สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในดินทรายและดินเหนียว

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE FORM OF METAL CONTAMINATED IN THE SANDY AND CLAY SOIL

T117205

นางสาวจิราภรณ์ อินทร์มั่น
นายจิรายุ อุดมเจริญทรัพย์
นายชุติภาส นาคกระแสร์

เลขหมู่
เลขทะเบียน 117205
วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2554

b 12341551
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE EXTRACTION OF METAL CONTAMINATED IN THE SANDY AND CLAY SOIL

CHIRAPORN INMAN

JIRAYU UDOMCHAROENSUB

CHUTIPAS NAKKRASAE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในดินทรายและดินเหนียว

นางสาวจิราภรณ์ อินทร์มั่น

นายจิรายุ อุดมเจริญทรัพย์

นายชุติภาส นาคกระแสร์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในดินทรายและดินเหนียว

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE FORM OF METAL CONTAMINATED IN THE SANDY AND CLAY SOIL

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิราภรณ์ อินทร์มั่น 50050428

นายจิรายุ อุดมเจริญทรัพย์ 50050429

นายชุติภาส นาคกระแสร์ 50050438

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในดินทรายและดินเหนียว	
ชื่อนักศึกษา	นางสาว จิราภรณ์	อินทร์มั่น
	นาย จิรายุ	อุดมเจริญทรัพย์
	นาย ชุติภาส	นาคกระแสร์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2553	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์	

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบดินทรายและดินเหนียวที่มีต่อความชื้นในดิน และประสิทธิภาพในการสกัดโลหะออกจากดิน ซึ่งประสิทธิภาพในการสกัดดินจะประเมินโดยใช้วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น ในการศึกษาครั้งนี้ Cd, Pb, Cu, Zn, Cr และ Ni จะถูกเติมลงในดินทั้ง 2 ชนิด ในความเข้มข้น 0.3, 550, 350, 140, 295 และ 270 mg/Kg ตามลำดับ หลังจากนั้นจะนำดินทั้ง 2 ชนิด ไปอบที่อุณหภูมิ 60 ºC, 80 ºC และ 100 ºC เวลาที่ใช้อบคือ 1 ช.ม, 6 ช.ม, 12 ช.ม และ 24 ช.ม หลังจากอบแล้วจะนำดินไปสกัดโลหะหนักออกโดยใช้วิธีสกัดแบบลำดับขั้น สำหรับดินเหนียว Cu จะถูกสกัดออกมาได้ดีที่สุดหลังจากอบดินที่ 60 ºC แต่โลหะชนิดอื่นๆจะถูกสกัดออกได้ดีที่สุด หลังจากอบดินที่ 80 ºC สำหรับดินทราย Cu และ Ni จะถูกสกัดออกมาได้มากที่สุด หลังจากอบที่ 60 ºC แต่โลหะชนิดอื่นๆจะถูกสกัดออกได้ดีที่สุดหลังจากอบที่ 80 ºC เวลาในการอบดินที่ต่างกัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดโลหะออกจากดินต่างกันไม่มากนัก หลังจากอบดินที่ทุกอุณหภูมิจะพบว่าค่าความชื้นเหลือในดินเพียงเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 0-0.003% เท่านั้น ดังนั้นอิทธิพลของความชื้นของดินที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัดโลหะออกจากดินจึงไม่อาจสังเกตได้ชัดเจนนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การสกัดแบบลำดับขั้น, ความชื้นในดิน, โลหะหนัก, ดินทราย, ดินเหนียว

Title	Effect of Temperature on the Form of Metal Contaminated in the sandy and Clay Soil
Students	Ms. Chiraporn Inman
	Mr. Jirayu Udomcharoensub
	Mr. Chutipas Nakkrasae
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2010
Advisor	Assist. Prof. Dr. Chompoonut Chaiyaraksa

ABSTRACT

The aim of this special project was to study the effect of incubated temperature and time to the soil moisture and to the metal extracted efficiency from sandy and clay soil. The sequential extraction was used to evaluate the extracted efficiency. In this study, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr and Ni were added to both soils in the concentration of 0.3, 550, 350, 140, 295 and 270 mg/Kg, respectively. Both soils were then incubated at the temperature of 60 ºC, 80 ºC and 100 ºC. The incubated times were 1hr, 6hr, 12hr and 24hr. After incubation, metals in soil were extracted by sequential extraction. For clay soil, Cu was extracted most after incubation at 60 ºC but others were extracted most after incubation at 80 ºC. For sandy soil, Cu and Ni were extracted most after incubation at 60 ºC but others were axtracted most after incubation at 80 ºC. The incubated time give only little effect to the metal extracted efficiency. The soil moisture was found to be in the range of 0-0.003% after incubation at every temperatures. Thus, the effect of soil moisture to the metal extracted efficiency could not be observed in this experiment.

