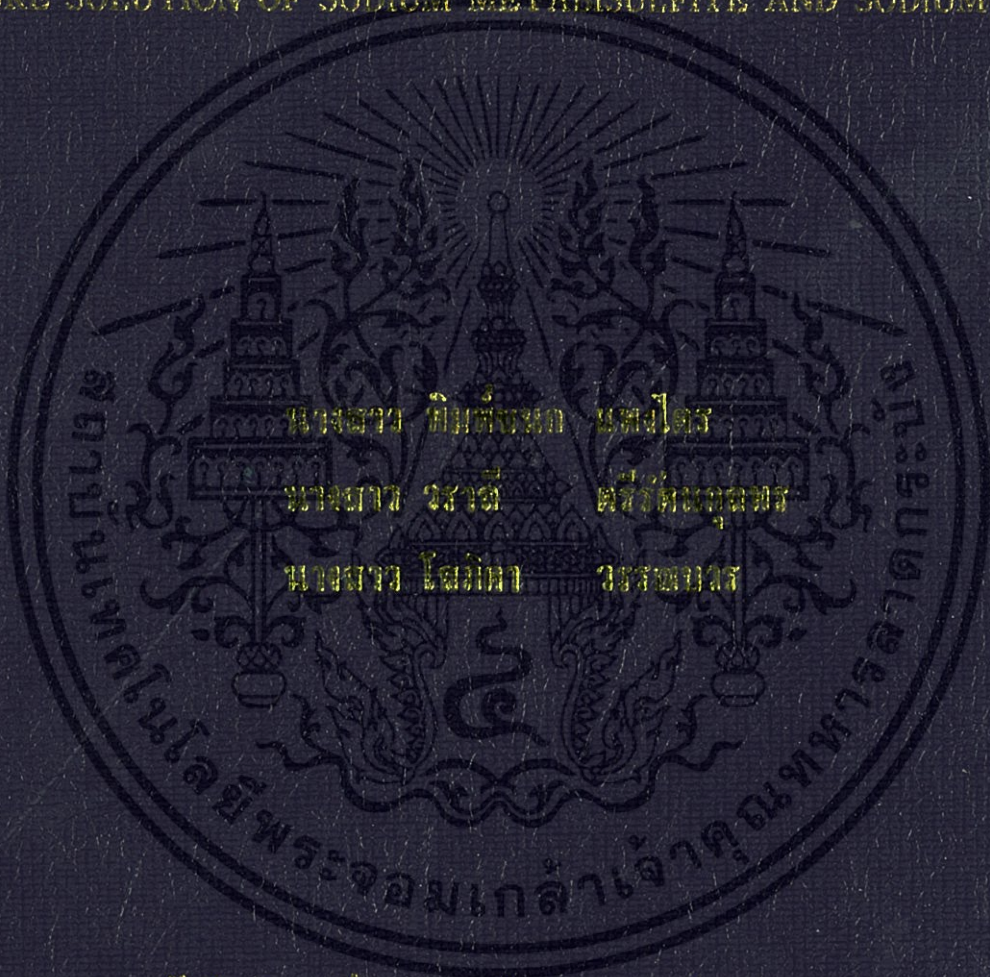


การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนโดยการล้างด้วยสารละลายผสม

โซเดียมเมตาซัลไฟต์และโซเดียมเอ็ดตา

REMOVAL OF LEAD FROM CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH
MIXTURE SOLUTION OF SODIUM METASULFITE AND SODIUM EDTA.



โดยรองศาสตราจารย์เกษม วัฒนสุข รองศาสตราจารย์สมชาย วัฒนสุข อาจารย์พิเศษ ศาสตราจารย์สุเมธ ธีรขวัญ อาจารย์พิเศษ
และ
ศาสตราจารย์สุวิทย์ วัฒนสุข

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนโดยการล้างดินด้วยสารละลายผสม
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอ

REMOVAL OF LEAD FROM CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH
MIXTURE SOLUTION OF SODIUM METABISULFITE AND SODIUM EDTA.



นางสาว พิมพชนก แพงไตร

นางสาว วราลี ตร์รัตนกุลพร

นางสาว ไสภิตา วรรณบวร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**REMOVAL OF LEAD FROM CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH
MIXTURE SOLUTION OF SODIUM METABISULFITE AND SODIUM EDTA.**



PIMCHANOK

PANGTRAI

WARALEE

TREERUTTANAKUNPORN

SOPIDA

WANNABORWORN

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อนโดยการล้างดินด้วยสารละลายผสม
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอิดีทีเอ



นางสาว พิมพ์ชนก แพงไตร
นางสาว วราลี ตีร์รัตนกุลพร
นางสาว โสภิตา วรรณบวร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ

การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อน โดยการล้างดินด้วยสารละลายผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมเอ็ดทีเอ

REMOVAL OF LEAD FROM CONTAMINATED SOIL BY WASHING WITH MIXTURE SOLUTION OF SODIUM METABISULFITE AND SODIUM EDTA.

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพิมพ์ชนก แพงไตร 52050895

นางสาววราลี ศรีรัตนกุลพร 52050905

นางสาวโสภิตา วรรณบวร 52050927

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต



สาขาวิชา

เคมีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.พรชยวรรณ ตันทวี	
อ.กมลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การกำจัดโลหะตะกั่วออกจากดินปนเปื้อน โดยการล้างดินด้วยสารละลายผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และ โซเดียมอิตีทีเอ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพิมพ์ชนก แพงไตร นางสาววราลี ตีร์รัตนกุลพร นางสาวโสภิตา วรรณบวร
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของโครงการพิเศษนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการล้างดินด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอิตีทีเอ ดินที่ใช้ในการวิจัยนี้มาจาก ต.กฤษณา อ.สีคิ้ว จ. นครราชสีมา หลังจากศึกษาคุณสมบัติของดิน พบว่ามีค่า pH 7.84 , CEC 4.5 meq/100g , OM 0.7% , sand 54.68% , silk 19.69% และ clay 26.29% ดินชนิดนี้จัดเป็นดินเหนียวร่วนปนทราย นำดินมาสังเคราะห์ให้มีโลหะหนักปนเปื้อนดังนี้ คือ ตะกั่ว (200 ppm) , ตะกั่ว+ทองแดง (ชนิดละ 100 ppm) , ตะกั่ว+นิกเกิล (ชนิดละ 100 ppm) , ตะกั่ว+แคดเมียม (ชนิดละ 100 ppm) และ ตะกั่ว+สังกะสี (ชนิดละ 100 ppm) การล้างดินทำโดยใช้กระบวนการแบบครั้งที่อุณหภูมิห้อง ด้วยอัตราเขย่า 175 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชม. อัตราส่วนดินต่อสารละลายที่ใช้คือ 1:30 หลังจากล้างดินแล้วนำของผสมไปกรองและนำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วย AAS

เมื่อใช้ 0.05 M , 0.10 M และ 0.15 M EDTA พบว่า การเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ไม่มีส่วนช่วยในการสกัดตะกั่วออกมาดีขึ้น แต่เมื่อใช้ 0.20 M EDTA กลับพบว่าโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีส่วนช่วยให้สกัดตะกั่วออกมาดีขึ้น เมื่อใช้ 0.25 M โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับ 0.2 M EDTA จะทำให้ตะกั่วถูกสกัดออกมาได้มากที่สุด คือประมาณ 60% การเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ไม่มีส่วนช่วยในการสกัดโลหะชนิดอื่น ซึ่งคือ สังกะสี นิกเกิล ทองแดง และ แคดเมียม ออกมาได้ดีขึ้นเลย การสกัดโลหะสังกะสี นิกเกิล ทองแดง และแคดเมียม จะได้สูงสุดเมื่อสกัดด้วย 0.20 M EDTA เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่า 43.65% , 26.74% , 75.47% และ 112.04% ตามลำดับ

คำสำคัญ : เมตาไบซัลไฟด์ อีดีทีเอ โลหะหนัก การล้างดิน สารสีเลด



Title	Removal of Lead from Contaminated Soil by Washing with Mixture solution of Sodium Metabisulfite and Sodium EDTA.
Students	Ms. Pimchanok Pangtrai Ms. Waralee Treeruntanakunporn Ms. Sopida Wannaborworn
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Chemistry
Academic Year	2012
Advisor	Assist. Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

The aim of this special project was to study the efficiency of soil washing with the mixture of sodium metabisulfite and sodium EDTA. The soil used in this project was from Tumbon Krisana , Amphur Sikui , Nakornratchasima province. After characterisation of soil , the value of pH , CEC , OM , sand , silk , clay were found to be 7.84 , 4.5 meq/100g , 0.7% , 54.68% , 19.69% and 26.29% , respectively. The soil was sandy clay loam. The soil was synthesized to contain Pb (200 ppm) , Pb+Cu (100 ppm each) , Pb+Cd (100 ppm each) , Pb+Ni (100 ppm each) and Pb+Zn (100 ppm each). The washing was carried out by the batch process at room temperature with 175 rpm shaking rate for 2 hours. The ratio of soil to solution was 1:30. After washing , the mixture was filtered and the aliquot was analyzed by AAS.

When using 0.05 M , 0.10 M and 0.15 M EDTA , the addition of sodium metabisulfite could not help to increase the Pb extraction yield. But when using 0.20 M EDTA , sodium metabisulfite could increase the Pb extraction yield. The highest Pb extraction efficiency was about 60% when washing with 0.25 M sodium metabisulfite and 0.2 M EDTA. The addition of sodium metabisulfite could not help to increase thr extraction yield of other metals (Zn , Ni , Cu , Cd). The extraction efficiency of Zn , Ni , Cu and Cd when washing with 0.2 M EDTA only were 43.65% , 26.74% , 75.47% and 112.04% respectively.

Keyword : metabisulfite , EDTA , heavy metals , soil washing , chelate




กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของทุกๆท่าน ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนตรวจสอบ จน โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านเป็นอย่างดี รวมทั้งคุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ที่เอื้อเฟื้อและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่อง AAS-200 New (Atomic Absorption Spectrophotometer)

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนเพื่อนๆสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม และ พี่ๆทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลอง และให้คำปรึกษา ตลอดจนร่วมทุกข์ร่วมสุขในการทำการทดลอง จนฝ่าฟันอุปสรรคในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



พิมพ์ชนก แพงไทร
วารัตติ ตีร์รัตนกุลพร
โสภิตา วรรณบวร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ภาวะมลพิษของดิน	3
2.2 ธาตุพิษในดิน	3
2.3 โลหะหนัก	4
2.3.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก	4
2.4 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก	5
2.5 ตะกั่ว	5
2.6 สังกะสี	6
2.7 ทองแดง	6
2.8 แคดเมียม	7
2.9 นิกเกิล	9
2.10 สมบัติของดิน	10
2.10.1 สมบัติทางกายภาพ	10
2.10.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ	10

สารบัญ (ต่อ)

2.10.1.2	เนื้อดินกับความพรุนของดิน	11
2.10.1.3	เนื้อดินกับการดูดซับ(adsorption)และการดูดซึม(adsorption)	11
2.10.1.4	เนื้อดินกับอินทรีย์วัตถุในดิน	12
2.10.1.5	เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ	12
2.10.1.6	ความหนาแน่นและความพรุนของดิน	13
2.10.2	สมบัติทางเคมี	14
2.10.2.1	ความเป็นกรด-ด่างของดิน(soil pH)	14
2.10.2.2	ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	15
2.11	ความชื้นในดิน	17
2.11.1	ประเภทของความชื้นในดิน	18
2.12	แรงดูดยึดความชื้นของดิน	19
2.13	สภาพของน้ำในดิน	21
2.14	การล้างดิน	22
2.14.1	การล้างดินด้วยสารประกอบประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent)	24
2.14.2	การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agent)	27
2.15	การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)	27
2.16	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	35
3.1	อุปกรณ์และสารเคมี	35
3.1.1	อุปกรณ์	35
3.1.2	สารเคมี	35
3.2	แหล่งที่มาของดิน	36
3.3	การสังเคราะห์ดิน	37
3.4	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	37
3.5	การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)	38
3.6	การทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดิน โดยใช้สารละลายผสมของ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมอัสทิต	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	42
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	42
4.2 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	43
4.3 การทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน โดยแปรความเข้มข้นของสารละลาย ผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และ โซเดียมอิตีทีเอ	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	50
5.1.2 การทดสอบหาสัดส่วนต่างๆของโลหะหนักในรูปต่างๆที่อยู่ในดิน	50
5.1.3 การทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก	55
ภาคผนวก ข	60
ภาคผนวก ค	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ	11
ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ที่ระดับความจุความชื้นสนาม	13
ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆ และในอินทรีย์วัตถุ	16
ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุกับค่า CEC	16
ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน	17
ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน	22
ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	38
ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับ โซเดียมอิดีทีเอ	40
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง	42
ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน	42
ตารางที่ ค.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ทราย ซิลต์ เคลย์	62
ตารางที่ ค.2 ค่าพีเอช	62
ตารางที่ ค.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น	63
ตารางที่ ค.4 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	63
ตารางที่ ค.5 ค่าปริมาณสารอินทรีย์ในดิน	63
ตารางที่ ค.6 ค่าการชะล้างโลหะตะกั่วด้วยสารละลายผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับ โซเดียม อิดีทีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ	64
ตารางที่ ค.7 ค่าการชะล้างโลหะอื่นๆด้วยสารละลายผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับ โซเดียม อิดีทีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ	74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โมเลกุลของน้ำ	17
รูปที่ 2.2 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ	20
รูปที่ 2.3 สภาพของน้ำในดิน	22
รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างอิฐที่เอ	25
รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดิน	36
รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน	37
รูปที่ 3.3 การสกัดโลหะรูปแบบต่างๆออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น	39
รูปที่ 4.1 การสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์	43
รูปที่ 4.2 การสกัดโลหะหนักชนิดอื่นออกจากดินสังเคราะห์	44
รูปที่ 4.3 เปรอร์เซ็นต์การชะล้างโลหะตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์เมื่อใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับ โซเดียมอิฐที่เอที่ความเข้มข้น a. 0.05 M b. 0.10 M c. 0.15 M และ d. 0.20 M ตามลำดับ	46
รูปที่ 4.4 เปรอร์เซ็นต์การชะล้างโลหะต่างๆออกจากดินสังเคราะห์เมื่อใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับ โซเดียมอิฐที่เอที่ความเข้มข้น a. 0.05 M b. 0.10 M c. 0.15 M และ d. 0.20 M ตามลำดับ	48
รูปที่ ก.1 แผนภาพวิธีวิเคราะห์เนื้อดิน	56

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer)
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
cm	เซนติเมตร
DI	น้ำปราศจากไอออน
g	กรัม
h	ชั่วโมง
K	ค่าคงที่ของความเสถียร
K_{MY}	ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับอิตีทีเอ
kg	กิโลกรัม
M	โมลาร์
MW	มวลโมเลกุล
m	น้ำหนักดินแห้ง
meq	มิลลิวาล
mg	มิลลิกรัม
min	นาที
ml	มิลลิลิตร
N	นอร์มอล
Na_2EDTA	Diasodium salt of ethylenediaminetetraacetic acid
$Na_2S_2O_5$	Sodium metabisulfite
OM	สารอินทรีย์
pH	ระดับความเป็นกรดต่าง
rpm	รอบต่อนาที
μ	ไมครอน
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
$^{\circ}F$	องศาฟาเรนไฮต์
%	เปอร์เซ็นต์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาโลหะตะกั่วในสิ่งแวดล้อมยังคงมีแนวโน้มว่าจะก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากโลหะตะกั่วเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ การสึกกร่อนของแหล่งแร่ และโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ การใช้สารประกอบตะกั่วในทางอุตสาหกรรม และการจัดการของเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ซึ่งมาตรฐานคุณภาพดินที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วต้องไม่เกิน 400 ppm (ราชกิจจานุเบกษา, 2547) หากปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถถ่ายเทออกมาและสะสมอยู่ในร่างกายจนอาจเกิดพิษได้ ซึ่งพิษของตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง เป็นสารก่อมะเร็ง เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ และเป็นพิษต่อระบบประสาทจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) เนื่องจากโลหะตะกั่วมีความสามารถในการย่อยสลายต่ำ จึงก่อให้เกิดการสะสมและตกค้างในสิ่งแวดล้อมซึ่งการบำบัดนั้นทำได้ยาก โดยวิธีการบำบัดที่นำมาใช้ในการทำความสะอาดดิน ได้แก่ วิธีการปรับเสถียร (Solidification / Stabilization) มีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายสูง วิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological Degradation) วิธีการย่อยสลายด้วยแสง (Photolysis or Photodegradation) วิธีการลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในดิน โดยหลักการการระเหย (Soil Vapor extraction) ทั้ง 3 วิธีนี้มีข้อจำกัดคือย่อยสลายได้เฉพาะสารอินทรีย์เท่านั้น ดังนั้นวิธีการล้างดิน (Soil Washing) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ สารเคมีที่ใช้ในการล้างดินมีหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดหรือเบส มีข้อเสียคือทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ และอีกชนิดคือสารคีเลตติ้งเอเจนต์ ซึ่งนิยมใช้ Na_2EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) โดยการใช้ Na_2EDTA เพียงอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพที่ดีในระดับหนึ่งเท่านั้น จึงได้มีการนำเอา $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (sodium metabisulfite) ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ซิงค์เอเจนต์มาใช้ร่วมกับ Na_2EDTA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ EDTA โดยในการทดลองได้ทำการสังเคราะห์ดินด้วยโลหะ Pb (200 ppm), Pb+Zn (100 ppm each), Pb+Ni (100 ppm each), Pb+Cu (100 ppm each) และ Pb+Cd (100 ppm each)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาการใช้ Na_2EDTA ร่วมกับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ โดยใช้ในการสกัดโลหะตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์และมีการแปรผันความเข้มข้นของ Na_2EDTA เป็น 0.05 M, 0.10 M, 0.15 M, 0.20 M และความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ เป็น 0.15 M, 0.20 M, 0.25 M ตามลำดับเพื่อหาสัดส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน
2. เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการล้างดินปนเปื้อน Pb โดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กับ โซเดียมอิตีทีเอ
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการล้างดินระหว่างสารละลายโซเดียมอิตีทีเอกับสารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์กับ โซเดียมอิตีทีเอ
4. เพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปต่างๆในดินทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด
5. เพื่อศึกษาผลของโลหะชนิดอื่นต่อประสิทธิภาพการสกัด Pb ออกจากดิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เก็บตัวอย่างดินจาก ตำบล ภูษณา อำเภอ สีคิ้ว จังหวัด นครราชสีมา 30210 ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน อันได้แก่ pH, CEC, ความชื้น, OM, particle size distribution, โลหะในดิน.
2. สังเคราะห์ดินปนเปื้อน Pb (200 ppm) , Pb + Cu (100 ppm each) , Pb + Ni (100 ppm each) , Pb + Cd (100 ppm each) , Pb + Zn (100 ppm each)
3. นำดินปนเปื้อนก่อนบำบัด ไปสกัดลำดับขั้น
4. ล้างดินปนเปื้อน โลหะหนักโดยใช้สารละลายผสมในสัดส่วนต่างๆ 12 สัดส่วน โดยควบคุมอัตราเร็วในการเขย่า อุณหภูมิ พีเอช และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองให้คงที่ จากนั้นนำสารละลายไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้น โลหะหนักด้วยเครื่องAAS พร้อมทั้งหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด (% Removal)
5. นำดินปนเปื้อนหลังบำบัด ไปสกัดลำดับขั้น
6. เปรียบเทียบกับ Na_2EDTA โดยนำ Pb (200 ppm) ไปสกัดโดยใช้ Na_2EDTA ที่ความเข้มข้น 0.05 M , 0.10 M , 0.15 M และ 0.20 M และสกัดลำดับขั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการสกัด โลหะหนักชนิดอื่นๆออกจากดินได้ต่อไป
2. เป็นแนวทางในการช่วยEDTAให้สกัด โลหะหนักออกมามากขึ้น
3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคในการล้างดินปนเปื้อน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาวะมลพิษของดิน (Soil pollution)

ภาวะมลพิษของดิน (Soil pollution) หมายถึง ภาวะความปนเปื้อนของเนื้อดินด้วยสารมลพิษ (pollutants) มากเกินขีดจำกัดจนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ จากคำนิยามจะเห็นได้ว่า ดินและน้ำเสียนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และดินจะเสียได้ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปในดินมากกว่าการเสื่อมฤทธิ์ หรือการสลายตัวของสารมลพิษนั้นจนเกิดการสะสมสารมลพิษมากขึ้นถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม

ตัวการที่ทำให้เกิดดินเสียแบ่งได้ 2 ประการคือ

1. เสียโดยกำเนิด เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว โดยกำเนิด เป็นต้น

2. เสียโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจาก อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร ยากำจัดศัตรูพืช ธาตุดิน และธาตุโลหะหนักและสารกัมมันตรังสี การกร่อนดิน (soil erosion) เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)

2.2 ธาตุในดิน

ธาตุพิษ (toxic elements) โดยทั่วไปหมายถึง โลหะหนักและธาตุอื่นซึ่งเป็นสารมลพิษในดิน ธาตุพิษเหล่านี้ปนเปื้อนในดินเนื่องจากการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบและเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆแล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาวะแวดล้อม

ธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในดินอาจอยู่ในรูปต่างๆดังต่อไปนี้