Keywords : Sequential Extraction, Soil Moisture, Heavy Metal, Sandy Soil, Clay Soil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ อาจารย์คณะกรรมการคุมสอบโครงงานพิเศษ และอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชามาตลอดทั้ง 4 ปี ทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวจิราภรณ์ อินทร์มั่น

นายจิรายุ อุดมเจริญทรัพย์

นายชุติภาส นาคกระแสร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XII
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 (Soil pollution)	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	7
2.8 โครเมียม	8
2.9 แคดเมียม	10
2.10 นิกเกิล	12
2.11 สมบัติของดิน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11.1 สมบัติทางกายภาพ 13

2.11.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ 13

2.11.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (soil porosity) 13

2.11.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ(adsorption) และการดูดซึม (adsorption) 14

2.11.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน 15

2.11.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ 15

2.11.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน 16

2.11.2 สมบัติทางเคมี 17

2.11.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) 17

2.11.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน

(cation exchange capacity ,CEC) 17

2.12 ความชื้นในดิน 20

2.12.1 ประเภทของความชื้นในดิน 21

2.13 แรงดูดยึดความชื้นของดิน 22

2.14 สภาพของน้ำในดิน 24

2.15 ปริมาณความต้องการน้ำของพืช 26

2.16 เครื่องวัดความชื้นในดิน 27

2.16.1 เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) 27

2.16.2 แท่งวัดความชื้น (Moisture block) 29

2.16.3 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron moisture gauge) 29

2.17 การสูญเสียความชื้นของดิน 30

2.17.1 น้ำไหลบ่า (runoff) 30

2.17.2 การระเหยน้ำจากดิน (evaporation from soil) 30

2.17.3 การระเหยน้ำจากพืช (transpiration by plants) 31

2.17.4 การซาบซึมลงลึก (deep percolation) 31

2.18 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น(Sequential extraction) 32

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	36
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	36
3.1.1 อุปกรณ์	36
3.1.2 สารเคมี	36
3.2 แหล่งที่มาของดิน	37
3.3 การสังเคราะห์ดิน	38
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	38
3.5 การทำการทดลอง	39
3.6 การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	41
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	41
4.2 ผลการศึกษาการสกัดโลหะหนักในดินโดยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) ที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน	44
4.2.1 การสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์	44
4.2.2 การสกัดแคดเมียมออกจากดินสังเคราะห์	46
4.2.3 การสกัดสังกะสีออกจากดินสังเคราะห์	48
4.2.4 การสกัดนิกเกิลออกจากดินสังเคราะห์	50
4.2.5 การสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์	52
4.2.6 การสกัดโครเมียมออกจากดินสังเคราะห์	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการวิจัย	
5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินสองชนิด	56
5.1.2 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักรูปต่างๆในดินโดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก ก	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข 66

ภาคผนวก ค 68

ภาคผนวก ง 91

ภาคผนวก จ 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ 13

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม 16

ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆ และในอินทรียวัตถุ 19

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุกับค่า CEC 19

ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน 19

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดิน 25

ตารางที่ 2.7 ปริมาณความต้องการน้ำของพืชตลอดฤดูปลูก 26

ตารางที่ 2.8 ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์ 29

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 38

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 41

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดิน 43

ตารางที่ ค - 1 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง 68

ตารางที่ ค – 2 การกระจายตัวของอนุภาคดิน 68

ตารางที่ ค – 3 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง (OM) 68

ตารางที่ ค – 4 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) 68

ตารางที่ ค – 5 ปริมาณความชื้น 69

ตารางที่ ค – 6 ปริมาณโลหะที่เติมลงในดิน 69

ตารางที่ ค – 7 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น 70

ตารางที่ ค – 8 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น 71

ตารางที่ ค – 9 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น 73

ตารางที่ ค – 10 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น 74

ตารางที่ ค – 11 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น 76

ตารางที่ ค – 12 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น 77

ตารางที่ ค – 13 ปริมาณโลหะทองแดงในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น 79

ตารางที่ ค – 14 ปริมาณโลหะทองแดงในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น 80

ตารางที่ ค – 15 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ค – 16 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	83
ตารางที่ ค – 17 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	85
ตารางที่ ค – 18 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	86
ตารางที่ ค – 19 ปริมาณโลหะหนักในดินก่อนการสังเคราะห์	88
ตารางที่ ค – 20 ปริมาณความชื้นหลังอบ	88
ตารางที่ ค – 21 ปริมาณสารประกอบในดินโดยเทคนิค XRF	89
ตารางที่ จ – 1 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	95
ตารางที่ จ – 2 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	96
ตารางที่ จ – 3 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	96
ตารางที่ จ – 4 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	97
ตารางที่ จ – 5 ปริมาณโลหะทองแดงในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	97
ตารางที่ จ – 6 ปริมาณโลหะทองแดงในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	98
ตารางที่ จ – 7 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	98
ตารางที่ จ – 8 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	99
ตารางที่ จ – 9 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	99
ตารางที่ จ – 10 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	100
ตารางที่ จ – 11 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น	100
ตารางที่ จ – 12 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 สภาพการดูดซับและดูดซึม 15

รูปที่ 2.2โมเลกุลของน้ำ 20

รูปที่ 2.3 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ 23

รูปที่ 2.4 สภาพของน้ำในดิน 26

รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของเทนซิโอมิเตอร์และรูปขยายกระเปาะดินเผา
เมื่อสัมผัสอยู่กับอนุภาคดิน โดยมีฟิล์มน้ำเป็นตัวเชื่อม 28

รูปที่ 2.6 การติดตั้งก้อนความต้านทานเพื่อวัดความชื้นของดินในเขตราก 30

รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดิน 37

รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน 37

รูปที่ 3.3 การสกัดโลหะรูปแบบต่างๆออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น 40

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคดิน ของดินตัวอย่างนครราชสีมา 42

รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคดิน ของดินตัวอย่างสมุทรปราการ 42

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 44

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 45

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของแคดเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 46

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของแคดเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 47

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 49

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของนิกเกิลที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 50

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของนิกเกิลที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 51

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 52

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 53

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว 54

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้น
เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย 55

รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

AAS	อะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทร โฟโตมิเตอร์
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก
cm	เซนติเมตร
DI	น้ำปราศจากไอออน
D_b	ความหนาแน่นรวม
g	กรัม
h	ชั่วโมง
kg	กิโลกรัม
meq	มิลลิอิควิวาเลนซ์
M	โมลาร์
mL	มิลลิลิตร
mg	มิลลิกรัม
mmol	มิลลิโมล
OM	อินทรียวัตถุ
pH	พีเอช หรือ ระดับความเป็นกรดด่าง
rpm	รอบต่อนาที
μ	ไมครอน
XRF	เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปคโตรเมตรี
CH_3COONH_4	แอมโมเนียมอะซิเตต
NH_4OH	แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
$NH_2OH{\cdot}HCl$	ไฮดรอกซิลแอมีนไฮโดรคลอไรด์
H_2O_2	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
HF	กรดไฮโดรฟูโอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ดินมีความสำคัญ ตั้งแต่โบราณกาลได้มีการใช้เป็นแหล่งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่อยู่อาศัย และยารักษาโรค และดินยังต้องเป็นแหล่งรองรับสิ่งปฏิกูลของเทคโนโลยี ไม่ว่าจะโดยตั้งใจหรือไม่ก็ตาม ดินนับเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ทั้งจากการเกษตร และอุตสาหกรรม นอกจากนั้นดินยังได้รับผลข้างเคียงจากการใช้สารเคมีในการเกษตรอีกด้วย โดยผลกระทบในการใช้ประโยชน์จากดินในสภาพปัจจุบัน ไม่เพียงแต่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินเพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณภาพน้ำ และคุณภาพอากาศ อันเป็นพื้นฐานสำคัญของคุณภาพชีวิต (จำเป็น, 2550)

สารที่ปนเปื้อนในดินแล้วส่งผลกระทบให้เป็นพิษต่อดินมีหลายชนิด และสารที่พบอัตราการปนเปื้อนสูงคือโลหะหนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน โลหะหนักเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและพบทั่วไปในดินทุกชนิด แต่ความเข้มข้นจะต่างกันไปตามวัตถุต้นกำเนิดดิน นอกจากนั้นโลหะหนักในดินอาจได้มาจากวัสดุหรือสารต่างๆที่ใส่ลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก สารกำจัดศัตรูพืช วัสดุปรับปรุงดินและวัสดุเหลือใช้ที่ใส่เพื่อปรับปรุงดินรวมทั้งสารที่ปะปนอยู่ในบรรยากาศอีกด้วย ชนิดของโลหะที่พบปนเปื้อนภายในดินและค่ามาตรฐานที่ยอมรับของประเทศไทยมีดังนี้ คือสารหนู (As),โคบอลต์ (Co), แคดเมียม (Cd),โครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), ปรอท (Hg), นิกเกิล (Ni), ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ปริมาณ 30, 0.15, 20, 80, 45, 0.10, 45, 55 และ 70 มก. /กก. ตามลำดับ (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน, 2547) โดยถ้าโลหะหนักมีความเข้มข้นในดินสูงก็อาจจะเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ พืช หรือสิ่งมีชีวิตในดิน นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิดก็ยังส่งผลให้ดินมีสภาพเป็นกัมมันตรังสี ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การวิเคราะห์โลหะมีความสำคัญ แต่ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะต้องทำการอบดินให้แห้งก่อน เมื่อดินแห้งอาจจะส่งผลให้โลหะยึดติดกับดินแน่นขึ้นทำให้ไม่สามารถสกัดโลหะออกมาจากดินได้หมด ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะแปรผันเวลาและอุณหภูมิในการอบดิน เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้อบดินที่มีต่อความยากง่ายในการสกัดโลหะออกจากดินเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบที่มีต่อค่าความชื้นและปริมาณของโลหะหนักในรูปต่างๆที่สามารถสกัดได้ในดินทรายและดินเหนียว

2. ศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการสกัดโลหะหนักออกจากดินทรายและดินเหนียว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินทรายและดินเหนียวอันได้แก่ ความชื้น สี พีเอช CEC ปริมาณอินทรียสาร การกระจายตัวของอนุภาค ปริมาณเหล็กออกไซด์ ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ และปริมาณแมงกานีสออกไซด์

2. ศึกษาปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โครเมียม แคดเมียม และนิกเกิล) รูปแบบต่าง ๆ ในดินก่อนอบโดยทำการสกัดแบบลำดับขั้น

3. แปรผันค่าอุณหภูมิในการอบดินดังนี้คือ 60° C , 80° C และ 100° C และแปรค่าเวลาในการอบดินดังนี้ 1, 6, 12, และ 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าความชื้นหลังการอบ

4. สกัดโลหะออกจากดินด้วยวิธีสกัดแบบลำดับขั้น

5. จากผลการทดลองข้างต้น ศึกษาประสิทธิภาพในการสกัดโลหะสูงสุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสกัดโลหะหนักออกจากดินทรายและดินเหนียวในห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการสกัดโลหะหนักออกจากดินชนิดอื่นๆต่อไป

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดินตามธรรมชาติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาวะมลพิษของดิน (Soil pollution)

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

ตัวการที่ทำให้เกิดดินเสียแบ่งได้ 2 ประการคือ

1. เสียโดยกำเนิด เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว โดยกำเนิด เป็นต้น
2. เสียโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจาก อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร ยากำจัดศัตรูพืช ธาตุพิษ และธาตุโลหะหนักและสารกัมมันตรังสี การกร่อนดิน (soil erosion) เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)

2.2 ธาตุพิษในดิน

ธาตุพิษ (toxic elements) โดยทั่วไปหมายถึง โลหะหนักและธาตุอื่นซึ่งเป็นสารมลพิษในดิน ธาตุพิษเหล่านี้ปนเปื้อนในดินเนื่องจากมีการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบและเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆแล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อม

ธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในดินอาจอยู่ในรูปต่างๆดังต่อไปนี้

1. ละลายในสารละลายดิน (soluble form)
2. ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน (adsorbed form)
3. ตกตะกอนหรือตกตะกอนร่วมกับสารอื่น (precipitated form)
4. ถูกตรึงและจับกันสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน (fixed, occluded form)
5. เปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพ (organic form)

ธาตุโลหะในรูปที่หนึ่งและสอง จัดเป็นรูปที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในดิน สามารถถูกนำไปใช้ได้ ส่วนสามรูปหลังเป็นรูปที่ไม่เคลื่อนที่ (immobile) แต่เนื่องจากกระบวนการในดินมีลักษณะเป็นพลวัต (dynamic) จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงธาตุที่ปนเปื้อนในดินให้อยู่ในรูปต่างๆ ที่กล่าวได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวก คือ

1. มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว ได้แก่ สารมลพิษซึ่งค้างอยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน และมีพืชที่สามารถทนต่อมลพิษนี้ได้ในปริมาณที่จำกัด ได้แก่ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ซึ่งธาตุเหล่านี้ถ้ามีอยู่ในดินในปริมาณมากพืชจะไม่สามารถใช้และเก็บสะสมได้มาก ดังนั้นในปีแรก ๆ ที่ดินได้รับมลพิษเหล่านี้จึงอาจมองเห็นปัญหาได้ไม่ชัดเจนเพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณที่น้อย

2. มลสารที่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะสั้น ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถดูดซึมได้ทันทีและดูดซึมได้ในปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ โบรอน แคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี

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

2.3 โลหะหนัก

2.3.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก (บุญเติม, 2536)

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่สถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาวเหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โลหะหนักที่มีบทบาทต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม สารหนู โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร โลหะหนักเหล่านี้จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมโดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผัก และผลไม้ จากนั้นจึงเข้าสู่มนุษย์ โลหะหนักหลายชนิดมีสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก

แหล่งที่แพร่กระจายโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อมได้แก่

1. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใช้สารประกอบโครเมียมในขบวนการผลิต ถ้าโรงงานเหล่านี้ไม่มีกระบวนการบำบัดน้ำก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม จะทำให้เกิดการปนเปื้อนได้
2. จากอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ (Chromium ore) จะทำให้เกิดฝุ่นในอากาศและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียงโดยเฉพาะในขบวนการบดและคัดเลือกแร่จะมีฝุ่นโครเมียมเกิดขึ้นประมาณ 6.1-138 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. จากการเผาไหม้ของเหลือที่ใช้ที่มีโครเมียมหรือสารประกอบโครเมียมเป็นส่วนประกอบ เช่น ไม้ แก้ว พลาสติกและ ยางรถยนต์
4. จากตะกอนของน้ำทิ้ง โดยเฉพาะ สารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในส่วนที่ไม่ละลายน้ำก็จะสะสมอยู่ในตะกอนน้ำทิ้งเมื่อนำมาใช้ในกิจกรรมอื่น ก็จะเกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