1. ละลายในสารละลายดิน (soluble form)

2. ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน (adsorbed form)

3. ตกตะกอนหรือตกตะกอนร่วมกับสารอื่น (precipitated form)

4. ถูกตรึงและจับกับสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน (fixed, occluded form)

5. เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพ (organic form)

ธาตุโลหะในรูปที่หนึ่งและสอง จัดเป็นรูปที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในดิน สามารถถูกนำไปใช้ได้ ส่วนสามรูปหลังเป็นรูปที่ไม่เคลื่อนที่ (immobile) แต่เนื่องจากกระบวนการในดินมีลักษณะเป็นพลวัต (dynamic) จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงธาตุที่ปนเปื้อนในดินให้อยู่ในรูปต่างๆที่กล่าวได้ตลอดเวลา

เราสามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวก คือ

1. มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว ได้แก่ สารมลพิษซึ่งค้างอยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน และมีพืชที่สามารถทนต่อมลพิษนี้ได้ ในปริมาณที่จำกัด ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ซึ่งธาตุเหล่านี้ ถ้ามีอยู่ในดินในปริมาณมากพืชจะไม่สามารถใช้และเก็บสะสมได้มาก ดังนั้นปีแรกๆดินที่ได้รับมลพิษเหล่านี้จึงอาจมองเห็นปัญหาได้ไม่ชัดเจนเพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณที่น้อย

2. มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะสั้นๆ ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถดูดซึมได้ทันทีและดูดซึมได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ โบรอน แคลเซียม นิกเกิล และสังกะสี

ซึ่งการถูกดูดซับของธาตุโลหะหนักในดินเกิดขึ้นโดยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าต่างๆ ตัวอย่างเช่น พันธะไอออนิก แรงดึงดูดแวนเดอร์วาล (van der waalsattraction) พันธะไฮโดรเจน (H-bonding) พันธะโคออร์ดิเนต (coordinate bonding) การแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand exchange) หรือพันธะทางเคมีอื่นๆ และธาตุแต่ละชนิดอาจถูกดูดซับได้ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน

2.3 โลหะหนัก

2.3.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก (บุญเต็ม แซ่ปึ้ง, 2536)

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึงโลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นสถานะของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โลหะหนักที่มีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว แคลเซียม สารหนู โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผัก และผลไม้ จากนั้นจึงเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีคุณสมบัติอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

2.4 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก

2.5 ตะกั่ว (Pb)

ในบรรดาโลหะหนักในโลก ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มนุษย์สนใจกับความเป็นพิษของมันมากที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างมากมายโดยเฉพาะในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่รถยนต์ เรือดำน้ำ ใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลิตผลตะกั่วทั้งหมด และยังใช้ในรูปตะกั่วอินทรีย์ (Alkyl lead) เป็นสารเคมีที่ใส่เติมในน้ำมันเบนซินเพื่อป้องกันเครื่องยนต์เดินสะดุด แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้สารชนิดอื่นทดแทน

โอกาสที่บุคคลทั่วไปได้รับสารตะกั่วที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์ (Alkyl lead) แล้วยังได้รับจากอาหาร น้ำ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่จำเป็นในขบวนการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างโลหะอื่นๆ เช่น โซเดียม แคลเซียม หรือ เหล็ก จึงมีการกำหนดมาตรฐานเพื่อป้องกันสารตะกั่วปนเปื้อนในอากาศ อาหาร และน้ำ เพื่อความปลอดภัยขึ้นในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยด้วย

สำหรับบุคคลทั่วไป ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ทางปากโดยการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่วทางการหายใจ โดยเฉพาะจากไอเสียรถยนต์ ส่วนการดูดซึมทางผิวหนังส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพเกี่ยวข้องกับตะกั่วเป็นส่วนใหญ่ โดยตะกั่วอินทรีย์ถูกดูดซึมเข้าผิวหนังได้ดี เคยมีการสำรวจดินและฝุ่นบริเวณริมถนนที่เป็นชุมชนหนาแน่น พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 7,500 พีพีเอ็ม ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผิวดินโลกเพียง 5-25 พีพีเอ็ม

พิษเรื้อรังของตะกั่ว คือ จะค่อยๆแสดงอาการออกมาภายหลังจากได้รับสารตะกั่วที่ละน้อยเข้าสู่ของเหลวในร่างกาย และค่อยๆสะสมในร่างกายจนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นปีจึงแสดงอาการส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใดจะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วนไปสะสมในกระดูกและฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อ กระดูกผุ และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วงหรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่าเส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัยว่าตะกั่วสามารถเกาะกับกระดูกในร่างกายได้นานถึง 32 ปี และยังคงสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อยคือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาทและสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึม ไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

2.6 สังกะสี

Zn เป็น trace element ชนิดหนึ่งที่ Zn เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดในร่างกาย เช่น alkaline phosphatase , carbonic anhydrase , carboxypeptidase , oxidoreductase , transferase , ligases , hydrotase , DNA polymerase เป็นต้น ดังนั้น Zn จึงมีบทบาทสำคัญต่อขบวนการต่างๆของร่างกาย โดยเฉพาะขบวนการเมตาบอลิซึมของกรดนิวคลีอิก กรดอะมิโนและโปรตีน นอกจากนี้ Zn ยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับสารในร่างกายหลายชนิด เช่น presecretory insulin ด้วย โดยแหล่งอาหารที่มี Zn อยู่คือในเนื้อสัตว์ ตับ อาหารทะเล (โดยเฉพาะหอยนางรม) ไข่ ถั่ว และธัญพืช ส่วนในผักและผลไม้มีสังกะสีน้อย

สาเหตุการขาด Zn ได้รับจากอาหารไม่เพียงพอ และการย่อยและการดูดซึมผิดปกติ เช่น สารในอาหารที่ขัดขวางการดูดซึม โรคพันธุกรรมคือ acrodermatitisenteropathica

- มีความต้องการ Zn เพิ่มขึ้น เช่น หญิงมีครรภ์ ทารกคลอดก่อนกำหนด ผ่าตัด เป็นต้น
- มีการสูญเสียเพิ่มขึ้น เช่น hyperzincuria จากการได้รับ alcohol

อาการขึ้นกับความรุนแรงของการขาด Zn ได้แก่ เติบโตช้า เบื่ออาหาร การรับรสของลิ้นผิดปกติ ผิวหนังเปลี่ยนแปลง เช่น ริมฝีปากฝ่ามือฝ่าเท้าแดง แผลหายช้า การมองเห็นในที่มืดผิดปกติ ในหญิงตั้งครรภ์อาจทำให้ทารกในครรภ์พิการ

ภาวะขาด Zn มักเกิดคู่กับการขาดสารอาหารอื่นซึ่งต้องให้การรักษาพร้อมๆกัน ภาวะเป็นพิษเนื่องจากสังกะสีเกิน

- ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน
- ระดับทองแดงในเลือดต่ำ ทำให้เกิดอาการซีด เม็ดเลือดขาวต่ำ
- ภูมิคุ้มกันโรคผิดปกติ
- High-density lipoprotein (HDL ต่ำ)

2.7 ทองแดง (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2553)

ทองแดง (Copper) เป็นโลหะที่มีความหนาแน่น จุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำและอากาศ อาจอยู่ในรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบ เช่น Cu_2O , Cu_2S , CuF , $CuSO_4$, $CuFeS_2$ เป็นต้น ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดีรองจากเงิน ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิตลวด สายไฟท่อน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม เป็นต้น ส่งผลให้มีการแพร่กระจาย

ของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การดื่มน้ำ การบริโภคอาหาร ในชีวิตประจำวัน ทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกาย โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและฟันและกล้ามเนื้อ

การเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไป ช่องทางที่ได้รับและสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านผนังลำไส้เข้าไปที่ตับ จากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดีแล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง

เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายคือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กระบวนการภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน และตับทำหน้าที่บดพรวองไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมากส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือ ร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก ซึ่งจะมีวิธีการแก้ไขการเกิดพิษและวิธีการป้องกันการเกิด ดังนี้

พิษผิวหนัง : ควรสวมเสื้อผ้าที่รัดกุมและมีเครื่องป้องกันร่างกายก่อนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทุกครั้ง เมื่อสารพิษถูกผิวหนังรับล้างออกด้วยสบู่และน้ำสะอาด ถ้าสารพิษกระเด็นหรือหกเปื้อนเสื้อผ้า ต้องรีบเปลี่ยนเสื้อผ้าทันทีแล้วล้างพิษด้วยสบู่และน้ำสะอาด จากนั้นรีบนำส่งโรงพยาบาล

ตา : ควรมีเครื่องป้องกันสายตาที่เหมาะสมก่อนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสาร (ไม่ควรสวม Contact lens ขณะทำงานเกี่ยวกับสารเคมี) เมื่อสารพิษกระเด็นเข้าตาต้องรีบล้างออกด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากสลับกับการค่อขยๆกระพริบตาขึ้น-ลง จากนั้นรีบนำส่ง โรงพยาบาลทันที

การหายใจ : เมื่อหายใจรับเอาสารเข้าไปเป็นจำนวนมากต้องรีบเคลื่อนย้ายผู้ได้รับสารออกจากบริเวณนั้น ไปสู่บริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก ถ้าหยุดหายใจให้รีบทำการผายปอด (Mouth-to-mouth) แล้วรีบนำส่ง โรงพยาบาลทันที

การกลืนกินสารพิษ : รีบนำส่ง โรงพยาบาลทันที

2.8 แคลเซียม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์ , 2548)

แคลเซียม คือ ธาตุชนิดหนึ่งได้จากการถลุงแร่แคลเซียมที่อยู่ในแร่ จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลไฟด์ เป็นต้น ไม่

มีกลิ่นหรือรสที่แน่นอน พบว่าในดิน หิน และปุ๋ยจากดินแร่ (mineral fertilizers) มีแคดเมียมอยู่บ้าง แคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้จากการสกัดระหว่างการผลิตสังกะสี ตะกั่วและทองแดง แคดเมียมที่พบในอาหารที่รับประทานได้มาจากการกักตุน ใช้ประโยชน์ได้มากมายทั้งในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค เช่น ใช้ในแบตเตอรี่ ใช้เป็นรงควัตถุ ใช้ในการเคลือบผิวโลหะ ใช้ในพลาสติก

- แคดเมียมเข้าสู่อากาศได้จากการทำเหมืองแร่ การอุตสาหกรรม การเผาถ่านหิน และการเผาขยะตามบ้านเรือน
- อนุภาคแคดเมียมในอากาศสามารถเดินทางไปในระยะไกลกว่าที่จะตกลงบนพื้นดินหรือในน้ำ
- อนุภาคแคดเมียมปนเปื้อนน้ำและดินจากการทิ้งขยะและการรั่วไหลของสารพิษจากสถานที่เก็บ
- อนุภาคแคดเมียมเกาะกับดินได้ดี
- แคดเมียมบางรูปละลายน้ำได้
- แคดเมียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อม แต่เปลี่ยนรูปได้
- ปลา พืช และสัตว์ได้รับแคดเมียมจากสิ่งแวดล้อม
- แคดเมียมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานมากและสะสมเพิ่มขึ้นทุกๆปีจากการรับเข้ามาทีละน้อยๆ

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้จาก

- จากการหายใจในสถานที่ปฏิบัติงานที่มีแคดเมียมปนอยู่ในอากาศ เช่น ในโรงงานแบตเตอรี่ บริเวณที่มีการเชื่อมโลหะ
- รับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม อาหาร โดยทั่วไปมีแคดเมียมในระดับต่ำ (มีมากในหอย กุ้ง ปู ตับ และไต)
- จากควันบุหรี่ หากได้รับทุกวัน ปริมาณแคดเมียมในร่างกายจะสะสมขึ้นอย่างรวดเร็ว
- ดื่มน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม
- หายใจเอาอากาศที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากบริเวณที่มีการเผาซากพืชซากสัตว์หรือเตาเผาขยะจากเมืองใหญ่

เมื่อได้รับแคดเมียมจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย ดังนี้

การหายใจในอากาศที่มีแคดเมียมปนอยู่สูงจะเป็นอันตรายต่อปอดและเสียชีวิตได้ การรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูงมากจะกักตุนกระเพาะทำให้อาเจียน และท้องเสีย

การได้รับแคดเมียมทีละน้อยจากอากาศ น้ำ และอาหารเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในไต อาจทำให้เป็นโรคไตได้ อาจทำให้ปอดเสียและกระดูกเปราะ

จากการทดลองในสัตว์โดยการให้แคดเมียมทางน้ำและอาหาร พบว่าความดันเลือดสูงขึ้น เหล็กในเลือดต่ำ เป็นโรคตับ ประสาทและสมองเสียหาย ยังไม่ทราบว่าหากคนได้รับแคดเมียมทางน้ำและอาหารแล้วจะมีอาการดังกล่าวเช่นกันหรือไม่

ยังไม่มีข้อบ่งชี้ว่าการสัมผัสแคดเมียมทางผิวหนังนั้นมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์อย่างไร

แคดเมียมมีส่วนทำให้เป็นมะเร็ง โดยมีหลักฐานการสนับสนุนไม่ชัดเจนนักที่จะระบุว่าผู้ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจจะเป็นมะเร็งปอด แต่จากการทดลองในสัตว์พบว่าสัตว์ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจทำให้ทราบว่าเกิดมะเร็งปอดในสัตว์ทดลองแน่นอน แต่ยังไม่ทราบว่าการสัมผัสแคดเมียมทางผิวหนัง หรือรับแคดเมียม โดยทางน้ำและอาหารแล้วแคดเมียมจะทำให้เป็นมะเร็งได้หรือไม่

โรงพยาบาลบางแห่งสามารถตรวจหาแคดเมียมในเลือด ในปัสสาวะ ในเส้นผม และในเล็บได้ หากพบแคดเมียมในเลือดแสดงว่าเพิ่งจะได้รับแคดเมียมมาไม่นาน หากพบในปัสสาวะแสดงว่าได้รับแคดเมียมมาแล้วทั้งในอดีตและปัจจุบัน การพบแคดเมียมในปัสสาวะยังแสดงว่าไตบกพร่องอีกด้วย ความน่าเชื่อถือของการตรวจหาแคดเมียมในเส้นผมและเล็บนั้นยังไม่ทราบชัดเจน การตรวจแคดเมียมในตับและไตนั้นทำได้แต่ค่าตรวจสูง จะใช้ในกรณีที่ต้องการให้แพทย์ยืนยันสภาพของตับและไตเท่านั้น

2.9 นิกเกิล (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553)

นิกเกิลเป็น โลหะที่มีความมันวาว สีขาวเงิน อยู่กลุ่มเดียวกับเหล็ก มีความแข็งแรงแต่ตีเป็นแผ่นได้ ในธรรมชาติจะทำปฏิกิริยาเคมีกับกำมะถันเกิดเป็นแร่มิลเลอร์ไรต์ (millerite) ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับสารหนู (arsenic) จะเกิดเป็นแร่นิกกอไลต์ (niccolite) แต่ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับทั้งสารหนูและกำมะถันจะเป็นก้อนนิกเกิลกลานซ์ (nickel glance)

นิกเกิลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมโลหะอื่นๆเป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนนิกเกิลบริสุทธิ์จะใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ และใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น

- สแตนเลสสตีล และอัลลอยด์กันสนิมชนิดต่างๆกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้นิกเกิลในโลก ตะวันตกนั้นใช้ทำสแตนเลสสตีล 13 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการทำซูเปอร์อัลลอยด์ และอีก 24 เปอร์เซ็นต์ เป็นการใช้ทำโลหะอัลลอยด์และใช้ประโยชน์อื่น
- ทำเกราะ และ burglar-proof vaults
- เป็นส่วนผสมของโลหะ Alnico เพื่อใช้ในการทำแม่เหล็ก
- Monel metal ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างทองแดงและนิกเกิล มีคุณสมบัติป้องกันการผุกร่อน ได้ดีเยี่ยม นำไปใช้ในการผลิตใบพัดเรือ เครื่องจักร และท่อในอุตสาหกรรมเคมี
- ผลิต shape memory alloys ซึ่งใช้ในหุ่นยนต์บางชนิด
- ถ่านชาร์จ เช่น ถ่านนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (nikel metal hydride) และถ่านแบบนิกเกิลแคดเมียม (nickel cadmium)
- ทำเหรียญกษาปณ์ โดยในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดาใช้นิกเกิลเป็นส่วนผสมในการผลิตเหรียญ 5 เซ็นต์
- เคลือบโลหะ (electroplating) เพื่อป้องกันสนิม

ประเทศที่ใช้นิกเกิลมากที่สุด คือ ญี่ปุ่น สำหรับความเป็นพิษของนิกเกิลจะเกิดเนื่องจากฝุ่นของนิกเกิลคาร์บอนิลซึ่งเป็นสารประกอบทำให้นิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ การแพร่กระจายของนิกเกิลในน้ำจะทำให้เกิดการผื่นคันที่ผิวหนัง

กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.10 สมบัติของดิน (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

2.10.1 สมบัติทางกายภาพ

2.10.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกได้ถึงปริมาณคอลลอยด์อินทรีย์ได้อย่างคร่าวๆ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเมื่ออยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูง ดินที่มีเนื้อละเอียดขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น ดังตารางที่ 2.1 การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้เช่นกัน โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อสารอินทรีย์สลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดิน

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

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

ที่มา : ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539

2.10.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน

เนื้อดินยังเกี่ยวพันกับความพรุนของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มากแต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้เกิดการถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลต์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างให้น้ำจะสูญเสียโครงสร้างในดินได้ง่าย ซิลต์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การให้น้ำเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ผิวหน้าดินเปิดได้ ทำให้น้ำและอากาศถ่ายเทได้น้อยลง อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากส่วนใหญ่อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงยากที่บ่งบอกและประมาณช่องที่มีอยู่ในดิน เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวอาจเกาะยึดกันเองเป็นเม็ดดินที่เสถียร (stable aggregate) ซึ่งในสภาพเช่นนี้ดินเหนียวจะมีความพรุนสูงมาก ในทางตรงกันข้ามหากอนุภาคไม่เกาะยึดกันอยู่ในสภาพฟุ้งกระจาย ดินเหนียวลักษณะเช่นนี้จะบีบแน่นมาก น้ำและอากาศถ่ายเทได้ยากมาก จะอย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว ช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดินก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน โดยที่ดินเนื้อละเอียดจะมีความสามารถอุ้มน้ำได้ (available water capacity - AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืชและต่อจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ดินและพืชเป็นตัวการกำจัดมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

2.10.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (adsorption)

กระบวนการดูดซับ (adsorption) หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นระดับ โมเลกุลระหว่างสารที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbate) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเป็นอย่างมาก ส่วนการดูดซึมเป็นกระบวนการที่มีสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเกี่ยวข้องกับเช่นเดียวกันกับการดูดซับ โดยมีสารชนิดหนึ่งเป็นตัวดูดซับ และสารชนิดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเช่นเดียวกันกับการดูดซับ ซึ่งตัวดูดซับจะดึงดูดตัวถูกดูดซับให้ฝังตัวอยู่ในโครงร่างของตัวดูดซับ และอาจมีกลไกอื่นๆนอกเหนือไปจากการดึงดูดในระดับ โมเลกุลเกี่ยวข้องกับ สารชนิดหนึ่งจะดูดซับสารอื่น ได้มากน้อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับว่าสารชนิดนั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก

น้อยเพียงใด ในดินการดูดซับที่สำคัญได้แก่การดูดซับน้ำและการดูดซับไอออนในสารละลายดิน ซึ่งในดินตัวดูดซับก็คืออนุภาคดินเหนียวและอนุภาคอินทรีย์วัตถุ เพราะมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง นอกจากนั้นอนุภาคทั้งสองชนิดยังมีประจุไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบจึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดี ทำให้น้ำซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้ว (polar compound) อาจถูกดูดซับได้โดยกระบวนการนี้เช่นกัน การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือการดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดซึมไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมดทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมน้ำจำเป็นต้องเอาชนะอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมน้ำมีความไวจึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (ดินเนื้อละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มากกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มากเช่นเดียวกัน

2.10.1.4 เนื้อดินกับอินทรีย์วัตถุในดิน

โดยทั่วไปปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ ความสัมพันธ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำและดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก พืชพรรณที่ขึ้นในดินจึงมีปริมาณมากกว่าที่ขึ้นในดินเนื้อหยาบเมื่อหากพืชเหล่านี้ทับถมในดินจึงทำให้ดินเนื้อละเอียดมีการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่มากกว่า อีกประการหนึ่งดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศที่ดีกว่าดินเนื้อละเอียด อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจึงสูงกว่า ทำให้เหลือปริมาณอินทรีย์ภูตุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

2.10.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับในการชะละลาย (leaching) ของดินแทรกซึมลงของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพจุดความชื้นสนาม (field capacity) ในประเภทเนื้อดินต่างๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับได้โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์ในดินและการปรับปรุงโครงสร้างดินเพราะฉะนั้นการทำลายอินทรีย์วัตถุในดินและการทำลายโครงสร้างดินจึงเป็นการลดอัตราการไหลซึมและลดความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุ ความชื้นสนาม

เนื้อดิน	การไหลซึม (นิ้ว/ชั่วโมง)		ปริมาณน้ำทั้งหมด (ลูกบาศก์นิ้ว)
	ดินมีพีชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลต์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2	1	1.2

ที่มา : ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539

2.10.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน

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

สำหรับความพรุนของดินนิยมบอกเป็นค่าความพรุนทั้งหมด (total porosity , E) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของส่วนที่ไม่ใช่ของแข็งในดิน เมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

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

เนื่องจากค่าความหนาแน่นรวมคำนวณ โดยเปรียบเทียบน้ำหนักทั้งหมดของดินกับปริมาตรรวมทั้ง ส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นช่องในดิน ดังนั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำจึงหมายความว่าโดย อ้อมได้ว่าดินนั้นมีส่วนที่เป็นช่องมาก เมื่อดินเนื้อละเอียดยิ่งขึ้นความพรุนของดิน โดยปกติจะมากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นรวมของดินเนื้อละเอียดจึงต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ ดินเหนียวมีความหนาแน่นรวม ประมาณ 1.0-1.3 g/ml ดินร่วนเหนียวและร่วนปนซิลต์ที่มีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.1-1.4 g/ml และ ดินร่วน ร่วนปนทรายและทรายมีความหนาแน่นรวม โดยเฉลี่ยประมาณ 1.32 g/ml ดินในระดับที่ลึกลง ไป ความพรุนของดินจะน้อยลง ทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

2.10.2 สมบัติทางเคมี

2.10.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินคล้ายคลึงกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ สิ่งที่แตกต่างกันและควรคำนึงถึงเป็นอย่างมากก็คือ ดินมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิดคือ กรดจริง (active acidity) และกรดแฝง (potential acidity)

ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีประจุลบมากกว่า ซึ่งนับว่ามีประโยชน์อย่างมากเพราะธาตุต่างๆ ในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ก็อยู่ในรูปประจุธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินจับเอาไว้ ไม่ไหลตามน้ำลง ไปจนเลยระดับความลึกของรากพืช ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้สูญเสียไป ดังนั้นพืชจึงสามารถดึงดูดธาตุอาหารที่ถูกดินดูดจับเอาไว้ไปใช้ได้

ไฮโดรเจนไอออนมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดจับจึงเรียกว่า สภาพกรดแฝง ซึ่งจะสมดุลกับส่วนไฮโดรเจนที่ไม่ถูกดูดจับ ซึ่งเรียกว่า สภาพกรดจริง ค่าพีเอชของดินที่วัดได้คือการวัดสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน (ค่าสภาพเป็นกรดจริงเท่ากัน) จะมีความต้องการปูนในการปรับระดับพีเอชไม่เท่ากัน ได้ ทั้งนี้เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่าส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดจับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดจับมาก และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดจับออกมาเพียงบางส่วน ลักษณะคล้ายกับการแตกตัวของกรดอ่อน นอกจากนี้พีเอชของดินยังเกี่ยวข้องกับสภาพละลายได้ (solubility) ของธาตุด้วย เนื่องจากน้ำในดินเป็นตัวทำละลายธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคดินและธาตุที่เติมลงไปในดิน ดังนั้นสภาพละลายได้ของธาตุจึงขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของดิน ตัวอย่างสภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืชในสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน จะเห็นได้ว่าธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และ โพแทสเซียมจะพบในดินที่เป็นกรดในปริมาณต่ำทำให้พืชอาจจะขาดธาตุเหล่านี้ได้ ธาตุฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้น้อยทั้งในสภาพที่ดินเป็นกรดหรือด่าง ธาตุทั้งหลายได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง โบรอน พืชสามารถดูดไปใช้ได้ดีในสภาพดินเป็นกรด ในดินที่มีธาตุเหล่านี้มากอยู่แล้ว ก็อาจจะละลายได้มากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้สำหรับ โมลิบดีนัม นั้นจะละลายได้ดีเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น ธาตุโลหะหนักหลายชนิดเช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง จะละลายได้ดีในสภาพดินเป็นกรดเช่นกัน

2.10.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange capacity, CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเป็นอนุภาคอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยส่วนใหญ่อนุภาคดินเหนียวมีรูปร่างแบนทำให้อากาศที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปไม่ได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดมีการสูญเสียอะตอมไปก็จะมีประจุทันที บริเวณขอบของอนุภาคจึงมีประจุนอกจากนี้อะตอมของธาตุอื่นที่มีขนาดเท่ากันกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคดินเหนียวแต่มีจำนวนประจุไม่เท่ากัน อาจหลุดเข้าไปแทนที่ซึ่งจะทำให้อนุภาคมีประจุได้ในอินทรีย์วัตถุนั้น การแตกตัวของกลุ่มอนุมูลบางตัวจากสารประกอบอินทรีย์ก็จะทำให้มีประจุได้เช่นกัน ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินจึงมีความสามารถในการดึงดูดแคทไอออนได้ และเนื่องจากดินแต่ละชนิดมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุไม่เท่ากันจึงมีความจุในการดึงดูดแคทไอออนไว้ไม่เท่ากันแคทไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cations) ดังนั้นความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนจึงหมายถึง ปริมาณแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น meq/100g ของดินแห้ง

กระบวนการแทนที่แคทไอออนแลกเปลี่ยนได้โดยแคทไอออนในสารละลายดินเรียกว่า การแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange) ซึ่งในดินแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่จะเป็น Ca, Mg, K, Al และ H แคทไอออน 4 ตัวแรกมีชื่อเรียกรวมกันว่าเบสแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) ในดินบางสภาพเช่นดินน้ำขังจะมี Mn หรือ Fe ละลายได้มากและถูกดูดซับเป็นส่วนใหญ่ในสภาพดินเป็นกรดจะประกอบด้วย Ca, Mg, K และ Al เป็นแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในดินเค็ม Na จะเป็นแคทไอออนหลักที่ถูกดินดูดซับไว้

การที่ดินมีแคทไอออนที่ถูกดูดซับสมดุลกับแคทไอออนในสารละลายดิน ทำให้ดินมีสภาพคล้ายสารบัฟเฟอร์ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในดิน เช่น การปรับพีเอชหรือการไล่ Na ออกจากดินจึงเป็นไปได้ง่าย เพราะเมื่อแคทไอออนในสารละลายดินมีปริมาณน้อยลง แคทไอออนส่วนที่แลกเปลี่ยนได้จะถูกปลดปล่อยจากส่วนที่เป็นของแข็งออกมาสู่ส่วนที่เป็นสารละลายดินที่ละน้อย ดินที่มีค่า CEC สูงจึงมีกำลังบัฟเฟอร์สูงด้วย

เนื้อดินและอินทรีย์วัตถุในดินเป็นตัวกำหนดค่า CEC ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าทรายไม่มีประจุ ขณะที่ดินเหนียวมีค่า CEC สูงสุดแต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าอินทรีย์วัตถุ ในสภาพดินทั่วไปค่า CEC จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุ (ตารางที่ 2.4) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวหากทราบปริมาณ

ดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุแล้ว ก็อาจจะประเมินค่า CEC ได้ง่ายคร่าวๆ โดยทั่วไปในดินเหนียว 1% จึงทำให้ดินมี CEC ประมาณ 2 meq

ในดินทั่วไป CEC ของหน้าดินมีค่าระหว่าง 0.0-5 meq/100g ซึ่งในการประเมิน CEC ของดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ถ้าระดับ CEC ของดินต่ำหมายความว่า ดินชนิดนั้นมีปริมาณดินเหนียวหรืออินทรีย์วัตถุน้อย

ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆ และในอินทรีย์วัตถุ

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

ที่มา : สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุกับค่า CEC

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

ที่มา : สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539

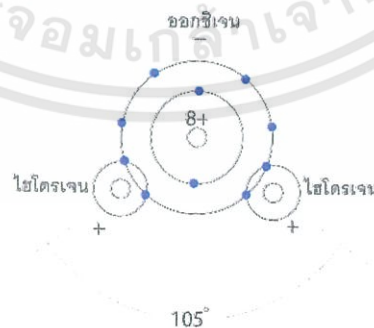
ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน

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

ที่มา : ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539

2.11 ความชื้นในดิน (บุญแสน เตียนนุกูลธรรม, 2548)

น้ำเป็นสารประกอบจำพวกโมเลกุลที่มีขั้ว (polar compound) คือสามารถละลายน้ำได้ดีในโมเลกุลที่มีขั้ว ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชทั้ง 13 ธาตุที่อยู่ในดินพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปของไอออนซึ่งน้ำจะเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สามารถละลายธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทุกธาตุ โมเลกุลของน้ำ (ภาพที่ 2.1) น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของมนุษย์ สัตว์และพืช ในมนุษย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของร่างกาย ในส่วนของพืชจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ การปลูกพืชน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งเนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเซลล์พืช น้ำเป็นตัวปรับอุณหภูมิภายในลำต้นของพืช ไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินไปในเวลากลางวันซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำเป็นตัวช่วยในการลำเลียงธาตุอาหารไปภายในต้นพืชและน้ำสามารถช่วยลดความเป็นกรด-ด่าง และความเค็มตลอดจนทำให้สารเคมีที่เป็นพิษจำพวกสารฆ่าแมลงและสารกำจัดศัตรูพืชเจือจางลงทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี



รูปที่ 2.1 โมเลกุลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นของดินประกอบด้วย 2 สถานะ คือ สถานะที่เป็นของเหลวเรียกว่า น้ำในดินและ สถานะที่เป็นก๊าซเรียกว่า ไอน้ำในดิน ในประเทศที่มีอากาศหนาวจัดความชื้นของดินอาจจะอยู่ในรูป น้ำแข็ง ส่วนประเทศในเขตร้อนส่วนใหญ่ น้ำในดินจะอยู่ในรูปของของเหลว ดังนั้นความชื้นของดินกับ น้ำในดินจึงมีความหมายเดียวกันคือ ส่วนที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวถ้าในส่วนของช่องว่างในดินมี น้ำอยู่เต็ม ไม่มีก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่าดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและ ก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่าดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) ดังนั้นดินที่ใช้ในการทำการเกษตรส่วนใหญ่คือดิน ที่ไม่อิ่มตัว ความชื้นในดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินได้แก่ สัตว์ พืช หรือ จุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืชและสัตว์เพื่อใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ต่างๆ เช่น ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและจุลินทรีย์ในดินบางชนิด พืชสามารถที่จะ นำเอาธาตุอาหาร ไปใช้ได้ธาตุอาหารเหล่านั้นจะต้องอยู่ในรูปของสารละลาย น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี และมีปริมาณมากหาได้ง่ายและสะดวก น้ำเป็นตัวกลางที่ดีในการเคลื่อนย้ายไอออนจากบริเวณหนึ่งไป ยังอีกบริเวณหนึ่งอีกทั้งยังลำเลียงธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของไอออนจากดินเข้าสู่ภายในลำต้นของพืชและ เข้าไปในจุลินทรีย์ นอกจากนี้น้ำยังมีความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงที่สูงทำให้เปลี่ยนอุณหภูมิได้ ยากทำให้น้ำในดินมีอุณหภูมิไม่สูงหรือต่ำจนเกินไปทำให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ให้ทราบสถานะความชื้นของ ดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ 3 ประเภท คือ

1. ความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่อยู่ภายใต้อำนาจดูด ยึดของดินที่พืชดูดไปจากดินในอัตราส่วนที่ทัดเทียมกับอัตราการระเหยน้ำของพืช
2. ความชื้นที่ไม่เป็นประโยชน์ (unavailable moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่ดินดูดยึดไว้ด้วย พลังงานที่มากกว่าที่จะให้พืชดูดไปใช้ในอัตราที่ทัดเทียมกับอัตราการระเหยน้ำของพืชได้
3. ความชื้นเกินจำเป็น (superfluous moisture) หมายถึง ความชื้นส่วนที่เกินอำนาจดูดยึด ตามปกติของดินซึ่ง โดยปกติขังอยู่ในที่ว่างขนาดใหญ่ที่เป็นที่อยู่ของอากาศและเมื่อมีโอกาสจะเคลื่อน พ้นบริเวณที่รากพืชตกลงไปในหน้าตัดดิน โดยอิทธิพลแรงดึงดูดของโลก

2.11.1 ประเภทของความชื้นในดิน

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเก็บน้ำไว้เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ น้ำใน ดินสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงระหว่างไอออนใน สารละลายและแรงระหว่างโมเลกุลของน้ำ น้ำในดินอาจปรากฏในรูปต่างๆดังนี้

1. น้ำในแร่หรือความชื้นที่อยู่ในองค์ประกอบของสารเคมี (chemically combined water) โดยอยู่ในรูปของน้ำผลึก (water of crystallization) คือองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งของดิน ดินที่แห้งสนิทซึ่งได้จากการอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะยังคงมีความชื้นประเภทนี้อยู่ ความชื้นในดินชนิดนี้ไม่เป็นประโยชน์กับพืช

2. น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) น้ำประเภทนี้จะอยู่ในรูปของเยื่อบางๆ หนาราว 2-3 โมเลกุลของน้ำ (layer of water molecule) รอบอนุภาคดินพืชไม่สามารถควบน้ำประเภทนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ ดินที่ผึ่งแห้งในร่ม (air dry soil) จะมีความชื้นในดินอยู่ในรูปของน้ำเยื่อและสามารถไล่ความชื้นนี้ให้ออกไปหมดได้โดยนำดินที่ผึ่งแห้งในร่มนี้ ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. น้ำซึบ (capillary water) ความชื้นในดินประเภทนี้จะอยู่ในลักษณะที่เป็นเยื่อบางๆ รอบอนุภาคดินถัดจากชั้นของน้ำเยื่อและอยู่ในลักษณะที่บรรจุอยู่ในที่ว่าง (pore) ขนาดเล็กมากๆ ของดินน้ำซึบ (unavailable water) ต่อพืช

4. น้ำอิสระและน้ำซึม (gravitational water or drainage water) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดิน โดยถูกดูดยึดอนุภาคดินด้วยแรงที่น้อยมากและจะถูกอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกทำให้เคลื่อนออกไปจากดิน พืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำในดินประเภทนี้ได้เล็กน้อย

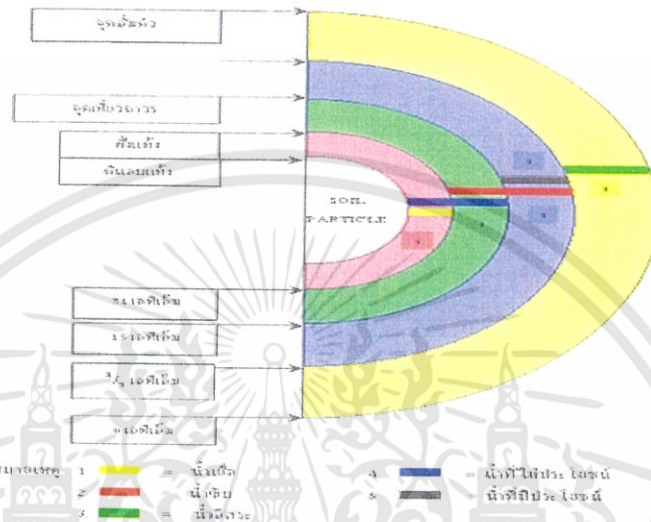
2.12 แรงดูดยึดความชื้นของดิน

หลังจากฝนตกน้ำส่วนหนึ่งระบายออกไปจากดินแล้วดินนั้นยังเป็นดินที่ชื้นอยู่ต่อไปอีกระยะหนึ่งการที่น้ำบางส่วนยังคงสามารถอยู่ในช่องว่างของดิน โดยไม่ระบายออกไปจนหมดแสดงว่าดินมีแรงดูดยึดต่อน้ำจำนวนนั้น แรงดูดยึดนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. การดูดซับ (adsorption) การดูดซับ โมเลกุลของน้ำบนผิวอนุภาคดิน โดยเฉพาะผิวของอนุภาคที่มีประจุเกิดจากสมบัติมีขั้วของ โมเลกุลของน้ำ การดูดซับนี้มักจะเกิดขึ้นในขณะที่ดินมีระดับความชื้นค่อนข้างต่ำและอาจเกิดขึ้นได้ในอีกกรณี คือเมื่ออนุภาคดินมีไอออนบวกถูกดูดซับอยู่และ ไอออนเหล่านั้นดูดซับ โมเลกุลของน้ำเอาไว้ล้อมรอบตัวมันเอง (water of hydration)

2. การดูดผ่านช่องเล็กๆ (osmotic suction) น้ำในดินมีสารละลายอยู่หลายชนิดละลายหรือแขวนลอยอยู่ ไอออนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไอออนบวกจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวนอกของดินเหนียวที่มีประจุเป็นลบและทำให้ความเข้มข้นของ ไอออนในชั้นของ ไอออนบวกที่ถูกดูดซับสูงกว่าในสารละลายรวม (bulk solution) ถ้าความชื้นของดินค่อนข้างต่ำซึ่งไม่ถึงกับแห้งอนุภาคดินเหนียวมีโอกาสสัมผัส (overlap) ซึ่งกันและกันและทำให้สารละลายในระหว่างชั้นทั้งสองนั้นเข้มข้นยิ่งขึ้นเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสารละลายที่เข้มข้นจะมีการดูดแบบออสโมติกสูงถ้านำมาสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ผ่านเมมเบรนกึ่ง

สัมพัทธ์ได้ (semipermeable membrane) น้ำจะเคลื่อนตัวผ่านเมมเบรน (membrane) ไปหาสารละลายนั้นๆ ปฏิกิริยาการนี้ก็ใช้ได้กับดินนั่นคือถ้าสารละลายในบริเวณการดูดซับ (adsorption zone) ของอนุภาคดินเหนียวเข้มข้นมากดินนั้นจะมีแรงดึงดูดน้ำที่เพิ่มขึ้นและน้ำที่ถูกดึงดูดเข้าไปในระหว่างดินเหนียว 2 แผ่นที่เรียงซ้อนกันจะดันให้ดินเหนียวพองตัว



หมายเหตุ 1.=น้ำเยื่อ 2.=น้ำซัพ 3.=น้ำอิสระ 4.=น้ำที่ไม่เป็นประโยชน์ 5.=น้ำที่มีประโยชน์
รูปที่ 2.2 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ
(ปรับปรุงมาจากคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

3.แคพิลลาริตี้ (capillarity) เป็นแรงดึงน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากแรงดึงผิวของน้ำซึ่งเป็นผลรวมระหว่างความเชื่อมแน่น (cohesion) ของน้ำและการประสาน (adhesion) ระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดินตรงผิวของน้ำ (air-water interface) ปฏิกิริยาการนี้อาจเห็นได้ทั่วไปคือ เมื่อจุ่มหลอดเล็กๆที่ผนังด้านในเปียกกลงไปในน้ำผิวเรียบจะมีน้ำบางส่วนดึงดูดขึ้นไปข้างอยู่ในหลอดและถ้าสังเกตจะเห็นว่าผิวของน้ำในหลอดจะเว้าลงไปใต้น้ำและความโค้งของผิวน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของหลอดเล็กกลงและในขณะเดียวกันความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในหลอดจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีของหลอดเล็กกลงด้วยการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างความสูงของน้ำในหลอดแคพิลลาริตี้กับรัศมีของหลอด หรือความโค้งของผิวน้ำในหลอด ปฏิกิริยาการนี้สามารถใช้ได้กับดินโดยที่ดินมีรูพรุนซึ่งเป็นช่องแคบแคบอยู่ทั่วไปทั้งในเม็ดดินและระหว่างเม็ดดินถึงแม้ช่องในดินจะมีรูปร่างและความต่อเนื่องที่แตกต่างจากหลอดแคพิลลาริตี้มากแต่เราสามารถดัดแปลงปรากฏการณ์แคพิลลาริตี้ (capillarity phenomenon) ใช้กับดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 สภาพของน้ำในดิน

ในช่องว่างของดินจะมีน้ำและอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญถ้าช่องว่างของดินมีปริมาณน้ำมากหรือมีน้ำขังตลอดเวลาจะแสดงว่าไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างดังนั้นสามารถแบ่งสภาพของน้ำในดินออกได้ตามความแตกต่างของน้ำที่มีอยู่ในดินได้ดังต่อไปนี้

1.สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) คือดินที่มีน้ำอยู่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดิน ได้แก่ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

2.สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) คือดินที่มีน้ำอยู่ไม่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดิน ได้แก่ดินที่คอนที่ใช้ทำการเกษตรกรรมโดยทั่วไป

3.สภาพความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity: FC) คือสภาพของดินที่สามารถอุ้มน้ำหรือดูดซับน้ำได้มากที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินลงไป 6 นิ้ว ช่องว่างขนาดเล็กในดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำส่วนที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ออกหมดโดยแรงดึงดูดของโลก

4.สภาพน้ำเยื่อ (hygroscopic coefficient) เป็นสภาพที่น้ำจะอยู่ในรูปเยื่อบางๆรอบอนุภาคดินน้ำจะถูกยึดด้วยแรงดึงดูดที่สูงมากตั้งแต่ 31 บรรยากาศจนถึง 10,000 บรรยากาศ สภาพเช่นนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (รูปที่ 2.3)