2.5 ตะกั่ว

ในบรรดาโลหะในโลก ตะกั่ว เป็นโลหะที่มนุษย์สนใจ กับความเป็นพิษของมันมากที่สุด เนื่องจากการใช้ประโยชน์อย่างมากมาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรม แบตเตอรี่รถยนต์ เรือดำน้ำ ใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลิตผลตะกั่วทั้งหมด และยังใช้ในรูปตะกั่วอินทรีย์ (Alkyl lead) เป็นสารเคมีที่ใช้ เติมในน้ำมันเบนซิน เพื่อป้องกันเครื่องยนต์เดินสะดุด แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้สารชนิดอื่นทดแทน

โอกาสที่บุคคลทั่วไปได้รับสารตะกั่วที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์ (Alkyl lead) แล้วยังได้รับจากอาหาร น้ำ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตะกั่วเป็นโลหะที่ไม่จำเป็นในขบวนการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างโลหะอื่นๆ เช่น โซเดียม แคลเซียม หรือ เหล็ก จึงมีการกำหนดมาตรฐาน เพื่อป้องกันสารตะกั่วปนเปื้อนในอากาศ อาหาร และ น้ำ เพื่อความปลอดภัยขึ้นในหลายประเทศ รวมทั้งไทยด้วย

สำหรับบุคคลทั่วไป ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ ทางปากโดยรับประทานอาหาร และ น้ำดื่มที่ปนเปื้อนตะกั่ว ทางการหายใจ โดยเฉพาะจากไอเสียรถยนต์ ส่วนการดูดซึมทางผิวหนัง ส่วนมากเกิดกับ บุคคลที่มีอาชีพ เกี่ยวข้องกับตะกั่วเป็นส่วนใหญ่ โดยตะกั่วอินทรีย์ ถูกดูดซึมเข้าผิวหนังได้ดี เคยมีการสำรวจดิน และฝุ่นบริเวณริมถนน ที่เป็นชุมชนหนาแน่น พบว่ามีปริมาณตะกั่วสูงถึง 7,500 พีพีเอ็ม ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผิวดินโลกเพียง 5-25 พีพีเอ็ม

พิษเรื้อรังของตะกั่ว คือ จะค่อยๆแสดงอาการออกมา ภายหลังจากได้รับสารตะกั่วทีละน้อย เข้าสู่ของเหลว ในร่างกาย และ ค่อยๆสะสม ในร่างกาย จนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นปี จึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอาการ ส่วนมาก เกิดกับบุคคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ไปจับกับเม็ดเลือดแดง แทนที่เหล็ก (Fe^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ ปริมาณเหล็กในน้ำเหลือง เพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน ไปสะสมในกระดูก ตะกั่ว (Pb^{+2}) จะเข้าไปแทนที่แคลเซียม (Ca^{+2}) ซึ่งเป็นโลหะ ที่จำเป็นในการสร้างกระดูก และฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อ กระดูกผุ และหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่า เส้นตะกั่ว (Lead line) ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัยพบว่าตะกั่วสามารถเกาะกับกระดูกในร่างกายได้นานถึง 32 ปี และยังสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหารคลื่นไส้อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาท และสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อยู่ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

2.6 สังกะสี

Zn เป็น trace element ชนิดหนึ่ง Zn เป็นองค์ประกอบของเอนไซน์หลายชนิดในร่างกาย เช่น alkaline phosphatase,carbonic anhydrase, carboxypeptidease,oxidoreductase,transferase, ligases,hydrotase, DNA polymerase เป็นต้น ดังนั้น Zn จึงมีบทบาทสำคัญต่อขบวนการต่างๆของร่างกายโดยเฉพาะขบวนการ เมตาบอลิซึมของกรด นิวคลิอิก กรดอะมิโนและโปรตีนนอกจากนี้Zn ยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับสารในร่างกายหลายชนิด เช่น presecretory insulin ด้วย โดยแหล่งอาหารที่มี Zn อยู่ คือ ในเนื้อสัตว์ ตับ อาหารทะเล (โดยเฉพาะหอยนางรม) ไข่ ถั่ว และธัญพืช ส่วนในผักและผลไม้มีสังกะสีน้อย

สาเหตุการขาด Zn ได้รับจากอาหารไม่เพียงพอและ การย่อยและการดูดซึมผิดปกติ เช่นสารในอาหารที่ขัดขวางการดูดซึม, โรคพันธุกรรม คือ acrodermatitisenteropathica