5.สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช (permanent wilting point) เป็นสภาพที่เกิดขึ้นเนื่องจากในช่องว่างขนาดเล็กของดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อยประกอบกับมีแรงยึดเพิ่มขึ้นในเวลากลางวันพืชจะต้องคายน้ำทำให้อัตราการคายน้ำมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืชทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบชั่วคราวเมื่อเราเพิ่มน้ำให้กับดินอาการเช่นนี้จะหายไป ในกรณีที่เราไม่เพิ่มน้ำให้แก่ดินปริมาณน้ำในดินก็จะน้อยลงไปเรื่อยๆประกอบกับแรงดูดยึดมีค่ามากขึ้นทำให้ปริมาณการดูดน้ำของพืชได้น้อยและยากกว่าเดิมทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบรุนแรง สภาพเช่นนี้จะทำให้พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวรแม้เราเพิ่มปริมาณน้ำในดินก็ตาม (รูปที่ 2.3)

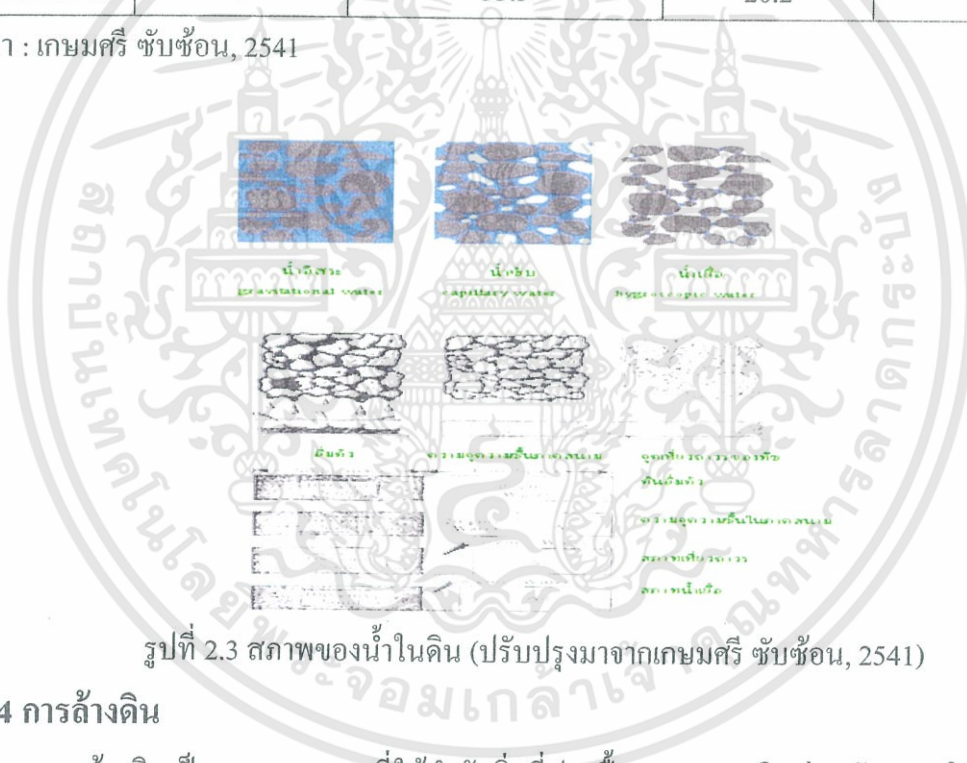
น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลัก ดินเหนียวซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดพบว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีช่วงกว้างกว่าดินร่วนและดินทราย การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพาะปลูกต้องคำนึงถึงเนื้อดินเป็นองค์ประกอบด้วย ถ้าเนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากกว่าดินร่วนและดินเหนียว ในการหาน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหาได้ดังนี้

น้ำที่เป็นประโยชน์ = ความจุความชื้นภาคสนาม - ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร
ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดินดังตารางที่ 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 ชับซ้อน, 2541



รูปที่ 2.3 สภาพของน้ำในดิน (ปรับปรุงมาจากเกษมศรี ชับซ้อน, 2541)

2.14 การล้างดิน

การล้างดินเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสิ่งที่เป็นพิษออกจากดินผ่านตัวกลางในการล้างซึ่งเหมือนกับวิธีที่ใช้น้ำล้างโดยทั่วไปในกระบวนการล้างดินด้วยตัวสกัดนั้นสารละลายที่ใช้ล้างอาจเป็นสารละลายที่เป็นด่าง ได้แก่ สารที่กัดกร่อนปูนขาว หินปูนที่แตกตัวด้วยน้ำ หรือในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบที่เป็นเบสในการล้าง เป็นต้น สารละลายกรด ได้แก่ ซัลฟูริก (H_2SO_4) ไนตริก (HNO_3) ฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือ คาร์บอนิก (H_2CO_3) เป็นต้น หรือสารละลายที่เป็นสารลดแรงตึงผิวหรือคีเลต ดึงเอาเจเนต พวกเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ หรือตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ตัวอื่นๆ โดยเป็นการ

เปลี่ยนแปลงทางเคมีของสิ่งปนเปื้อนอยู่ เบสแก่หรือสารละลายลดแรงตึงผิว สามารถใช้ได้ในการสกัด สารอินทรีย์และสารละลายกรดแก่หรือสารละลายคีเลตตั้งเอเจนต์สามารถใช้ในการกำจัด โลหะหนักได้ สามารถลดแรงตึงผิวและ คีเลตตั้งเอเจนต์ มีความสำคัญมากในการล้างดินเพราะดินส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนออกจากดิน ขึ้นอยู่กับขนาดดิน ความพรุน และ โครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีของดิน

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดินแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆซึ่งนิยมใช้กันมี 3 ประเภท ดังนี้

- การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนในดิน
- การเติมคีเลตตั้งเอเจนต์ ซึ่งเป็นตัวที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับ โลหะและช่วยในการ

ละลายเกิดขึ้น

- การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ทำให้เป็นกลางและทำลาย

สิ่งปนเปื้อน

การล้างดินปกติจะใช้ในการกำจัดสารเคมีหรือมลพิษออกจากดิน สารเหล่านี้จะยึดเกาะหรือติดอยู่กับผิวของอนุภาคซิลท์ หรือเคลย์มากกว่าที่จะติดกับอนุภาคทรายหรือดินลูกรัง จุดประสงค์ในการล้างดินอย่างแรกคือ การแยกอนุภาคที่ละเอียดของซิลท์ หรือเคลย์ออกจากอนุภาคทรายและดินลูกรัง อีกประการก็คือแยกสารเคมีที่ปนเปื้อนออกจากดิน โดยใช้น้ำหลังจากการบำบัดเสร็จแล้วก็จะเหลือสิ่งที่ตกค้างอยู่คือ

- ทรายและดินที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้างและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้
- ซิลท์และเคลย์ที่สะอาด ไม่มีสารพิษตกค้างและสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้
- ดินที่ประกอบด้วยซิลท์และเคลย์ที่ละเอียดและยังปนเปื้อนอยู่ซึ่งต้องบำบัด โดยวิธีอื่น

เช่น Incineration

- นำที่ล้างดินสามารถนำไปบำบัด โดยวิธีการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดและความ

เข้มข้นของสารปนเปื้อน

ข้อดีของวิธีนี้ คือ

- ทำในระบบปิดจะควบคุมโดยควบคุมค่าพีเอช และอุณหภูมิ
- ดินที่ปนเปื้อนสารอันตรายอาจถูกกำจัดและบำบัดที่แหล่งได้
- กำจัดสารปนเปื้อนได้หลายชนิด
- ราคาถูกเพราะเป็นกระบวนการบำบัดเริ่มต้น ไม่ต้องการกระบวนการกลไกที่ซับซ้อน

2. การใช้สารละลายสกัดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนเข้าไปอยู่ในรูปสารละลาย สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยวิธีการล้างดินมีหลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพก็แตกต่างกันออกไป

2.14.1 การล้างดินด้วยสารประกอบประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์ (Chelating agent)

คีเลต คือ สารอินทรีย์เคมี ซึ่งสามารถจะรวมและค้ำกันไม่ให้มีการตกตะกอนของพวกไอออนบวกบางชนิด รวมทั้งธาตุไอออนพวกเหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี สารคีเลตจะห้อมล้อม ไอออนที่เป็นโลหะ (Metallic cation) ไว้เป็นการป้องกันไอออนอื่นที่เข้าไปเกิดพันธะ (Bond) กับโลหะบวกในสารคีเลต ทำให้โลหะไอออนบวกเหล่านี้อยู่ในสารละลายที่มีพีเอชสูงกว่า ทำให้การตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะได้ยากขึ้น สารโลหะคีเลตแต่ละตัวมีความคงทนไม่เท่ากัน เหล็กคีเลตให้ผลดีในกรณีพีเอชดิน ไม่สูงเกินไป สมบัติโดยทั่วไปของสารคีเลตสังเคราะห์ที่สำคัญ คือ ลักษณะที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับธาตุโลหะต่างๆ ในรูปของโลหะคีเลตเชิงซ้อน หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือระดับความสัมพันธ์แห่งการเกาะยึดธาตุโลหะไว้ได้แน่น หรือ ไม่แน่นของ สารคีเลตชนิดต่าง ๆ นั้น ได้มีการตรวจสอบค่าคงที่ ซึ่งแสดงเปรียบเทียบให้เห็นถึงความสามารถคงสภาพสัมพันธ์ระหว่างสารคีเลตแต่ละชนิดกับธาตุโลหะต่างๆ หรือ เรียกว่า ค่าคงที่ของความเสถียร (Stability constant ; K) โดยปกติตารางที่แสดงค่าความเสถียรคงที่ของ โลหะคีเลตชนิดต่างๆ นิยมบอกเป็นค่าลอการิทึม (\log_{10}) ประเมินค่าความเสถียรคงที่ของ โลหะคีเลตชนิดหนึ่งเปรียบเทียบกับ โลหะอื่นๆ ที่เกาะยึดอยู่กับสารคีเลตประเภทต่างๆ การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้สารประเภทคีเลตประเภทคีเลตติ้งเอเจนต์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถเกิดคีเลชันกับ โลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในดิน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแต่สารชนิดนี้มีราคาสูงจึงไม่นิยมใช้

การใช้สารคีเลตติ้งเอเจนต์กับการแก้ปัญหาดิน ควรคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 4 ข้อดังนี้

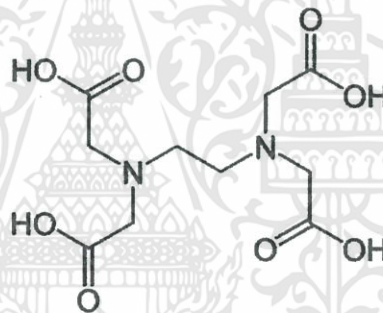
1. สารเคมีควรมีความสามารถเกิดในสารเชิงซ้อนที่เสถียรในช่วงพีเอชที่กว้างที่อัตราส่วนลิแกนด์ต่อโลหะ 1:1
2. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารคีเลตติ้ง และสารประกอบเชิงซ้อนกับ โลหะหนัก ควรมีค่าต่ำ (ยกเว้นกรณีที่ใช้สารคีเลตติ้งที่ผ่านการเข้ามาแล้ว)
3. สารคีเลตติ้งควรมีความเป็นพิษ และอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ
4. สารเคมีควรมีความคุ้มค่าต่อการนำมาใช้

ตัวอย่างที่เล็ดตั้งเอเจนต์ที่ใช้ Ehtylenediaminetetraacitic acid (EDTA)

1. โครงสร้างของอีดีทีเอ

อีดีทีเอ คือ ตัวที่เล็ดตั้งเอเจนต์และเป็นพอลิเดนเทตลิแกนด์อะตอมจะจ่ายมี 6 อะตอมสามารถจับอะตอมโลหะได้ในลักษณะที่คล้ายๆกรงเล็บ คำว่า “chele” ในภาษากรีกแปลว่ากรงเล็บซึ่งทำให้เป็นที่เล็ดตั้งลิแกนด์ที่ดีและเป็นสารประกอบ Tertiary amine ที่ประกอบด้วยหมู่ Carboxyl สามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับ ไอออนของโลหะหลายชนิด สารนี้ใช้เป็นลิแกนด์เมื่อจับกับโลหะ ไอออนจะ ไอออนเชิงซ้อนหรือโมเลกุลที่มีความเสถียรสูงคือ สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะในรูปของคีเลต เพื่อในการควบคุมการปนเปื้อนโลหะไอออนอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากทรานซิชันสามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับกลุ่มเรียกว่า สารประกอบโคออร์ดิเนชัน ซึ่งโลหะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนคู่และ ลิแกนด์คือตัวที่เล็ดตั้งเอเจนต์เป็นอะตอม จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านการบำบัดเสียต่างๆมากมาย

เราจะศึกษาโครงสร้างและสมบัติบางประการของสารนี้ สูตรโครงสร้างของอีดีทีเอ ดังนี้



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างอีดีทีเอ

สารนี้เป็นกรดอ่อนชนิดTetraprotic 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 ในสารละลายของกรดนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบดับเบิลซวิทเทอร์ไอออน (Double zwitterions)

อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ O แต่ละหมู่ใน OH ของ N แต่ละตัวทำให้โมเลกุลของอีดีทีเอเป็นลิแกนด์เฮกซะเดนเทต (Hexadintate ligand) ซึ่งสามารถรวมกับไอออนของโลหะได้สูตรอย่างย่อของอีดีทีเอ คือ H_4Y ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 130-145 องศาเซลเซียสเป็นเวลาหลายชั่วโมง การละลายของสารนี้ต้องเติมเบสลงไปเล็กน้อยจะเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์ของอีดีทีเอเป็นที่นิยมมากถึงแม้จะมีความเข้มข้นประมาณ 3 % แต่ละลายน้ำได้และเมื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดโพลีเอทิลีนก็เสถียรเป็นเวลาหลายเดือน

2. การเกิดสารเชิงซ้อนของอิตีทีเอกับโลหะ

สมบัติที่ดีของอิตีทีเอเป็นลิแกนด์ที่รวมตัวกับไอออนของโลหะส่วนใหญ่ด้วยอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ตัวอย่างเช่น ซิลเวอร์ไอออน คอปเปอร์ไอออน และอลูมิเนียมไอออน เมื่อรวมกับอิตีทีเอจะให้สารเชิงซ้อนดังนี้



สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเป็นแบบคีเลตที่เป็นตัวการที่ทำให้สารเหล่านี้เสถียร เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะการเกิดพันธะเคมีของลิแกนด์ที่มีทิศทางทำให้ไอออนของโลหะอยู่ตรงกลางและล้อมรอบด้วยลิแกนด์ซึ่งจะทำให้ไอออนของโลหะแตกตัวออกจากโมเลกุลของตัวทำละลายได้

3. ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับอิตีทีเอ

ค่าคงที่ของการเกิดสารเชิงซ้อนสำหรับอิตีทีเอ คือ K_{MY} ของไอออนของโลหะต่างๆที่มีอิตีทีเอเป็น ลิแกนด์ค่านี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของ Y^{4-} ดังนี้



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

4. ผลของอิตีทีเอที่มีต่อองค์ประกอบของอิตีทีเอ

เนื่องจาก K_{MY} มีความเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของ Y^{4-} แต่ในสารละลายของอิตีทีเอจะประกอบด้วยไอออนและโมเลกุลนอกเหนือไปจาก Y^{4-} , HY^{3-} , H_2Y^{2-} , H_3Y^- , H_4Y สารเหล่านี้มีความเข้มข้นมากขึ้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าพีเอช จะเห็นว่าที่ pH 3-6 คือสารละลายกรดอ่อนเกือบเป็นกลาง H_2Y^{2-} จะเป็นสารที่มีมากที่สุด แต่ถ้าสารละลายเป็นกลางหรือค่อนข้างเป็นเบสเล็กน้อย คือพีเอชระหว่าง 6-10 อิตีทีเอส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ HY^{3-} แต่ถ้าเกิดพีเอชสูงกว่า 10 อิตีทีเอจะอยู่ในรูป Y^{4-} จะเป็นสัดส่วนที่มีมากที่สุด ดังนั้นปฏิกิริยาของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะใดวเลนซ์กับอิตีทีเอในสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยจะเป็น ดังนี้

การล้างดินด้วยสารประเภทคีเลตตั้งเอเจนต์ (Chelating agent) และคีเลตตั้งเอเจนต์ที่ใช้เป็นสารละลายอิตีทีเอ เมื่อนำไปล้างดินปนเปื้อนตะกั่วจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



2.14.2 การล้างดินด้วยสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์ (Reducing agent)

กระบวนการของรีดิวซิงเอเจนต์อาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำให้อิเล็กตรอนของรีดิวซิงเอเจนต์มีจำนวนลดลง ซึ่งรีดิวซิงค์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน และการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามสารอินทรีย์และโลหะ โดยทั่วไปสารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องหนัง เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบรีดิวซิงเอเจนต์เหล่านี้มีราคาถูก จึงนำมาใช้ในการล้างดิน แต่ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันจึงมีการนำสารดังกล่าวมาใช้ควบคู่กับคลอรีน

2.15 การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)

การหาปริมาณโลหะหนัก นิยมใช้เทคนิคแบบเป็นลำดับขั้น เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดินตะกอน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์กันระหว่างโลหะและชนิดของดินหรือภาคตะกอน วิธีการสกัดแบบลำดับขั้นจะเกี่ยวข้องกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมในการสกัดแต่ละลำดับ (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2532)

ปริมาณของโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายลักษณะของโลหะหนักที่เป็นพิษในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักมักขึ้นกับพีเอช ศักย์รีดอกซ์และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม โดยการสกัดแบบลำดับขั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาจากงานวิจัยหลายท่าน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (รัตติกาล จันทิวาสัน, 2542)

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้

ปกติน้ำบริสุทธิ์จะไม่ใช้ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นการสกัดในช่วงแรกเพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้นสามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนต่อสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับกันอย่างหลวมๆ ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตกับแร่ธาตุ ทั้งในสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ของดินตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ เป็นสารละลายที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แตกตัวในน้ำได้และสามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น neutral salt electrolytes และ buffered neutral solutions ซึ่ง $MgCl_2$ และ NH_4OAc นิยมใช้กันมากในส่วนนี้ เพราะ

ไอออนที่มีประจุ $2+$ จะมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีกว่า ยกเว้น NH_4^+ ที่สามารถสกัดโลหะหนักได้ดีเท่ากับประจุ $2+$ และตัวอะซิเตตสามารถจับกับโลหะหนักได้เสถียรมากกว่าโลหะหนักที่จับกับคลอไรด์ไอออน

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด

คุณสมบัติของสารในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอนेटได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้โดยทำให้อยู่ในสถานะเป็นกรดที่ pH 5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิติก 0.11M pH 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วนสารตัวอย่างต่อสารที่ใช้สกัดเท่ากับ 1:25 กรัม : มิลลิลิตร

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้

ในงานวิจัยนี้จะใช้ส่วนผสมของ reducing agent และกรดซึ่งปกติใช้สกัดโลหะปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe-oxidation หรือ Mn-oxide ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า reducing phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง amorphous และ crystalline ค่า pH ที่ได้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ reducing agent $\text{HOAc-NH}_2\text{OH.HCl}$ ไม่สามารถรีดิวซ์ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนได้แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ซึ่งในส่วนนี้ปกติจะนิยมใช้ hydroxylamine hydrochloride ในกรดเป็นการสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์ด้วยกลไกหลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลต ภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์เพื่อใช้ละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ได้ สาเหตุที่สารสกัดนี้ต้องรักษาสภาพให้เป็นกรดเพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ เพราะอาจเกิดการดูดซับกลับอีกครั้งของโลหะที่ถูกสกัดหากมีสถานะที่สามารถออกซิไดซ์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้สารสกัดและสถานะโดยใช้ 30% H_2O_2 ที่ถูกทำให้เป็นกรดด้วย HNO_3 ให้มี pH เท่ากับ 2 และเติม 1.0 NH_4OAc pH 2 หลังจากทำการสกัดด้วย 30% H_2O_2

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ

หลังจากที่สกัดบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิและทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่เป็นกรดแรงเพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่นๆที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน ส่วนที่เหลือจากส่วนที่ 5 สามารถถูกละลายได้โดยการย่อยด้วย HF และ HNO_3 ที่อัตราส่วน 2 : 3 v/v

ปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปการหาขั้นตอนในการสกัดที่มีความเจาะจงในโลหะหนักแต่ละชั้นได้ ในการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบหลายขั้นตอน จะทำให้เกิดการชะโลหะหนักที่อยู่ในรูปอื่นออกมาได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามการสกัดแบบลำดับชั้นยังคงเป็นวิธีที่ใช้ในการอธิบายหลักชะละลายของโลหะหนัก รูปต่างๆ ในดินหรือกากตะกอนได้ดี

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Riyard Abumaizar Edward H.smith (1990)

ทำการศึกษาการล้างดินเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) และโซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA) ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดิน และทำการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน โดยใช้การทดสอบแบบคอลัมน์ร่วมกับการล้างดินแบบครั้ง และใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP) ในการวิเคราะห์ โดยในการล้างดินจะใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ และ Na_2EDTA เปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออน (DI water) ด้วย ซึ่งผลที่ได้พบว่า เมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนล้างดิน สามารถกำจัดโลหะแคดเมียมได้มากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะหนักชนิดอื่นๆ ได้แก่ สังกะสี ถูกกำจัดได้ 25-30 เปอร์เซ็นต์ โครเมียมถูกกำจัดได้ 20-25 เปอร์เซ็นต์ และตะกั่วถูกกำจัดได้ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล้างดินด้วยสารละลายทั้งสองชนิดยังพบว่าเมื่อนำเอาสารละลายทั้งสองชนิดมาผสมกันจะสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินได้มากขึ้นด้วย