-มีความต้องการ Zn เพิ่มขึ้น เช่น หญิงมีครรภ์, ทารกคลอดก่อนกำหนด, ผ่าตัด เป็นต้น

-มีการสูญเสียเพิ่มขึ้น เช่น hyperzincuriaจากการได้รับ alcohol

อาการขึ้นกับความรุนแรงของการขาด Zn ได้แก่ เติบโตช้าเบื่ออาหาร การรับรสของลิ้นผิดปกติ ผิวหนังเปลี่ยนแปลง เช่น ริมฝีปากฝ่ามือฝ่าเท้าแดง แผลหายช้า การมองไม่เห็นในที่มืดผิดปกติ ในหญิงตั้งครรภ์อาจทำให้ทารกในครรภ์พิการ

ภาวะขาด Zn มักเกิดคู่กับการขาดสารอาหารอื่นซึ่งต้องให้การรักษาพร้อมๆกัน

ภาวะเป็นพิษเนื่องจากสังกะสีเกิน

- ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน
- ระดับทองแดงในเลือดต่ำ ทำให้เกิดอาการซีดเม็ดเลือดขาวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภูมิคุ้มกันโรคผิดปกติ
- High-density lipoprotein (HDL ต่ำ)

2.7 ทองแดง

ทองแดง (Copper) เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำและอากาศอาจอยู่ในรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบเช่น Cu_2O, Cu_2S, CuF, $CuSO_4$, $CuFeS_2$เป็นต้น ทองแดงเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดีรองจากเงินปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น ใช้ผลิตลวด สายไฟท่อน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตรสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม เป็นต้นส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจการน้ำดื่มการบริโภคอาหารในชีวิตประจำวันทองแดงมีความจำเป็นต่อร่างกายสิ่งมีชีวิตถ้าได้รับในปริมาณที่เหมาะสมกับร่างกายโดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในกระดูกและกล้ามเนื้อ

การเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับเข้าไปช่องทางที่ได้รับและสภาพร่างกายของแต่ละบุคคลทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบนโดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับจากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดีแล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูกกล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง

เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายคือ คลื่นเหียนอาเจียนเกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสียการทำงานของหัวใจผิดปกติกดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิตส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานและตับทำหน้าที่บกพร่อง ไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติจึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมากส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson' Diseases คือร่างกายสั่นเทาอยู่ตลอดเวลากล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก ซึ่งจะมีวิธีการแก้ไขการเกิดพิษและวิธีการป้องกันการเกิด ดังนี้

พิษผิวหนัง : ควรสวมเสื้อผ้าที่รัดกุมและมีเครื่องป้องกันร่างกายก่อนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับสารทุกครั้งเมื่อสารพิษถูกผิวหนังรีบล้างออกด้วยสบู่และน้ำสะอาดถ้าสารพิษกระเด็นหรือหกเปื้อนเสื้อผ้า ต้องรีบเปลี่ยนเสื้อผ้าทันทีแล้วล้างผิวด้วยสบู่และน้ำสะอาดจากนั้นรีบนำส่งโรงพยาบาล

ตา : ควรมีเครื่องป้องกันสายตาที่เหมาะสมก่อนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับสาร (ไม่ควรสวม Contact lens ขณะทำงานเกี่ยวข้องกับสารเคมี) เมื่อสารพิษกระเด็นเข้าตาต้องรีบล้างออกด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากสลับกับการค่อยๆกระพริบตาขึ้น-ลงจากนั้นรีบนำส่งโรงพยาบาลทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหายใจ : เมื่อหายใจรับเอาสารเข้าไปเป็นจำนวนมากต้องรีบเคลื่อนย้ายผู้ได้รับสารออกจากบริเวณนั้นไปสู่บริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกถ้าหยุดหายใจให้รีบทำการผายปอด (Mouth-to-mouth) แล้วรีบนำส่งโรงพยาบาลทันที

การกลืนกินสารพิษ : รีบนำส่งโรงพยาบาลทันที

(ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2553)

2.8 โครเมียม

โครเมียม เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตที่มีสุขภาพที่ดีมันมีความจำเป็นต่อขบวนการแตกของโมเลกุลโปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต รองจากแคลเซียม แล้วโครเมียมเป็นแร่ธาตุที่ได้รับความนิยมมากสำหรับคนอเมริกันที่รับประทานเป็นประจำและยังเป็นที่ร่างกายต้องการ โครเมียม ในปริมาณ 50 – 200 ไมโครกรัมต่อวันโครเมียม มีส่วนในการช่วยรักษาปริมาณน้ำตาลในร่างกายให้คงที่ (ในขบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต) ในงานวิจัยพบว่าโครเมียมเป็นส่วนประกอบของสารที่เรียกว่า GTF (Glucose tolerance factor) โดยทำงานร่วมกับไนอาซิน และ กรดอะมิโน อีกหลายชนิด นอกจากนั้น โครเมียม อาจมีบทบาทในการเพิ่ม HDL หรือ คลอเรสเตอรอล ชนิดดี และ ลดระดับ คลอเรสเตอรอล ทั้งหมด

โครเมียมจะกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้เป็นพลังงาน และขบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน และ คลอเรสเตอรอล จึงดูเหมือนว่าโครเมียมจะเพิ่มประสิทธิภาพของอินซูลิน และการจัดการกับน้ำตาลกูลโคสป้องกันการเกิดน้ำตาลในเลือดต่ำ (เพราะว่ามีอินซูลินมากเกินไป) หรือโรค เบาหวาน (เพราะว่ามีอินซูลินน้อยเกินไป)

จากการศึกษาพบว่าโครเมียมแบบที่เรียกว่า โครเมียมพิกโคลิเนต (Chromium Picolinate) มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไขมันในร่างกาย โดยพบว่าโครเมียมพิกโคลิเนต อาจจะลดปริมาณไขมัน และกระตุ้นการสร้างมวลกล้ามเนื้อโดยมีงานวิจัยที่ทดลองให้โครเมียมพิกโคลิเนตขนาด 400 ไมโครกรัมต่อวันกับอาสาสมัครเป็นระยะเวลา 3 เดือนพบว่ามีการลดลงของปริมาณไขมันในร่างกายและน้ำหนักร่างกาย อย่างไรก็ตามการศึกษาอื่นก็ไม่สามารถยืนยันผลของโครเมียมพิกโคลิเนตต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ได้

คนส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องรับประทานอาหารเสริม โครเมียมเลยหากสามารถรับประทานได้จากอาหารได้อย่างเพียงพอแต่ทั้งนี้ในปัจจุบันอาหารที่เรารับประทานมักจะผ่านกรรมวิธีมามากจนทำให้สารอาหารต่างๆ รวมทั้ง โครเมียมถูกขจัดออกไปจากอาหารทำให้ในบางรายอาจจะจำเป็นต้องพิจารณารับประทาน โครเมียมเป็นอาหารเสริม เหมือนกับวิตามินตัวอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดระดับคลอเรสเตอรอลในร่างกายจากหลักฐานการศึกษาวิจัยพบว่า โครเมียม (ทั้งในรูปแบบพิกโคลิเนตและอื่นๆ) พบว่ามีผลในการลดระดับ คลอเลสเตอรอล ในร่างกายโดยการมีบทบาทไปเพิ่ม HDL หรือ คลอเรสเตอรอล ชนิดดี และลดระดับคลอเรสเตอรอลทั้งหมด

ควบคุมระดับน้ำตาลใน เลือดและโรคเบาหวานในผู้ป่วยโรค เบาหวาน แบบที่ 2 โครเมียมมีส่วนในการช่วยรักษาปริมาณน้ำตาลในร่างกายให้คงที่ (ในขบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต)ในงานวิจัยพบว่าอินซูลินที่หลั่งจากตับอ่อนจะมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำตาล ในเลือดแต่ปัญหาคือเซลร่างกายผู้ป่วยไม่ตอบสนองต่ออินซูลิน โครเมียมเป็นส่วนประกอบของสารที่เรียกว่า GTF (Glucose tolerance factor) โดยทำงานร่วมกับไนอาซิน และ กรดอะมิโนอีกหลายชนิดจะไปช่วยกระตุ้นให้เซลร่างกายตอบสนองต่ออินซูลินได้ดียิ่งขึ้นช่วยให้ระดับน้ำตาลเข้าสู่ระดับปกติมีการทดลองซึ่งเป็นการทดลองแบบที่ทั้งผู้ทดสอบและผู้ถูกทดสอบจะไม่มีใครทราบเลยว่าได้ยาที่มีส่วนผสมของโครเมียม หรือไม่มีเพื่อตัดตัวแปรด้านความรู้สึกของผู้เข้าการทดลองที่อาจจะมีผลต่อการวัดผลในประสิทธิภาพของ โครเมียม ซึ่งผลการทดลองสนับสนุนสรรพคุณด้านการลดน้ำตาลในเลือดของโครเมียม

เนื่องจากโครเมียมช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และช่วยในการทำให้ Glucose tolerance ดีขึ้น ดังนั้นการได้รับ โครเมียม จึงมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน ชนิดที่ 2 คนที่มีอาการระดับน้ำตาลในเลือดต่ำก็มีอาการดีขึ้น เมื่อได้รับโครเมียม 200 ไมโครกรัมต่อวัน

แหล่งที่พบโครเมียมที่ดีที่สุด คือ ในยีสต์ (Brewer's yeast) นอกจากนั้นก็ยังพบใน เมล็ดธัญพืช และ ซีเรียลซึ่งปรกติจะถูกทำลายไปในระหว่างกระบวนการผลิต เบียร์บางยี่ห้อก็อาจจะมีโครเมียมในปริมาณมาก

เนื่องจากคนทั่วไปได้รับ โครเมียมในปริมาณที่ต่ำกว่าที่ US RDA ได้แนะนำไว้คือ 50 – 200 ไมโครกรัมต่อวัน และประมาณ 3 % ของโครเมียมในอาหารที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย คนทั่วไปควรได้รับโครเมียมเป็นอาหารเสริม การที่รับประทานอาหารประเภทน้ำตาลและอาหารในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในปริมาณสูงก็อาจจะทำให้เกิดการขาด โครเมียมและเร่งให้เกิดโรคเบาหวานได้