2. Sun และคณะ (2001)

การศึกษากัดโลหะ Zn, Cd, Cu และ Pb จากดินที่ปนเปื้อน 4 ชนิด ด้วยวิธีแบบครั้งและแบบคอลัมน์ โดยโลหะที่ถูกสกัดจะออกมาในรูปของ EDTA ต่อ โลหะหนัก เป็นอัตราส่วน 1:1 โดยอัตราส่วนของ Zn, Cu, Cd และ Pb ที่ถูกสกัดออกมาได้จะมีค่าใกล้เคียงกันของดินทั้ง 4 ชนิด จึงสรุปได้ว่า EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนทั้ง 4 ชนิด ได้ใกล้เคียงกัน แต่ในทางตรงกันข้ามการสกัดแบบคอลัมน์ด้วย 0.01 N EDTA น้ำชะที่ออกมาจะพบ Zn, Cd, Cu และ Pb ซึ่ง Cu จะถูกชะออกมาได้มากที่สุดระหว่างดินทั้ง 4 ชนิด และพิกัดความเข้มข้นที่ได้ก็สอดคล้องกับ EDTA ในน้ำชะ การเคลื่อนที่ของ Zn และ Cd จะต่ำกว่า Cu แต่ที่น้อยที่สุดคือ Pb และจะเพิ่มขึ้นหลังพิกัดของ Zn และ Cu ดินที่ทำการสกัด และไม่ได้ทำการสกัดแบบลำดับส่วน โลหะที่ถูกสกัดออกมาจะถูกกำหนดไปในแต่ละส่วน และจะถูกกำจัดออกมาด้วย EDTA และสามารถพิจารณาการเคลื่อนที่ของ Fe ที่เกิดขึ้นในดิน 2 ชนิดจาก 4 ชนิดได้ ระหว่างที่ทำการชะด้วย EDTA พบว่าปริมาณ เหล็กและแมงกานีส

ออกไซด์ เช่นเดียวกับดินที่ 3 แต่ปริมาณเหล็กที่เคลื่อนที่มีเพียงเล็กน้อย โดยผลจากตรงนี้สามารถบอกได้ว่า การเคลื่อนที่ของโลหะในดิน ค่าพลังงานที่ใช้ในการดูดซับและละลาย EDTA จะเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมพฤติกรรมของโลหะเหล่านี้ที่ทำการชะด้วย EDTA

3. Papassiopi และคณะ (1999)

EDTA ที่ใช้ในการบำบัดดินที่ประกอบด้วยหินปูนที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักจากการทำเหมืองแร่ และการหลอมโลหะ โดยดินตัวอย่างจะเป็นดินที่มีระดับการปนเปื้อนต่างกันไป ตั้งแต่ 500-35,000 mg/kg จะเป็นปริมาณของตะกั่ว และ 700-20,000 mg/kg จะเป็นปริมาณของสังกะสี และทำการสกัดด้วย EDTA โดยปริมาณของตะกั่วจะอยู่ในระดับ 50-98 เปอร์เซ็นต์ และสังกะสี เท่ากับ 50-100 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นที่เหลือทั้งหมดมีค่าเกินค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดก็สามารถยอมรับได้ ผลที่เกิดจาก EDTA จะทำการศึกษาจากดินที่มีตะกั่วอยู่ 12,000 mg/kg และสังกะสีอยู่ 1,000 mg/kg การกำจัดโลหะหนักจะถูกทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น เมื่อ EDTA มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0.025-0.25 M โดย $\text{Na}_4\text{-EDTA}$ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักต่ำกว่า $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ ถึงแม้ว่าจะใช้ความเข้มข้นที่มากกว่า ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการหาความสำคัญที่ศึกษาของสารละลายดินสำหรับที่จะนำมาเป็นทางเลือกในการประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการประเมินการชะด้วย EDTA การละลายของหินปูนจะถูกพบเมื่อมีการใช้ EDTA ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การออกแบบการบำบัดดินที่ประกอบด้วยหินปูนที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก และทำการประมาณค่าใช้จ่ายนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณหินปูนที่อยู่ในดิน

4. Abumizar และ Smith (1999)

ศึกษาการกำจัดโลหะ Cd , Cr ,Zn และ Pb ออกจากดินร่วนปนทราย (Silty Sand) ด้วยการชะแบบคอลัมน์และแบบครึ่ง ด้วยสารละลาย Na_2EDTA $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ และสารละลายผสมระหว่าง Na_2EDTA กับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ โดยในการทดลอง พบว่าการชะทั้งแบบครึ่งและแบบคอลัมน์ จะสามารถชะในสถานะที่เป็นกลาง Cd ออกมาได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วย Zn 25-30 เปอร์เซ็นต์ , Cr 20-25 เปอร์เซ็นต์ และ Pb ได้แค่ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น โดยทั่วไปแล้วการชะด้วย Na_2EDTA จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ และจะมีผลต่อการกำจัด Cr บ้างเล็กน้อย แต่ถ้าทำการผสมที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 ตามลำดับ แล้วทำการสกัดแบบครึ่งที่อัตราส่วนของดินต่อสารละลาย เท่ากับ 1:5 และ 1:12.5 จะพบว่าประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าการใช้อัตราส่วน 1:5 โดยสามารถชะ Cd ได้ 192.3 ± 5.1 เปอร์เซ็นต์ และ 101.9 ± 4.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการทดลองแบบคอลัมน์ก็ทำการชะแบบคอลัมน์กับแบบครึ่ง พบว่าการชะทั้งแบบครึ่งและแบบคอลัมน์มีประสิทธิภาพดี และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ทั้งคู่

5. Lee และ Kao (2004)

ที่เลดตั้งเอเจนต์และกรด ใช้ในการประเมินปริมาณ โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน ที่ใช้ทำการศึกษา 2 ชนิด ได้แก่ ดิน Latosols และดิน Sandstone-shale alluvial ทำการเติมโลหะหนัก Cu , Zn และ Pb ลงไป ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัด โลหะหนักออกจากดินทั้ง 2 ชนิด ก็ขึ้นอยู่กับที่เลดตั้งเอเจนต์ที่ใช้ โดยที่เลดตั้งเอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ EDTA รองลงมาคือ DTPA Citric Acid และ HCl โดยในดิน Latosols โลหะที่สกัดออกมาได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ซึ่งมีค่า 34 เปอร์เซ็นต์ 40 เปอร์เซ็นต์ และ 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนในดิน Sandstone-shale alluvial โลหะส่วนใหญ่จะมีการดูดซับที่แข็งแรงมากกว่า ทำให้โลหะที่สกัดได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งมีค่า 40 เปอร์เซ็นต์ 55 เปอร์เซ็นต์ และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของ EDTA ที่ทำการสกัดแล้วมีประสิทธิภาพสูงอยู่ในช่วง 1×10^{-4} ถึง 5×10^{-2} แต่หากทำการสกัดที่ความเข้มข้น 1×10^{-4} ถึง 1×10^{-3} จะมีประสิทธิภาพในการสกัดต่ำ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่สกัดได้จากดิน 2 ชนิดแล้ว พบว่าในดิน Latosols สามารถกำจัดโลหะหนักได้มากกว่าดิน Sandstone-shale alluvial

6. Benschoten และคณะ (1994)

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการกำจัด โลหะหนัก As , Cu , Pb , Hg และ Zn ด้วยสารละลาย HCl , HNO₃ , H₂SO₄ , EDTA , NH₂OH·HCl โดยการทดลองต้องทำการประเมินผลของสารละลายที่ใช้สกัด และระยะเวลาที่สัมผัส ดินที่ทำการศึกษากจะเป็นดินขนาดเคียว ซึ่งกลไกการเกิดพันธะจะใช้การสกัดแบบลำดับส่วนในการประเมิน โดยโลหะทั้งหมดจะยึดแน่นอยู่กับทราย ก็เนื่องมาจากถูกเคลือบไว้ด้วยเหล็กออกไซด์ จากการวิเคราะห์ในส่วนของขนาดของอนุภาค โลหะหนักที่ปนเปื้อนจะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาคดิน โดยเราสามารถบอกได้ว่า โลหะจะถูกจับกับพื้นผิวดิน ในระหว่างที่ทำการล้างดินในชั้นแรก โดยทำการเติม HCl ซึ่งขั้นนี้จะเกิดการชะอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นจะช้าลงเรื่อยๆ โดยโลหะที่อยู่ในส่วนนี้จะเป็นโลหะส่วนที่เหลือ ถึงแม้ว่าดินทรายจะได้รับเลือกให้มาเป็นอย่างดี ให้ทำการล้างดิน แต่บริเวณผิวที่มีเหล็กออกไซด์เคลือบอยู่ก็อาจส่งผลให้โลหะหนักถูกชะออกมายาก

7. Diploma และคณะ (2004)

การศึกษาการสกัด Cu ออกจากดินทราย ดินที่มีส่วนประกอบของหินปูน และดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูง ด้วยวิธีการแบบคอลัมน์ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น EDTA ค่า pH และอัตราเร็วในการชะ ซึ่งค่าที่ทำการสกัด ได้มีค่าเท่ากับ 84.8 เปอร์เซ็นต์ 93.0 เปอร์เซ็นต์ และ 96.9

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการวัดค่าสารอินทรีย์ในดินทั้งหมดมีความสำคัญ เนื่องจากจะทำให้แน่ใจว่า EDTA สามารถทำการบำบัดดินได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้การที่หินปูนไม่ละลายถึง 93.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณก็เล็ดลอดเอเจนต์ก็เนื่องมาจากใช้ EDTA ที่ทำการชะที่ความเข้มข้น 0.05 M

8. Epsein และคณะ (1999)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า EDTA เป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้โลหะตะกั่ว ในดินละลายและเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้นจากเนื้อเยื่อของต้นไม้ใต้ดิน ซึ่งการศึกษาเหล่านี้ จะสามารถบอกได้ว่ามีโลหะตะกั่ว อยู่ในเนื้อเยื่อของพืช ด้วยวิธีการส่งผ่านด้วยแรง Driving force โดยเราทำการศึกษาต่อถึงความสัมพันธ์ ของ EDTA กับการรักษาดิน การปล่อยออกในพืช และการสะสมตัวของตะกั่วและ EDTA การทดลอง ได้ทำการปลูกต้น Indian Mustard ในดินที่มีโลหะตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆคือ 1.5 3.0 และ 4.8 mmol/kg จากนั้นพืชจะปล่อยออกมาทางเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ เราจะทำการเก็บตัวอย่างนี้มาทำการวิเคราะห์ Pb และ EDTA ด้วยเครื่อง ICP และ HPLC ตามลำดับ น้ำที่หายไปจะทำการหาปริมาณ เป็นเวลา 7 วัน ก่อนมีการเติม EDTA โดยพืชจะมีการปล่อย EDTA ออก ถ้าความเข้มข้นของ EDTA มากกว่า 5 mmol/kg แต่ที่ความเข้มข้น 10 mmol/kg ปริมาณ EDTA ที่ถูกปล่อยออกมาจะมีปริมาณลดลง 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโลหะตะกั่ว และ EDTA จะเกิดการสะสมตะกั่วเพิ่มขึ้น ในดินที่ปลูกพืช Sassafras ตะกั่ว และ EDTA ที่สะสมตัวอยู่จะมีการปล่อยออกอย่างต่อเนื่อง และจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้น แต่ไม่เกิน 10 mmol/kg ในดินที่มีการปรับปรุงดินด้วยตะกั่ว 4.8 mmol/kg และ EDTA 10 mmol/kg ความเข้มข้นของ EDTA และตะกั่ว จะถูกขับออกมาลดลง และสามารถสังเกตเห็นความเป็นพิษของพืช ได้ด้วยตาเปล่า โดยผลการทดลองต่อไปนี้จะสามารถรองรับการศึกษา ของระบบการปลูกพืช โดยให้รากอยู่ในสารละลายแร่ธาตุที่ผสมอยู่ ซึ่งก็คือ EDTA และ Pb โดยพืชจะทำการดูดเข้าไปทางราก และตะกั่วจะเปลี่ยนสถานะไปเป็น สารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วและ EDTA ซึ่งปริมาณของตะกั่วที่สะสมอยู่ในพืชสูงสุด จะเกิดเป็นปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของตะกั่วและ EDTA ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ EDTA ที่ใช้ในการสกัด

9. Peter (1999)

ได้ทำการศึกษาถึง chelant ที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากดินที่มีการปนเปื้อน โดยใน ส่วนของการศึกษาเรื่องการใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์นั้น ในการทดลองใช้ reducing agent เช่น โซเดียมโบโร ไฮไดรไรด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ โซ โอยูเรียไดออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น โดยในการทดลองจะเป็นการบำบัดแบบครั้ง โดยใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลาย chelant (EDTA กับ Citrate) ร่วมกับ reducing agent ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการผสมระหว่างสารละลาย

chelant ร่วมกับ reducing agent แล้วส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการสกัดเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้สารประเภท chelant อย่างเดียว โดยในการสกัด Cu, Zn และโลหะอื่นๆนั้น โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์จะมีประสิทธิภาพในการสกัดมากที่สุด ยกเว้น Pb ที่สกัดได้ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรไรด์ได้มากที่สุด โดยที่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดด้วย EDTA ใน Cu และ Zn ได้ 6.3 เปอร์เซ็นต์ และ 13.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกับ citrate สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด Zn ได้ 20.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์นั้นสามารถใช้ร่วมกับสารละลาย EDTA ได้ดีกว่าสารละลาย citrate acid และเหตุผลที่จำเป็นต้องใช้การบำบัดแบบ redox เพราะการบำบัด EDTA ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักนั้นทำได้ยาก จึงได้มีการพัฒนาการใช้ EDTA ให้น้อยลง แต่ยังคงประสิทธิภาพในการสกัดอยู่

10. Irene and Yang (1999)

ได้ศึกษาการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในส่วนต่างๆ ของดินปนเปื้อนจริง และกากตะกอนสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ คาร์บอนเนต ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส อินทรีย์วัตถุ และรูปของแร่ดินเหนียว ด้วย EDTA โดยการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและความเข้มข้นของ EDTA ที่ใช้ พบว่าการสกัดจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วหลังจากสกัดเป็นเวลาประมาณ 30 นาที EDTA มีประสิทธิภาพในการสกัดโลหะใน 4 ส่วนของดินปนเปื้อน และการใช้ EDTA เข้มข้น 0.01 M การใช้ EDTA สกัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในส่วนของคาร์บอนเนตอาจได้รับผลกระทบจากการเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วคาร์บอนเนต เพื่อให้ผลของการทดลองมีค่าที่ยอมรับได้สูงจึงควรทำการสกัดโดยใช้ EDTA เข้มข้น 0.10 M

11. Nowack; Kari and Kruger (2001)

ได้ศึกษาถึงการเคลื่อนที่กลับของโลหะ โดยสารเชิงซ้อนของโลหะอิตีทีเอ พบว่าการเคลื่อนที่ของโลหะเกิดขึ้นอยู่เสมอ ซึ่งลำดับของอัตราการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} จาก Goethite พบว่าการชะล้างโลหะด้วย EDTA ทำให้การแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็นดังนี้ $CaEDTA > Fe(III)EDTA$ มีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนที่ช้า สำหรับการเคลื่อนที่กลับของ Pb^{2+} จาก Goethite พบว่ามีอัตราดังนี้ $Fe(III)EDTA > CaEDTA > ZnEDTA$ ซึ่งเป็นที่น่าแปลกใจที่ $Fe(III)EDTA$ มีอัตราการแลกเปลี่ยนที่เร็วที่สุดส่วนการเคลื่อนที่กลับของ Pb^{2+} จะอยู่ในวงจำกัดเท่านั้น ซึ่งเป็นผลมาจาก Hydrous ferric oxide เนื่องจากที่ pH 8 จะมีการดูดซับที่แรงของ Pb^{2+} ลำดับการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} จากตะกอนของแม่น้ำธรรมชาติพบว่า $CaEDTA > CuEDTA > Fe(III)EDTA$ อัตราการเคลื่อนที่กลับของ Zn^{2+} กับ $Fe(III)EDTA$ มีเพียงแค่ร้อยละ 12 ของอัตราที่เกิดกับ $CaEDTA$ ซึ่งอธิบายได้จากการประเมินการเคลื่อนที่กลับของโลหะ EDTA ชนิดต่างๆ

12. Garrabrants and Kosson (2000)

ได้ศึกษาถึงการใช้คีเลตติ้ง (EDTA) ซึ่งเป็นสารที่สามารถชะล้างโลหะออกจากดินที่มีการปนเปื้อน การทดลองนี้ทำการทดลองแบบครั้ง (Batch) จะมีการควบคุม pH โดยจะใช้ความเข้มข้นของ EDTA 50 mM ตามอัตราส่วนสารละลายต่อของแข็งเป็น 100 ml/g ใช้ช่วงเวลาในการสัมผัส 48 ชั่วโมง โดยใช้ดิน 4 ตัวอย่างที่มาจากที่เดียวกัน และใช้ EDTA เป็นตัวสกัด และตรวจสอบ As, Cd, Cu, Mn และ Pb โดยทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ครั้งแรก pH 7 และครั้งที่ 2 pH 4 จากการเปรียบเทียบการใช้พีเอชที่ต่างกันพบว่า สามารถใช้ EDTA กำจัดโลหะหนักได้ทุกชนิด

13. Elliott and Brown (1989)

ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพการสกัด Pb ที่ปนเปื้อนในดินด้วย Nitriilotriacetic acid (NTA) เปรียบเทียบกับ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) ดินที่นำมาวิเคราะห์มาจากบริเวณโรงงานทำแบตเตอรี่ มี Pb ปนเปื้อนถึง 21 เปอร์เซ็นต์ แล้วใช้คีเลตติ้ง มีค่าต่ำกว่า 0.04 M ซึ่ง EDTA สามารถทำการสกัด Pb ได้ 10-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า NTA ดังนั้น ถ้าต้องการกำจัด Pb ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นควรใช้ความเข้มข้น EDTA ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเช่นกัน โดยให้อัตราส่วนของ EDTA/Pb เป็น 2:1 ทำให้ Pb ถูกกำจัดออกมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้คีเลตติ้งเป็น NTA ความสามารถในการกำจัด Pb จะลดลง เนื่องจาก NTA นั้นเป็นสารที่มีค่าความจำัดในการชะล้างดิน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Pb ของ NTA น้อยกว่า EDTA

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. ไฮโดรมิเตอร์ มาตรฐาน ASTM No.1.152H อ่านสเกลในหน่วย กรัมต่อลิตร
2. พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver instrument model 250
3. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Perkin Elmer precisely

รุ่น AAnalyst 200

4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
5. ชุคเต้าย่อย
6. ตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช
7. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
8. เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2
9. ตู้อบ
10. เครื่องกระบอกสุญญากาศ ยี่ห้อ Bushi B-169 vaccum-system
11. กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
12. กระดาษกรองขนาด 1 ไมโครเมตร
13. ขวดพลาสติกใสสารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 100 มิลลิเมตร

3.1.2 สารเคมี

1. แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) A.R.Grade (บริษัท Apex, USA)
2. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) A.R.Grade (บริษัท Apex, USA)
3. กรดอะซิติก (CH_3COOH) A.R.Grade (บริษัท Italmar, Italy)
4. กรดไนตริก (HNO_3) A.R.Grade (บริษัท Italmar, Italy)
5. ไฮดรอกซิลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) 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)
9. ไฮโดรคลอริกหรือไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (1 M) A.R.Grade (บริษัท Italmar, Italy)

10. กรด N-2-hydroxyethylpiperazine-N-2-ethanesulfonic ($C_8H_{18}N_2O_4S$) A.R.Grade
(บริษัท Apex, USA)

11. กรด N-cyclohexyl-3-aminopropanesulfonic ($C_9H_{19}NO_3S$) A.R.Grade
(บริษัท Apex, USA)

12. เลดไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

13. คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

14. แคดเมียม Cd (s) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

15. ซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

16. นิกเกิลซัลเฟต ($NiSO_4$) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

17. โซเดียมอีดีทีเอ (Na_2EDTA) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

18. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) A.R.Grade (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.2 แหล่งที่มาของดิน

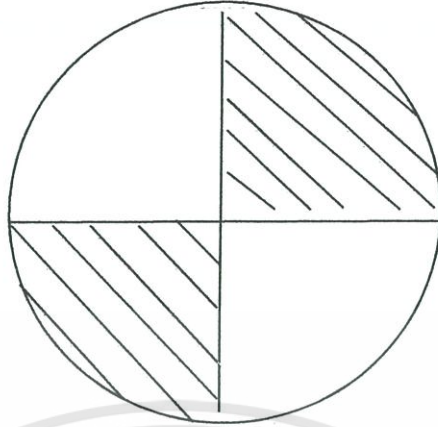
เก็บตัวอย่างดินบริเวณ ต.กฤษณา อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา โดยดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวร่วนปนทรายทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร จากผิวดิน

ก่อนขุดทำการวางหญ้า เศษวัชพืช หรือวัสดุที่อยู่บนผิวดินออกเสียก่อนทำการกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5×5 เมตร ขุดดินที่มุมทั้งสี่และจุดตัดของเส้นทแยงมุมค้ำรูปที่

3.1



ใช้ จอบ เสียม หรือพรวน ขุดหลุมเป็นรูปตัว V ให้ลึกในแนวตั้งประมาณ 15 เซนติเมตรให้ครบทุกจุดขุดให้ละเอียดพอประมาณแล้วเทรวมกันคลุกเคล้าผสมให้เข้ากันจากนั้นทำการกองตัวอย่างดินให้เป็นรูปกรวยคว่ำแล้วแบ่งผ่าน篩篩ส่วนต่างๆกันเลือกเก็บตัวอย่างดินมาสองส่วนที่อยู่ด้านตรงข้ามกันเพื่อเป็นดินตัวอย่างของดินทั้งหมด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน

3.3 การสังเคราะห์ดิน

นำดินตัวอย่างที่ได้ไปตากให้แห้งเป็นเวลานาน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำดินที่แห้งแล้วมาตำแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช นำดินที่ร่อนได้ไปสังเคราะห์ด้วยโลหะหนัก Pb (200 ppm), Pb+Cu (100 ppm each), Pb+Ni (100 ppm each), Pb+Cd (100 ppm each), Pb+Zn (100 ppm each) ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้นาน 2 สัปดาห์ โดยผึ่งให้แห้งตามธรรมชาติ

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์ ตากแห้งทำได้โดยเทดินลงบนแผ่นพลาสติกหรือ ผ้าใยเก็ลดินให้กระจายผึ่งไว้ในที่ร่มจนแห้ง สำหรับดินที่เป็นก้อนให้ใช้ไม้ทำการทุบให้ละเอียดพอประมาณเมื่อแห้งแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันนำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำไปทดลองเป็นลำดับต่อไปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

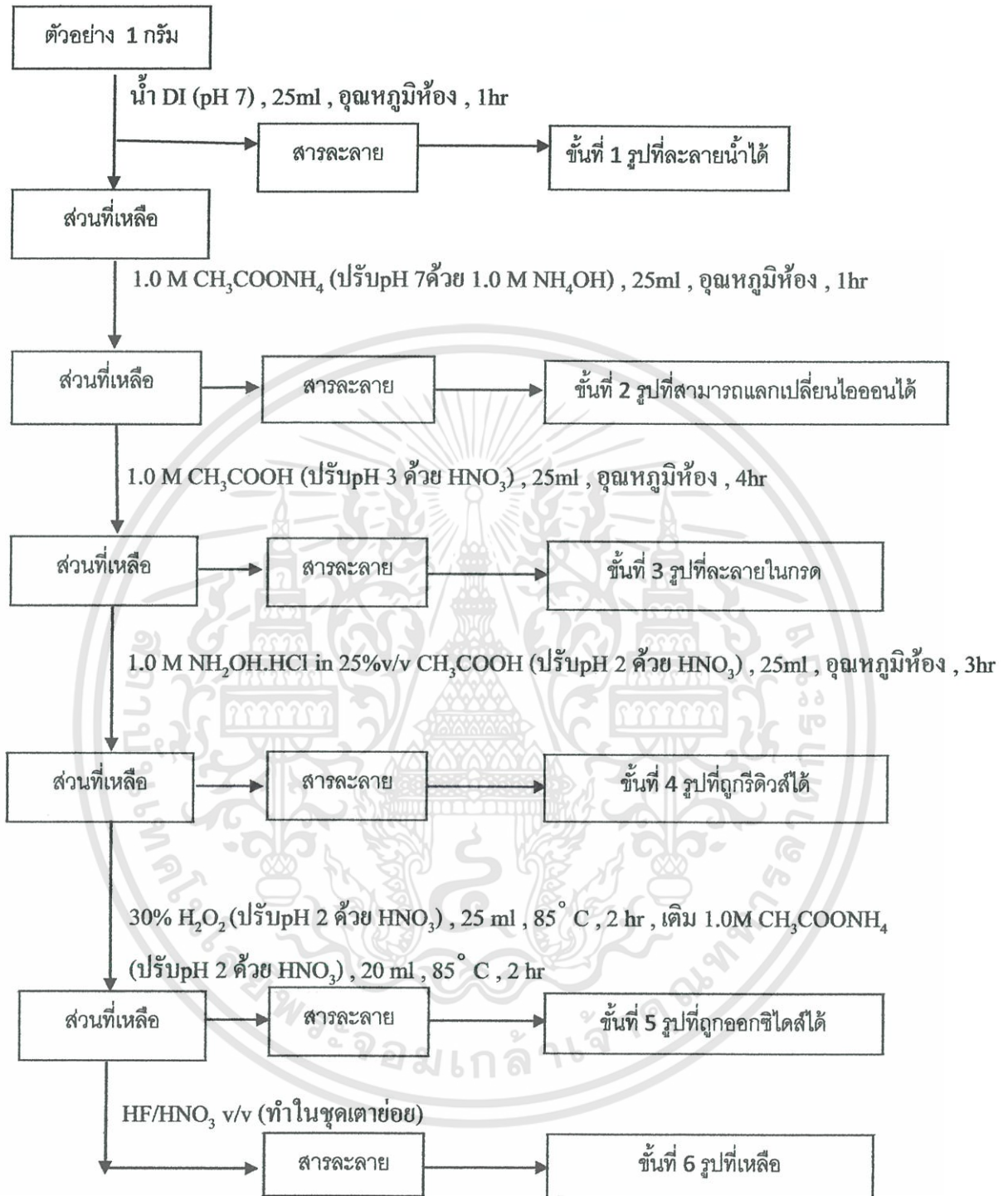
พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวโดยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีอบแห้งและกราวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ความเข้มข้นของโลหะ	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

หมายเหตุ : ดูการทดลองในภาคผนวก ก.

3.5 การสกัดแบบลำดับขั้น

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์มาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดินสังเคราะห์ซึ่งลำดับการสกัดเป็นดัง รูปที่ 3.3





รูปที่ 3.3 การสกัดโลหะรูปแบบต่างๆออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น (รัตติกาล จันทิวาสณ์, 2542)

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนของสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอ

หมายเลขของสารละลาย	สารละลายผสม
1	0.05 M Na ₂ EDTA
2	0.10 M Na ₂ EDTA
3	0.15 M Na ₂ EDTA
4	0.20 M Na ₂ EDTA
5	0.05 M Na ₂ EDTA + 0.15 M Na ₂ S ₂ O ₅
6	0.05 M Na ₂ EDTA + 0.20 M Na ₂ S ₂ O ₅
7	0.05 M Na ₂ EDTA + 0.25 M Na ₂ S ₂ O ₅
8	0.10 M Na ₂ EDTA + 0.15 M Na ₂ S ₂ O ₅
9	0.10 M Na ₂ EDTA + 0.20 M Na ₂ S ₂ O ₅
10	0.10 M Na ₂ EDTA + 0.25 M Na ₂ S ₂ O ₅
11	0.15 M Na ₂ EDTA + 0.15 M Na ₂ S ₂ O ₅
12	0.15 M Na ₂ EDTA + 0.20 M Na ₂ S ₂ O ₅
13	0.15 M Na ₂ EDTA + 0.25 M Na ₂ S ₂ O ₅
14	0.20 M Na ₂ EDTA + 0.15 M Na ₂ S ₂ O ₅
15	0.20 M Na ₂ EDTA + 0.20 M Na ₂ S ₂ O ₅
16	0.20 M Na ₂ EDTA + 0.25 M Na ₂ S ₂ O ₅

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะออกจากดินโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอิตีทีเอ

3.6.1 หาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะ



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

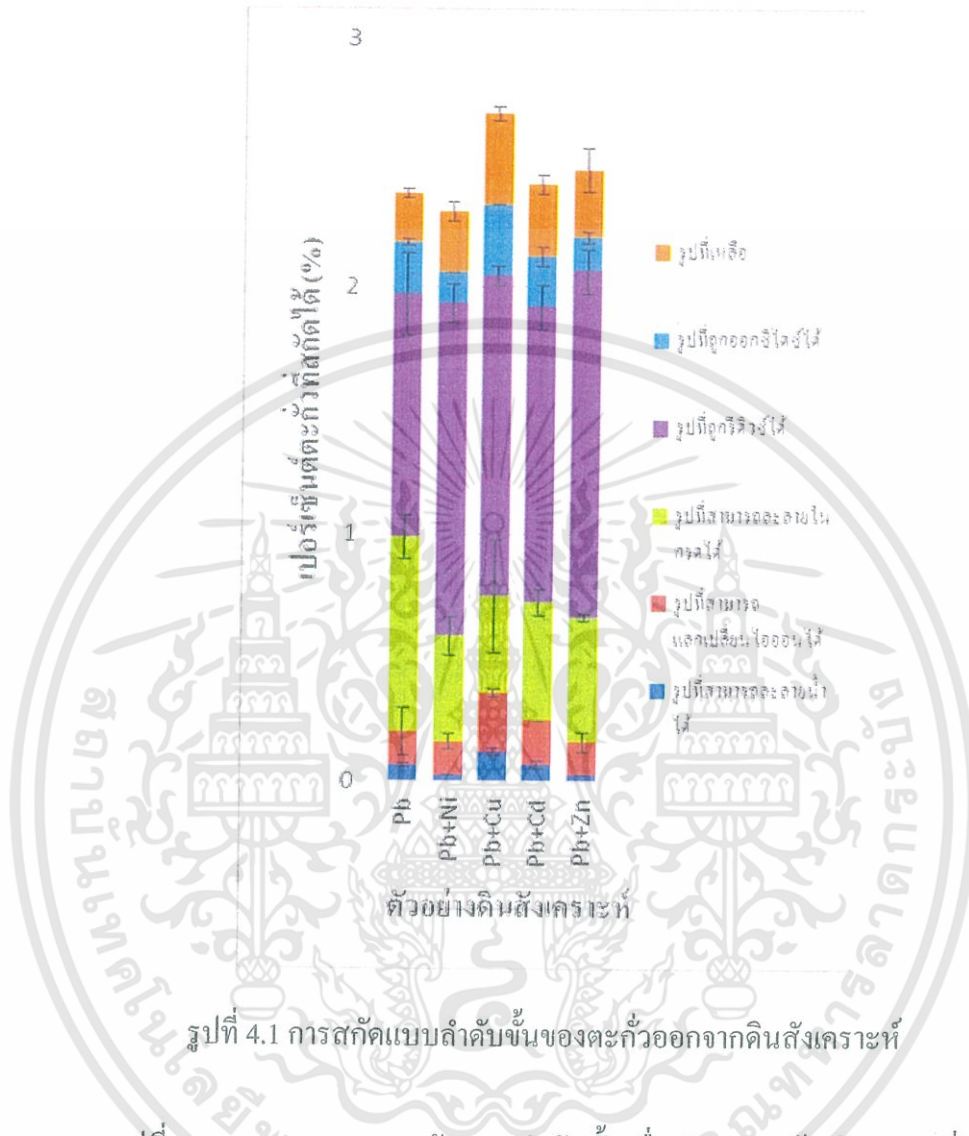
จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่า ลักษณะของดินเป็นดินเหนียวร่วนปนทราย (Sandy Clay Loam) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่างและปริมาณโลหะหนักที่พบในดินเริ่มต้น แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 (ดูเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก.) ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ดินตัวอย่าง	
pH	7.84 ± 0.01	
CEC (meq/100g)	4.50 ± 0	
% OM	0.70 ± 0.02	
% ความชื้น	2.325 ± 0.33	
การกระจายตัว	% Sand	54.68 ± 1.18
	% Silt	19.69 ± 1.18
	% Clay	26.29 ± 1.18
ลักษณะเนื้อดิน	Sandy Clay Loam	

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ โลหะหนักที่พบในดินเริ่มต้น

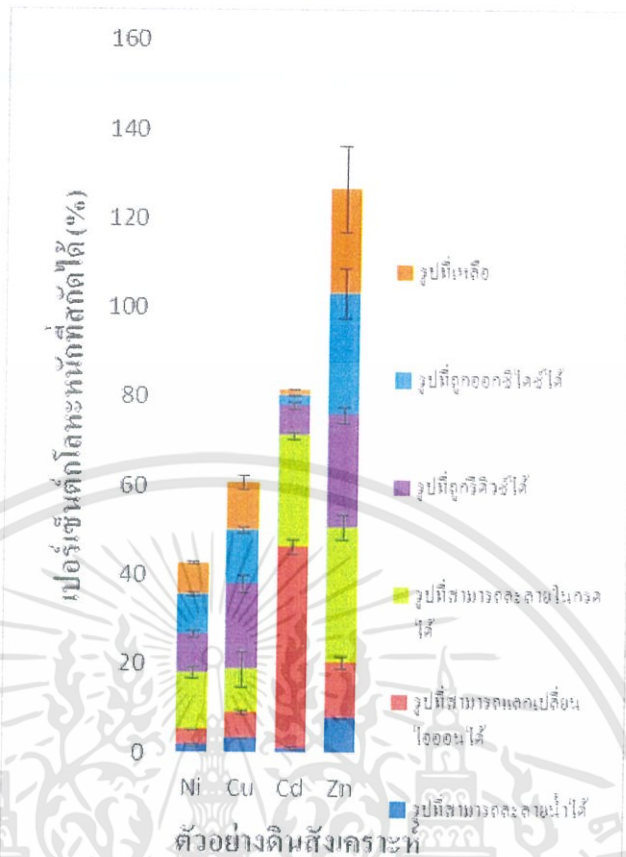
พารามิเตอร์	ปริมาณที่พบ(mg/kg)
ตะกั่ว	0.862 ± 1.054
ทองแดง	14.822 ± 0.514
นิกเกิล	17.109 ± 0.519
แคดเมียม	2.372 ± 1.660
สังกะสี	58.152 ± 0.816

4.2 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น



รูปที่ 4.1 การสกัดแบบลำดับขั้นของตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นเมื่อทำการชะล้างโลหะตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ Pb , Pb+Cu , Pb+Cd , Pb+Ni และ Pb+Zn พบว่าตะกั่วถูกสกัดออกมาในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้มากที่สุด รองลงมาจะอยู่ในรูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปที่เหลือ รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้และรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ตามลำดับ ซึ่งรูปที่สามารถละลายน้ำได้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรูปอื่นๆ แต่โดยรวมแล้วการสกัดโลหะตะกั่วออกมามีเปอร์เซ็นต์ที่น้อยมากประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์



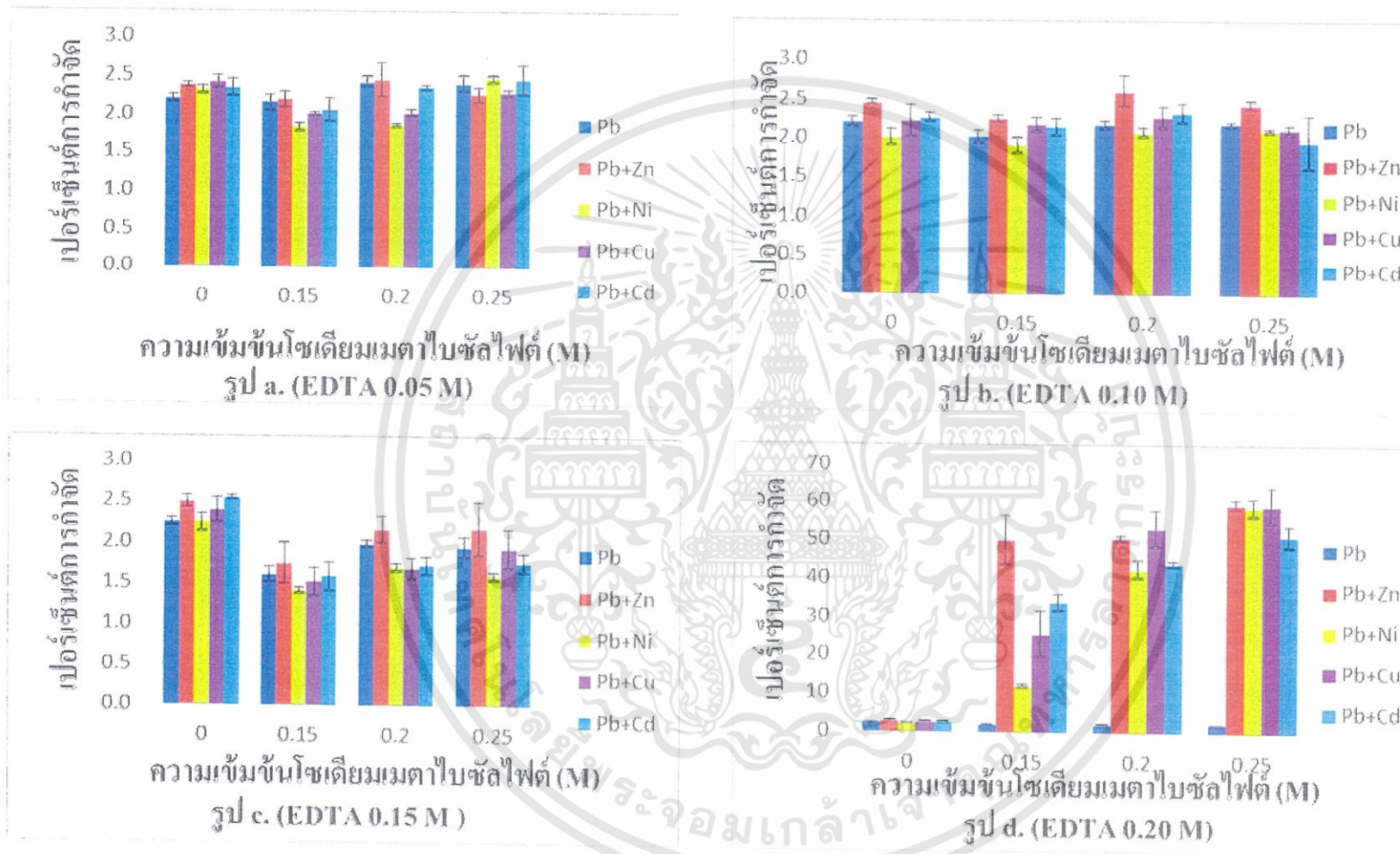
รูปที่ 4.2 การสกัดแบบลำดับขั้นของโลหะหนักชนิดอื่นนอกจากดินสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการสกัดแบบลำดับขั้นเมื่อทำการชะล้างโลหะหนัก Ni, Cu, Cd และ Zn ออกจากดินสังเคราะห์ พบว่าโลหะสังกะสีสามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 126.57 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุที่มีค่าเกิน 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากการสังเคราะห์ดินให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันทำได้ยาก จึงทำให้แต่ละบริเวณมีความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เท่ากัน โดยจะพบอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่สามารถละลายในกรดได้ รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้ รูปที่เหวี่ยงและรูปที่สามารถละลายน้ำได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ โลหะหนัก Cd นั้นจะสามารถสกัดออกมาในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากที่สุด เท่ากับ 45.18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโลหะหนัก Cu และ Ni สามารถสกัดออกมาได้ในรูปต่างๆ ใกล้เคียงกันและอยู่ในปริมาณที่ไม่มาก

4.3 การทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน โดยแปรความเข้มข้นของสารละลายผสม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอ

จากการทดสอบประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนัก โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของ สารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอีดีทีเอที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 3.2 โดยควบคุม อัตราเร็วในการเขย่าเป็น 175 rpm เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.45 μm ด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ นำสารละลายที่ได้ไป ปรับค่าพีเอชให้น้อยกว่า 2 แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะด้วยเครื่อง AAS พร้อมทั้งหา เปรอร์เซ็นต์การชะล้างโลหะหนัก เพื่อหาประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน โดยดูจาก เปรอร์เซ็นต์การชะล้างโลหะหนัก ซึ่งโลหะที่ทำการทดลองคือตะกั่ว โดยมาจากดินสังเคราะห์ Pb+Cu (100 ppm each) , Pb+Ni (100 ppm each) , Pb+Cd (100 ppm each) , Pb+Zn (100 ppm each) ผลการ ทดลองแสดงดังนี้

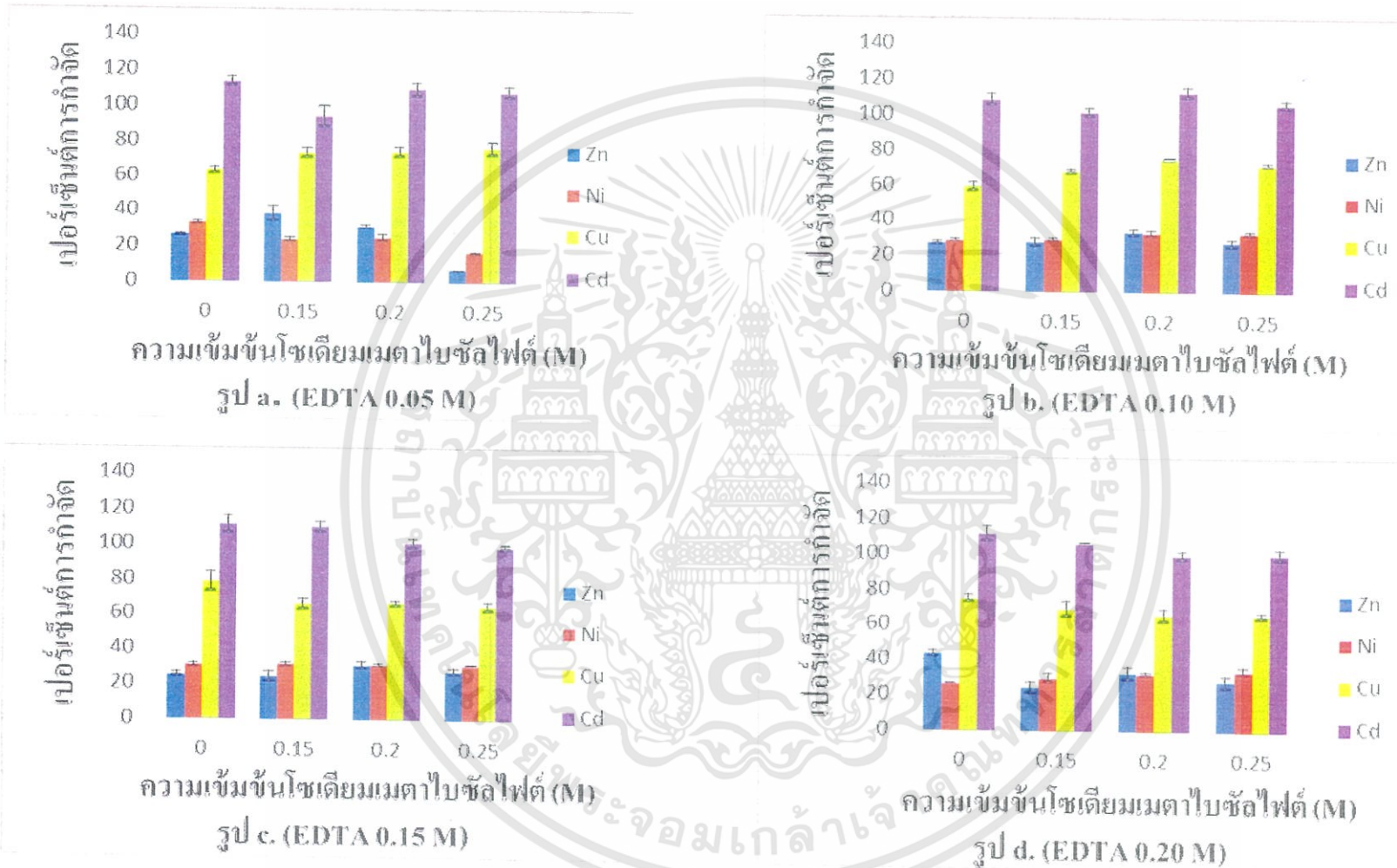




รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การชะล้างโลหะตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์เมื่อใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับ โซเดียมอีดีทีเอที่ความเข้มข้น a. 0.05 M b. 0.10 M c. 0.15 M และ d. 0.20 M ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.3 a b c เมื่อให้ความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอคองที่ที่ 0.05 M , 0.10 M และ 0.15 M ตามลำดับ และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ขึ้นเรื่อยๆพบว่า เปอร์เซ็นต์ในการชะล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ Pb+Cu , Pb+Cd , Pb+Ni , Pb+Zn และ Pb ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจากกราฟทั้ง 3 จะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ให้มากขึ้นนั้นจะไม่มีผลในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ต่างๆเท่ากับการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ(T-Test) สามารถบอกได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากรูปที่ 4.3 d เมื่อให้ความเข้มข้นของโซเดียมอีดีทีเอคองที่ที่ 0.20 M ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่สูงที่สุดในการทดลอง และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ขึ้นเรื่อยๆพบว่า เปอร์เซ็นต์ในการชะล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ Pb+Cu , Pb+Cd , Pb+Ni , Pb+Zn และ Pb มีค่าเพิ่มขึ้นเหมือนกันทุกตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Elliott and Brown, 1989 ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการสกัด Pb ที่ปนเปื้อนในดินด้วย Nitriolotriacetic acid (NTA) เปรียบเทียบกับ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) พบว่าเมื่อใช้คีเลตติ้งค์ มีค่าต่ำกว่า 0.04 M ซึ่ง EDTA สามารถทำการสกัด Pb ได้ 10-30 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า NTA ดังนั้น ถ้าต้องการกำจัด Pb ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นควรใช้ความเข้มข้น EDTA ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเช่นกัน โดยให้อัตราส่วนของ EDTA/Pb เป็น 2:1 ทำให้ Pb ถูกกำจัดออกมากกว่า 90 เปอร์เซนต์ โดยตะกั่วจากดินสังเคราะห์ Pb+Zn จะมีเปอร์เซ็นต์ในการชะล้างดีที่สุดในที่ที่ 59.43 เปอร์เซนต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เป็น 0.20 M จึงสามารถสรุปสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการชะล้างตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์ต่างๆได้คือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ 0.25 M และ โซเดียมอีดีทีเอ 0.20 M



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การชะล้าง โลหะต่างๆออกจากดินตั้งคราะห์เมื่อใช้สารละลายผสมของ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นต่างๆกับ โซเดียมอีดีทีเอที่ ความเข้มข้น a. 0.05 M b. 0.10 M c. 0.15 M และ d. 0.20 M ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 a b c และ d เมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอีดีทีเอคงที่ที่ 0.05 M , 0.10 M , 0.15 M และ 0.20 M ตามลำดับ และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ขึ้นเรื่อยๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการชะล้าง โลหะหนักจะน้อยกว่าหรือเท่ากับการใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเพียงอย่างเดียวเพราะฉะนั้นการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์จึงไม่มีผลในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการชะล้าง โลหะหนักมากนัก โดยเมื่อใช้สารละลายโซเดียมอีดีทีเอเพียงอย่างเดียวจะทำให้มีเปอร์เซ็นต์ในการชะล้าง โลหะ Cd และ Cu สูงที่สุดเท่ากับ 112.04 เปอร์เซ็นต์ และ 75.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Riyard Abumaizar Edward H.smith, 1990 ได้ทำการล้างดินเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์และโซเดียมอีดีทีเอในการกำจัดโลหะหนัก Cd , Cr , Zn , Pb ที่ปนเปื้อนในดินพบว่าในสภาวะที่เป็นกลาง Cd ออกมา ได้มากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ตามมาด้วย Zn 25-30 เปอร์เซ็นต์ , Cr 20-25 เปอร์เซ็นต์ และ Pb ได้แค่ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น โดยดินสังเคราะห์ Pb+Cd จะมีประสิทธิภาพการชะล้าง โลหะตะกั่วออกจากดินมากที่สุด เนื่องจากสัดส่วนของ โลหะที่สกัดออกมาอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยน ไอออน ได้มากกว่าโลหะชนิดอื่น โดยดูจากรูปที่ 4.2



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

เป็นดินเหนียวร่วนปนทราย เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 2.325 ± 0.33 สารอินทรีย์ในดินและค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำเท่ากับ 0.70 ± 0.02 และ 4.50 ± 0 ตามลำดับ

5.1.2 การทดสอบหาสัดส่วนต่างๆของโลหะหนักในรูปต่างๆที่อยู่ในดิน เป็นการทำการสกัดแบบลำดับขั้นหาปริมาณ โลหะหนักแต่ละส่วนที่อยู่ในดินก่อนการล้างดิน พบว่า

5.1.2.1 สำหรับโลหะตะกั่ว โลหะจะกระจายตัวอยู่ในรูปต่างๆ โดยพบในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้มากที่สุด แต่เปอร์เซ็นต์ในการสกัดโดยรวมมีค่าต่ำมาก

5.1.2.2 สำหรับโลหะอื่นๆ โดยสังกะสีจะมีเปอร์เซ็นต์การสกัดสูงที่สุด รองลงมาคือ แคดเมียม คอปเปอร์และนิกเกิล ซึ่งสังกะสีจะพบมากในรูปที่สามารถละลายในกรดได้ แคดเมียมจะพบมากในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ ส่วนคอปเปอร์และนิกเกิลพบในรูปต่างๆ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันแต่พบในรูปที่เหลือนมากที่สุด

5.1.3 การทดสอบการชะล้างโลหะหนักออกจากดิน โดยแปรความเข้มข้นสารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมอซิไธเอ

5.1.3.1 สำหรับโลหะตะกั่ว เมื่อใช้ 0.05 M , 0.10 M และ 0.15 M EDTA การเพิ่มโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ไม่มีส่วนช่วยให้การล้างตะกั่วดีขึ้น แต่เมื่อใช้ 0.20 M EDTA กลับพบว่าโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการล้างตะกั่วได้มาก ค่าสูงสุดของตะกั่วที่ล้างได้ประมาณ 60% เกิดจากการล้างด้วย 0.25 M โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และ 0.20 M EDTA

5.1.3.2 สำหรับโลหะอื่นๆ เมื่อใช้ 0.05 M , 0.10 M และ 0.15 M EDTA การเพิ่มโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักสังกะสี นิกเกิล คอปเปอร์และแคดเมียมออกจากดิน การใช้ EDTA เพียงอย่างเดียวจึงเพียงพอต่อการล้างโลหะดังกล่าวออกจากดิน โดยค่าของสังกะสี นิกเกิล คอปเปอร์และแคดเมียมที่สกัดโดยใช้ 0.20 M EDTA เพียงอย่างเดียว คือ 43.65% , 26.74% , 75.47% และ 112.04% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาในกรณีการชะมากกว่า 1 ครั้ง ต่อคืนตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักให้ดีขึ้น
2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับตัวสกัดที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ดีกว่า
3. ควรนำค่าความเข้มข้นของสารละลายผสมที่เหมาะสมจากการทดลองนี้ นำไปใช้กับดินที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากการทดลองนี้
4. ทำการศึกษาและเปรียบเทียบกับตัวสกัดตามธรรมชาติ เช่น กรดน้ำตาล กรดน้ำส้ม เป็นต้น เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสกัด และประหยัดค่าใช้จ่ายในการชะล้าง

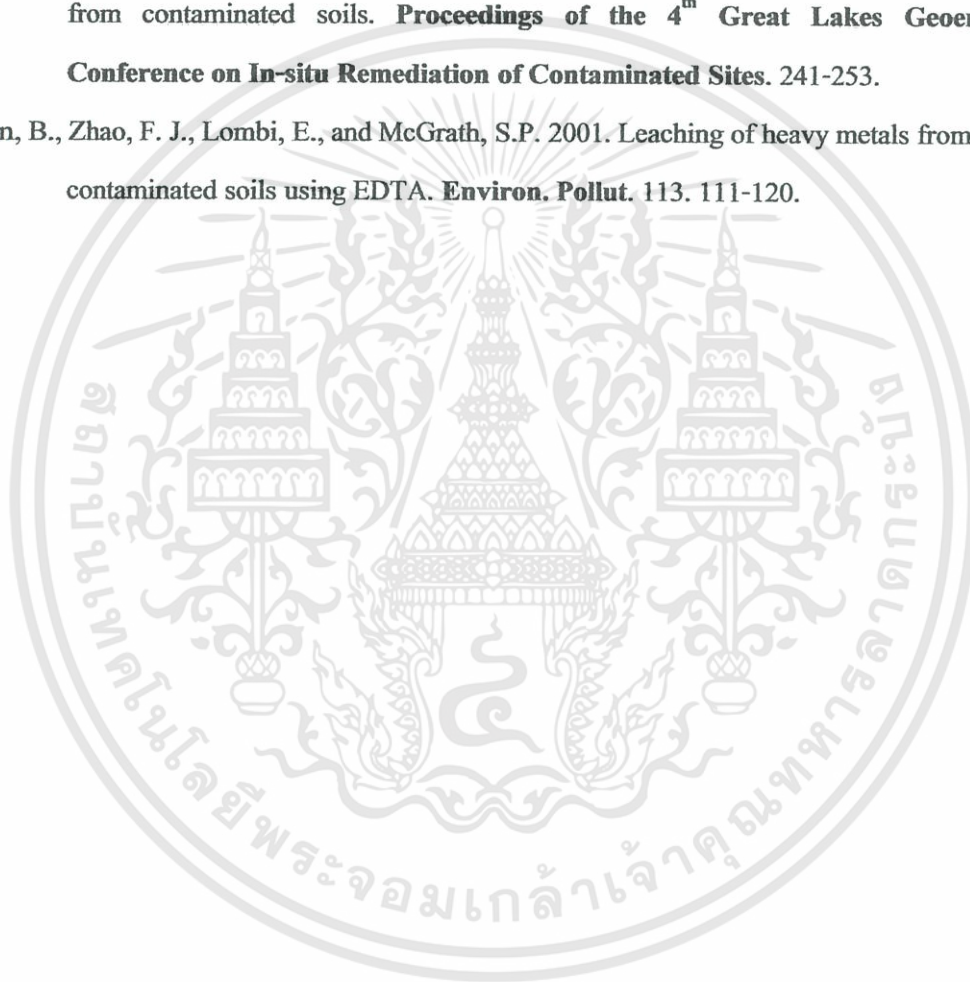


เอกสารอ้างอิง

- กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. ม.ป.ป. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2.** คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อัดสำเนา.
กรมควบคุมมลพิษ. **กระทรวงทรัพยากรสิ่งแวดล้อม. 2547. ราชกิจจานุเบกษา (ฉบับที่25).**
กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ, หน้า 172-176.
- กรมควบคุมมลพิษ. **สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. 2547. ตะกั่ว (Lead).** กรุงเทพมหานคร :
กรมควบคุมมลพิษ, หน้า 23-24.
- กรมพัฒนาที่ดิน. **สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน. 2540. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ
ปุย พีช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า (พิมพ์ครั้งที่2).**
กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาที่ดิน, หน้า 3-5.
- กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดินที่2.** กรมพัฒนา-
ที่ดิน.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ, หน้า 37-50.
- เกษมศรี ชับซ้อน. 2541. **ปฐพีวิทยา (พิมพ์ครั้งที่4).** กรุงเทพมหานคร : นานาส์สิ่งพิมพ์, หน้า 11-24.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8).** กรุงเทพมหานคร : เรื่องธรรม
การพิมพ์, หน้า 50-61.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2533. **คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8).**
กรุงเทพมหานคร : ชวนพิมพ์, หน้า 7-10.
- ถวิล ครุฑกุล. 2527. **ดินและปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูก.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 41-59
- เทียนชัย สุวรรณเวช. 2539. **เคมีของดิน. พิมพ์ครั้งที่1.** กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 28-32.
- บุญเดิม แซ่ปึง. 2536. **ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ
ต่างๆบริเวณลุ่มแม่น้ำเมย จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 4-23.**
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2532. **การวิเคราะห์รูปแบบของโลหะปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดยวิธีการ
สกัดล้างตามลำดับขั้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา บัณฑิตวิทยาลัย.
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 38-40.**

- รัตติกาล จันทิวาสน์. 2542. การปรับเสถียรภาพของโลหะมีพิษในภาคตะกอนจากโรงงานอลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, หน้า 5-12.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บริษัท แท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด, หน้า 14-26.
- บุญแสน เตียวบุญอุทธธรรม. 2548. ความชื้นในดิน. [Online]. Available : http://www.nsruc.ac.th/e-learning/soil/lesson_4_2.php สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 กันยายน 2555.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2553. นิกเกิล. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/นิกเกิล> สืบค้นข้อมูลวันที่ 6 กันยายน 2555.
- ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2553. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งมีพิษ. [Online]. Available : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=296 สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 กันยายน 2555.
- อินธิสุนทร นันทกิจ. 2544. เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer. Available : <http://www.kmitl.ac.th/~kasoil/SoilRes/Tensiometer.htm> สืบค้นข้อมูลวันที่ 26 ตุลาคม 2555.
- Abumizar, R.J. and Smith.E.H. 1999 Heavy metal contaminatants removal by soil washing. **J.Hazard.Meter.** B70: 71-86
- Chu-Shu Lee. and Ming-Muh Kao.2004. Effects of extracting and metal speciation on the removal of heavy metal contaminated soils by chemical extraction. **J. Environ.Sci.Health.** A39: 1233-1249
- Dipalma,L., Ferrantelli, P.and Pitzolu, I.2004. Experimental assessment of the operative conditions of copper extraction from the three contaminated soils. **J. Environ.Tech.** 25:673-680.
- Epstein, A.L., Gussman, C.D., Blaylock, M.J., Yermiyahu, U., Kapulnik, Y and C. Orser. 1999. EDTA and Pb-EDTA accumulation in Brassica uncea grown in PB-amended soil. **Plant and Soil.** 208: 87-94.
- Elliott, H. A. and Brown, G. A. 1989. Comparative evaluation of NTA and EDTA for extractive decontamination of Pb – polluted soils. **Water,Air and Soil Pollution.** (45): 361-369.
- Garrabrants, A. C. and Kosson, D. S. 2000. Use of a chelating agent to determine the metal availability for leaching from soil and wastes. **Waste Management.** (20): 155-165.

- Irene, M. C. and Yang, X. Y. 1999. EDTA Extraction of heavy metals from different soil fractions and synthetic soils. **Water, Air and Soil Pollution**. (109): 219-236.
- Nowack, B., Kari, F. G. and KruGer, H.G. 2001 The remobilization of heavy metals from iron oxides and sediments by metal-EDTA complexes. **Water, Air and Soil Pollution**. (125): 243-257.
- Papassiopi, N., Tambouris, S. and Kontopoulos, A.1999. Removal of Heavy Metals from Calcareous Contaminated Soils by EDTA Leaching. **J. Environ. Pollut**. 109: (1-4)1-15.
- Peters, R.W., Li, W., Miller, G. and Brewster, M.D.1989. Batch chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. **Proceedings of the 4th Great Lakes Geoenvironmental Conference on In-situ Remediation of Contaminated Sites**. 241-253.
- Sun, B., Zhao, F. J., Lombi, E., and McGrath, S.P. 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. **Environ. Pollut**. 113. 111-120.



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ดิน

ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์ ทราย ซิลต์ และโคลย์ (กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

1) เทสารละลายคัลลิกอน จำนวน 100 มล. ลงในกระบอกตวง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 ลิตร ผสมให้ทั่วด้วยแท่งคนแบบ Plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20-25°C)

2) ค่อยๆหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่ลอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

การอ่านค่าจากสารแขวนลอย

1) ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรง 10 เมช แล้ว 40 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100กรัม) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มล. เติมสารละลายคัลลิกอน 100 มล. และน้ำประมาณ 300 มล. ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

2) ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105°C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก

3) นำสารแขวนลอยดินจากข้อที่ 1 มาควนด้วยเครื่องควนแม่เหล็กประมาณ 5 นาทีแล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

4) ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่

5) จุ่มแท่งแก้วคนแบบ Plunger แบบขึ้น-ลง เบาๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้น-ลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยด ของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าผิวของสารละลายเป็นฟอง)

6) ค่อยๆหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยแล้วอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาทีหลังจากควนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

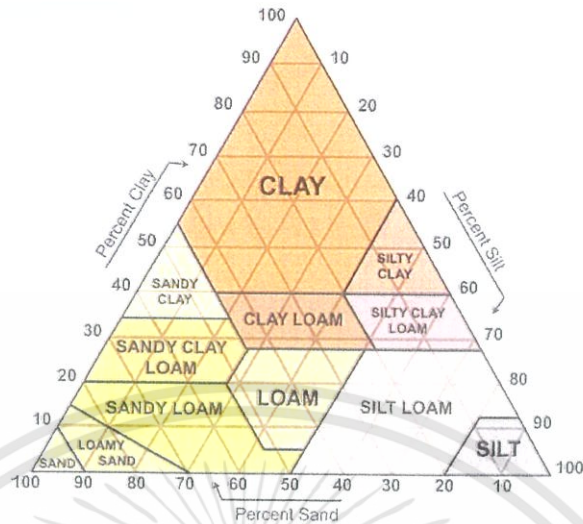
7) ค่อยๆดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ถ่างแล้วเช็ดให้แห้ง

8) เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้ง โดยทำเหมือนข้อที่ 6 และ 7

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นดินเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณ



รูปที่ ก.1 แผนภาพวิธีวิเคราะห์เนื้อดิน

$$\%Sand = \frac{(W - R) 405}{W} \times 100$$

$$\%Clay = \frac{(R_{2hr})}{W} \times 100$$

$$\%Silt = 100 - (\%Sand + \%Clay)$$

ก.2 การวัดค่าพีเอช (กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

- 1) ชั่งดินแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ 5 มล. พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
- 2) กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 3) ขณะตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการเปรียบเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามการใช้เครื่องมือเครื่องวัดพีเอช)
- 4) จุ่ม Electrode ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลา กวนโดยการหมุน Electrode เบาๆ (ระวัง Electrode กระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

ก.3 การหากรดแฝง (กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

- 1) ชั่งดิน 5-10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
- 2) เติมน้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 N และ ไทโรแทนอลามีน) ลงไป 50 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน

กรองโดยใช้กรวยแบบลดความดันและล้างดินด้วยแบริยมกลอไรด์ไทโรแทนอลามีน 2-3 ครั้ง จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 100 มล. ลงในขวดวัดปริมาตรและใช้น้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 N และ ไทโรแทนอลามีน) ปรับปริมาตร

3) เทสารละลายที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. ตีางขวดด้วยน้ำกลั่นและเทลงผสม เติมอินดิเคเตอร์ 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว

4) ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริกก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 N ต้องเตรียมใหม่

5) นำไปไทเทรตกับ HCl 0.2 N จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพูม่วง

6) ทำแบบลค์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน และไทเทรตเช่นกัน

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน} = \frac{(B - S) \times N \times 100}{X(100 - \% \text{moisture})} \text{ meq/g dry soil}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของ HCl (N)

B = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบบลค์ (มล.)

S = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มล.)

X = น้ำหนักของดิน (กรัม)

ก.4 การหาความชื้น (กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

1) ชั่งกระชกนาฬิกาที่สะอาด

2) นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระชกนาฬิกา บันทึกน้ำหนักเปียก

3) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 10 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

4) นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$

6) ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

ก.5 การหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

1) ชั่งตัวอย่างดินแห้ง 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มล. เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 N ลงไป 20 มล. ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

2) เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าๆ หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง นาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง

3) ล้างดินด้วยสารละลายแอมโมเนียมแอสซิเตท 1 N ครั้งละ 30 มล. นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใส ออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง 10 มล. ใส่ในหลอด ทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 50% อย่างละ 2-3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือ สารละลายขุ่นแสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)

4) ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลาย แอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโทปิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ครั้งละประมาณ 30 มล. โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงประมาณ 3-5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออก จนไม่มี คลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 N 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนของซิลเวอร์ คลอไรด์ แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)

5) นำสารละลายจากข้างต้นทั้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10% เพื่อ ไล่ NH_4^+ ในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มล. ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้

6) นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มล. ปรับปริมาตรจนมี ปริมาตร 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น

7) นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมา โดยเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮ ดรอกไซด์ 40% ลงไป 25 มล. ใส่ใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริก ซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

8) นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

9) กลั่น Blank และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = \frac{(A - B)N \times 100}{X} \quad (\text{มีผลคูณสมมูลต่อดิน 100 กรัม})$$

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับเบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

ก.6 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารโดยวิธี Walkley and Black (กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

- 1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
- 2) เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N ลงไป 10 มล. โดยใช้ปิเปต
- 3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ลงไป 15 มล. เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
- 4) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น
- 5) โทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยเฟอร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
- 6) จดปริมาณ โพแทสเซียมไดโครเมตและเฟอร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
- 7) ทำแบลนด์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
- 8) คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic Carbon} = \frac{(B-T) \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \times X \times 77 \times 103}$$

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟตที่โทเทรตกับแบลนด์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟตที่โทเทรตกับตัวอย่าง

ดิน

X = น้ำหนักดิน (กรัม)

$\% \text{ Organic Matter} = \text{Organic Carbon} \times 1.724$

$$\% \text{ Organic Matter} = \frac{(B-T)N \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \times X \times 77 \times 58 \times 103}$$

ก.7 การหาเปอร์เซ็นต์โลหะหนักที่ถูกกำจัด (กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์, ม.ป.ป.)

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์โลหะหนักที่ถูกกำจัด (\% Removal)} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential Extraction)

ขั้นที่ 1 Water-soluble

- 1) นำตัวอย่างดิน 1 กรัม มาผสมกับน้ำ DI 25 มล. ใส่ในขวดพลาสติก
- 2) นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใส นาน 5 นาที
- 3) นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- 4) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
- 5) นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

- 1) นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 7 ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
- 2) นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
- 3) นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- 4) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แช่ไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
- 5) ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 3 Acid soluble

- 1) นำของแข็งที่เหลือจากขั้นตอนที่ 2 มาเติม 0.11 M CH_3COOH pH 3 ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก
- 2) นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
- 3) นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- 4) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แช่ไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
- 5) ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 4 Reducible

- 1) นำของแข็งที่เหลือจากขั้นตอนที่ 3 มาเติม 0.1 M $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ pH 2 (ใน 25% v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 มล. ในขวดพลาสติก

- 2) นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
- 3) นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- 4) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แช่ไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก

ด้วยเครื่อง AAS

- 5) ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 มล. แล้วนำของแข็งที่ได้ไปทำต่อในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

- 1) นำของแข็งที่เหลือจากขั้นตอนที่ 4 มาเติม H_2O_2 30% pH 2 ปริมาตร 20 มล. ในขวดรูปชมพู่
- 2) นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 3) เติม 0.1 M CH_3COONH_4 pH 2 ปริมาตร 20 มล.
- 4) นำไปเขย่าด้วย Water bath shaker 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 °C แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 5) กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
- 6) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แช่ไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก

ด้วยเครื่อง AAS

- 7) นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 6 Residual

- 1) นำส่วนของของแข็งที่เหลือจากขั้นตอนที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C นาน 30 นาที
- 2) นำไปย่อยด้วย HF/HNO_3 ด้วยเครื่อง ไมโครเวฟจนได้สารละลายใส
- 3) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล. ด้วยน้ำ DI
- 4) เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แช่ไว้ที่ 4°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก

ด้วยเครื่อง AAS

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ ทราย ซิลต์ เคลย์

ตัวอย่าง	20 วินาที	40 วินาที	2 ชั่วโมง	%ทราย	%ซิลต์	%เคลย์
ดินตัวอย่าง 1	24	21	11	52.66	20.37	26.97
ดินตัวอย่าง 2	24	20	11	54.7	18.33	26.97
ดินตัวอย่าง 3	25	20	10	54.7	20.37	24.93
เฉลี่ย				54.68	19.69	26.29

ตารางที่ ค.2 ค่าพีเอช

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

ตารางที่ ค.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ความชื้น			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตัวอย่าง	2.56	-	2.09	2.325

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 ค่าปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

ตัวอย่าง	% Organic matter			เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตัวอย่าง	0.68	0.72	0.69	0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ค่าการชะล้างโลหะตะกั่วด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Pb	0.0044	0.0042	0.0044	0.0043	0.1955	2.2102	0.0532
0.1		0.0042	0.0044	0.0044	0.0043	0.1955	2.2102	0.0669
0.15		0.0044	0.0045	0.0044	0.0044	0.1955	2.2511	0.0443
0.2		0.0046	0.0047	0.0047	0.0047	0.1955	2.3790	0.0460
0.05 + 0.15		0.0044	0.0041	0.0041	0.0042	0.1955	2.1590	0.0987
0.05 + 0.20		0.0049	0.0048	0.0046	0.0048	0.1955	2.4302	0.0620
0.05 + 0.25		0.0048	0.0045	0.0049	0.0047	0.1955	2.4148	0.0987
0.10 + 0.15		0.0040	0.0041	0.0038	0.0040	0.1955	2.0260	0.0812
0.10 + 0.20		0.0043	0.0044	0.0042	0.0043	0.1955	2.1795	0.0460
0.10 + 0.25		0.0044	0.0043	0.0042	0.0043	0.1955	2.1897	0.0320
0.15 + 0.15		0.0030	0.0031	0.0034	0.0031	0.1955	1.6065	0.0987
0.15 + 0.20		0.0038	0.0038	0.0040	0.0039	0.1955	1.9799	0.0406
0.15 + 0.25		0.0039	0.0039	0.0035	0.0038	0.1955	1.9441	0.1152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.15	Pb	0.0042	0.0040	0.0037	0.0040	0.1955	2.0260	0.1407
0.20 + 0.20		0.0036	0.0036	0.0042	0.0038	0.1955	1.9441	0.1779
0.20 + 0.25		0.0040	0.0041	0.0041	0.0041	0.1955	2.0925	0.0320



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินตั้งเคราะห์ Pb+Zn							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Pb	0.0024	0.0023	0.0023	0.0023	0.0977	2.3841	0.0354
0.1		0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0977	2.4557	0.0307
0.15		0.0024	0.0024	0.0025	0.0024	0.0977	2.4967	0.0773
0.2		0.0027	0.0027	0.0028	0.0027	0.0977	2.7832	0.0886
0.05 + 0.15		0.0000	0.0021	0.0022	0.0021	0.0977	2.1948	0.1085
0.05 + 0.20		0.0025	0.0026	0.0022	0.0024	0.0977	2.4557	0.2214
0.05 + 0.25		0.0023	0.0021	0.0023	0.0022	0.0977	2.2613	0.0987
0.10 + 0.15		0.0022	0.0023	0.0022	0.0022	0.0977	2.2511	0.0469
0.10 + 0.20		0.0025	0.0024	0.0028	0.0026	0.0977	2.6092	0.2013
0.10 + 0.25		0.0024	0.0023	0.0024	0.0024	0.0977	2.4353	0.0469
0.15 + 0.15		0.0016	0.0016	0.0020	0.0017	0.0977	1.7395	0.2481
0.15 + 0.20		0.0021	0.0020	0.0023	0.0021	0.0977	2.1590	0.1691
0.15 + 0.25		0.0019	0.0020	0.0025	0.0021	0.0977	2.1692	0.3282
0.20 + 0.15		0.0444	0.0533	0.0000	0.0488	0.0977	49.9744	6.4250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินตั้งเคราะห์ Pb+Zn							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Pb	0.0499	0.0000	0.0490	0.0494	0.0977	50.5884	0.6946
0.20 + 0.25		0.0581	0.0569	0.0593	0.0581	0.0977	59.4290	1.2279



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Ni							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Pb	0.0022	0.0023	0.0023	0.0023	0.0977	2.3227	0.0469
0.1		0.0020	0.0020	0.0019	0.0020	0.0977	2.0158	0.0987
0.15		0.0021	0.0021	0.0023	0.0022	0.0977	2.2409	0.1063
0.2		0.0023	0.0022	0.0022	0.0022	0.0977	2.2716	0.0307
0.05 + 0.15		0.0018	0.0017	0.0018	0.0018	0.0977	1.8316	0.0469
0.05 + 0.20		0.0018	0.0000	0.0018	0.0018	0.0977	1.8572	0.0217
0.05 + 0.25		0.0025	0.0024	0.0024	0.0024	0.0977	2.4762	0.0469
0.10 + 0.15		0.0020	0.0019	0.0018	0.0019	0.0977	1.9237	0.0987
0.10 + 0.20		0.0020	0.0020	0.0021	0.0020	0.0977	2.0874	0.0532
0.10 + 0.25		0.0021	0.0020	0.0021	0.0021	0.0977	2.1078	0.0177
0.15 + 0.15		0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0977	1.4121	0.0307
0.15 + 0.20		0.0016	0.0017	0.0017	0.0017	0.0977	1.6986	0.0469
0.15 + 0.25		0.0015	0.0016	0.0016	0.0016	0.0977	1.5860	0.0469
0.20 + 0.15		0.0113	0.0120	0.0000	0.0116	0.0977	11.9104	0.5209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Ni							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Pb	0.0000	0.0401	0.0432	0.0416	0.0977	42.6072	2.2574
0.20 + 0.25		0.0000	0.0590	0.0559	0.0575	0.0977	58.8151	2.2574



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cu							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Pb	0.0023	0.0025	0.0023	0.0024	0.0977	2.4250	0.0812
0.1		0.0020	0.0023	0.0022	0.0022	0.0977	2.2204	0.2044
0.15		0.0024	0.0024	0.0022	0.0023	0.0977	2.3944	0.1595
0.2		0.0023	0.0023	0.0025	0.0024	0.0977	2.4148	0.1241
0.05 + 0.15		0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0977	2.0055	0.0177
0.05 + 0.20		0.0000	0.0020	0.0020	0.0020	0.0977	2.0260	0.0434
0.05 + 0.25		0.0022	0.0023	0.0023	0.0022	0.0977	2.2920	0.0469
0.10 + 0.15		0.0022	0.0021	0.0000	0.0021	0.0977	2.1795	0.0868
0.10 + 0.20		0.0021	0.0024	0.0022	0.0022	0.0977	2.2818	0.1384
0.10 + 0.25		0.0020	0.0021	0.0021	0.0021	0.0977	2.1181	0.0614
0.15 + 0.15		0.0016	0.0015	0.0013	0.0015	0.0977	1.5144	0.1745
0.15 + 0.20		0.0015	0.0017	0.0017	0.0016	0.0977	1.6781	0.1278
0.15 + 0.25		0.0019	0.0021	0.0017	0.0019	0.0977	1.9237	0.2304
0.20 + 0.15		0.0218	0.0319	0.0214	0.0250	0.0977	25.6216	6.1016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cu							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Pb	0.0550	0.0545	0.0466	0.0520	0.0977	53.2078	4.8269
0.20 + 0.25		0.0547	0.0000	0.0612	0.0580	0.0977	59.3063	4.6885



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cd							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Pb	0.0024	0.0023	0.0022	0.0023	0.0977	2.3534	0.1078
0.1		0.0022	0.0023	0.0022	0.0022	0.0977	2.2716	0.0532
0.15		0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0977	2.5478	0.0307
0.2		0.0025	0.0024	0.0026	0.0025	0.0977	2.5478	0.1228
0.05 + 0.15		0.0019	0.0022	0.0020	0.0020	0.0977	2.0669	0.1545
0.05 + 0.20		0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0977	2.3637	0.0307
0.05 + 0.25		0.0022	0.0026	0.0024	0.0024	0.0977	2.4660	0.1850
0.10 + 0.15		0.0020	0.0022	0.0020	0.0021	0.0977	2.1488	0.1063
0.10 + 0.20		0.0022	0.0024	0.0023	0.0023	0.0977	2.3330	0.1228
0.10 + 0.25		0.0021	0.0022	0.0016	0.0019	0.0977	1.9748	0.3311
0.15 + 0.15		0.0015	0.0017	0.0014	0.0016	0.0977	1.5860	0.1745
0.15 + 0.20		0.0017	0.0018	0.0016	0.0017	0.0977	1.7190	0.1107
0.15 + 0.25		0.0018	0.0016	0.0017	0.0017	0.0977	1.7497	0.1107
0.20 + 0.15		0.0317	0.0346	0.0000	0.0331	0.0977	33.8893	2.0838

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cd							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Pb	0.0000	0.0425	0.0434	0.0430	0.0977	43.9578	0.6946
0.20 + 0.25		0.0000	0.0518	0.0480	0.0499	0.0977	51.0795	2.7784



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ค่าการชะล้างโลหะอื่นๆด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Zn							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Zn	0.0259	0.0269	0.0259	0.0262	0.0977	26.8290	0.5857
0.1		0.0277	0.0268	0.0262	0.0269	0.0977	27.5043	0.7693
0.15		0.0261	0.0241	0.0247	0.0250	0.0977	25.5398	1.0473
0.2		0.0437	0.0417	0.0000	0.0427	0.0977	43.6509	1.4326
0.05 + 0.15		0.0000	0.0350	0.0406	0.0378	0.0977	38.7010	4.0670
0.05 + 0.20		0.0308	0.0313	0.0306	0.0309	0.0977	31.6177	0.3834
0.05 + 0.25		0.0072	0.0071	0.0000	0.0072	0.0977	7.3365	0.0434
0.10 + 0.15		0.0274	0.0300	0.0259	0.0278	0.0977	28.3946	2.1007
0.10 + 0.20		0.0325	0.0316	0.0348	0.0330	0.0977	33.7358	1.7113
0.10 + 0.25		0.0279	0.0251	0.0290	0.0273	0.0977	27.9648	2.0434
0.15 + 0.15		0.0215	0.0238	0.0268	0.0240	0.0977	24.5779	2.7417
0.15 + 0.20		0.0326	0.0296	0.0294	0.0305	0.0977	31.2494	1.8101
0.15 + 0.25		0.0257	0.0274	0.0285	0.0272	0.0977	27.8420	1.4336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Zn							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.15	Zn	0.0000	0.0218	0.0258	0.0238	0.0977	24.3534	2.8500
0.20 + 0.20		0.0345	0.0000	0.0295	0.0320	0.0977	32.7440	3.6091
0.20 + 0.25		0.0254	0.0298	0.0000	0.0276	0.0977	28.2417	3.1944



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินตั้งเคราะห์ Pb+Ni							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Ni	0.0324	0.0333	0.0317	0.0325	0.0977	33.2242	0.8464
0.1		0.0286	0.0286	0.0276	0.0283	0.0977	28.9471	0.5849
0.15		0.0287	0.0301	0.0311	0.0300	0.0977	30.6457	1.2523
0.2		0.0275	0.0247	0.0000	0.0261	0.0977	26.7369	0.0665
0.05 + 0.15		0.0239	0.0220	0.0246	0.0235	0.0977	24.0458	1.3622
0.05 + 0.20		0.0263	0.0000	0.0233	0.0248	0.0977	25.3402	2.1489
0.05 + 0.25		0.0000	0.0156	0.0168	0.0162	0.0977	16.5763	0.8682
0.10 + 0.15		0.0294	0.0287	0.0292	0.0291	0.0977	29.7554	0.4053
0.10 + 0.20		0.0305	0.0331	0.0336	0.0324	0.0977	33.1423	1.7081
0.10 + 0.25		0.0319	0.0336	0.0327	0.0327	0.0977	33.4595	0.8753
0.15 + 0.15		0.0000	0.0298	0.0314	0.0306	0.0977	31.2801	1.1721
0.15 + 0.20		0.0297	0.0309	0.0309	0.0305	0.0977	31.2064	0.7125
0.15 + 0.25		0.0302	0.0296	0.0302	0.0300	0.0977	30.6866	0.3662
0.20 + 0.15		0.0267	0.0298	0.0314	0.0293	0.0977	29.9908	2.4819

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Ni							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Ni	0.0303	0.0325	0.0316	0.0314	0.0977	32.1703	1.1283
0.20 + 0.25		0.0332	0.0355	0.0317	0.0335	0.0977	34.2474	1.9171



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cu							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Cu	0.0629	0.0611	0.0000	0.0620	0.0977	63.3889	1.3024
0.1		0.0564	0.0579	0.0609	0.0584	0.0977	59.7565	2.3445
0.15		0.0754	0.0830	0.0732	0.0772	0.0977	78.9931	5.2917
0.2		0.0732	0.0722	0.0758	0.0738	0.0977	75.4732	1.9075
0.05 + 0.15		0.0725	0.0694	0.0744	0.0719	0.0977	73.5496	2.6028
0.05 + 0.20		0.0000	0.0708	0.0744	0.0726	0.0977	74.2863	2.6047
0.05 + 0.25		0.0718	0.0746	0.0778	0.0747	0.0977	76.4555	3.0705
0.10 + 0.15		0.0665	0.0677	0.0000	0.0671	0.0977	68.6381	0.8682
0.10 + 0.20		0.0000	0.0732	0.0737	0.0734	0.0977	75.1458	0.3473
0.10 + 0.25		0.0701	0.0713	0.0708	0.0707	0.0977	72.3626	0.6180
0.15 + 0.15		0.0631	0.0682	0.0638	0.0650	0.0977	66.5507	2.7892
0.15 + 0.20		0.0667	0.0650	0.0646	0.0654	0.0977	66.9600	1.1605
0.15 + 0.25		0.0650	0.0650	0.0614	0.0638	0.0977	65.3228	2.1267
0.20 + 0.15		0.0650	0.0725	0.0662	0.0679	0.0977	69.4976	4.0872

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cu							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย	เริ่มต้น	%removal	SD
		1	2	3	(mg/kg)	(mg/kg)		
0.20 + 0.20	Cu	0.0612	0.0660	0.0670	0.0647	0.0977	66.2233	3.1576
0.20 + 0.25		0.0655	0.0638	0.0000	0.0647	0.0977	66.1823	1.2155



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cd							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.05	Cd	0.1129	0.1094	0.0000	0.1112	0.0977	113.7624	2.5179
0.1		0.1085	0.1079	0.1030	0.1065	0.0977	108.9532	3.0846
0.15		0.1132	0.1041	0.1102	0.1092	0.0977	111.6955	4.7493
0.2		0.1123	0.0000	0.1067	0.1095	0.0977	112.0434	3.9939
0.05 + 0.15		0.0886	0.0000	0.0958	0.0922	0.0977	94.3313	5.2528
0.05 + 0.20		0.1115	0.1046	0.1054	0.1072	0.0977	109.6695	3.8811
0.05 + 0.25		0.1037	0.0000	0.1079	0.1058	0.0977	108.2370	3.0388
0.10 + 0.15		0.0000	0.0981	0.1010	0.0996	0.0977	101.8827	2.1272
0.10 + 0.20		0.1122	0.1118	0.1073	0.1105	0.0977	113.0257	2.7709
0.10 + 0.25		0.1025	0.1051	0.0000	0.1038	0.0977	106.1803	1.8667
0.15 + 0.15		0.0000	0.1060	0.1099	0.1079	0.0977	110.4472	2.7784
0.15 + 0.20		0.0991	0.0961	0.1012	0.0988	0.0977	101.0744	2.6266
0.15 + 0.25		0.0000	0.0958	0.0979	0.0968	0.0977	99.0893	1.4760
0.20 + 0.15		0.1039	0.0000	0.1042	0.1041	0.0977	106.4873	0.2171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น EDTA(M) + Na ₂ S ₂ O ₅ (M)	ดินสังเคราะห์ Pb+Cd							
	โลหะ	ปริมาณ			เฉลี่ย (mg/kg)	เริ่มต้น (mg/kg)	%removal	SD
		1	2	3				
0.20 + 0.20	Cd	0.0000	0.0963	0.0991	0.0977	0.0977	99.9795	2.0404
0.20 + 0.25		0.1007	0.0951	0.0994	0.0984	0.0977	100.6856	3.0083



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้