พบว่าคนในกลุ่มผู้สูงอายุ นักกีฬา และหญิงมีครรภ์ เป็นกลุ่มที่เสี่ยงต่อการขาดโครเมียมมากที่สุด เมื่อร่างกายขาดโครเมียมจะมีอาการต่อไปนี้ คือมีการเปลี่ยนแปลงระบบการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต เช่น Impaired glucose tolerance, glycosuria, อาการระดับน้ำตาลสูงเมื่ออดอาหาร fasting hyperglycemia, ระดับอินซูลินในเลือดสูงขึ้น และการทำงานของอินซูลินลดลง (ซึ่งเหล่านี้ล้วนอาการเริ่มต้นของโรคเบาหวาน)

ปริมาณ ที่แนะนำโดยแพทย์ทั่วไป คือ 200 ไมโครกรัมต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริมาณที่ โครเมียม วางขายทั่วไป (50 – 300 ไมโครกรัมต่อวัน) ไม่พบว่าก่อให้เกิดอาการเป็นพิษต่อร่างกาย (toxicity) อาหารเสริมโครเมียมอาจจะเพิ่ม หรือเข้าไปช่วยการทำงานของยารักษาโรคเบาหวาน (เช่น อินซูลินหรือยาลดน้ำตาลอื่นๆ) และอาจทำให้เกิดอาการระดับน้ำตาลต่ำได้ ดังนั้นผู้ป่วยโรคเบาหวาน จึงควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะทานอาหารเสริมโครเมียม

จากการศึกษาพบว่า วิตามินซีเพิ่มการดูดซึมของโครเมียมจึงได้มีการแนะนำให้รับประทานร่วมกันระหว่าง วิตามินซี และ โครเมียมหรือทานร่วมกับอาหารที่มีวิตามินซีสูงๆ

ผู้ป่วยโรค เบาหวาน ควรปรึกษาแพทย์หรือเภสัชกรก่อนการรับประทาน เนื่องจากโครเมียม อาจจะไปมีผลทำให้ความต้องการอินซูลินหรือยาลดน้ำตาลในเลือดลดน้อยลงได้

อย่ารับประทานพร้อมๆ กับแคลเซียมคาร์บอเนตหรือยาลดกรดต่างๆในเวลาเดียวกันเพราะมันอาจจะไปรบกวนการดูดซึมของโครเมียมได้

การรับประทาน โครเมียม ในปริมาณสูงๆ อาจจะไปรบกวนการดูดซึม สังกะสี (Zinc) ซึ่งแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มปริมาณการรับประทาน สังกะสี ให้เพิ่มมากขึ้นแทน
(ดีดีจัง Health, 2553)

2.9 แคดเมียม

แคดเมียมคือธาตุชนิดหนึ่งได้จากการถลุงแร่แคดเมียมที่อยู่ในแร่จะอยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น แคดเมียมออกไซด์แคดเมียมคลอไรด์ แคดเมียมซัลเฟต แคดเมียมซัลไฟต์ เป็นต้น ไม่มีกลิ่นหรือรสที่แน่นอนพบว่าในดิน หิน และ ปุ๋ยจากดินแร่ (mineral fertilizers) มีแคดเมียมอยู่บ้างแคดเมียมที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้จากการสกัดระหว่างการถลุงสังกะสี ตะกั่วและทองแดง แคดเมียมทนทานการกัดกร่อน ใช้ประโยชน์ได้มากมายทั้งในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภค เช่น ใช้ในแบตเตอรี่ ใช้เป็นรงควัตถุใช้ในการเคลือบผิวโลหะ ใช้ในพลาสติก

- แคดเมียมเข้าสู่อากาศได้จากการเหมืองแร่การอุตสาหกรรม การเผาถ่านหิน และการเผาขยะตามบ้านเรือน
- อนุภาคแคดเมียมในอากาศสามารถเดินทางไปในระยะไกลกว่าที่จะตกลงบนพื้นดินหรือในน้ำ
- อนุภาคแคดเมียมปนเปื้อนน้ำและดินจากการทิ้งขยะและการรั่วไหลของของสารพิษจากสถานที่เก็บ
- อนุภาคแคดเมียมเกาะกับดินได้ดี
- แคดเมียมบางรูปละลายน้ำได้
- แคดเมียมไม่สลายตัวในสิ่งแวดล้อมแต่เปลี่ยนรูปได้
- ปลา พืช และสัตว์ได้รับแคดเมียมจากสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แคดเมียมอยู่ในร่างกายได้เป็นเวลานานมากและสะสมเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีจากการรับเข้ามาทีละน้อย ๆ

แคดเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้จาก

- จากการหายใจในสถานที่ปฏิบัติงานที่มีแคดเมียมปนอยู่ในอากาศ เช่นในโรงงานแบตเตอรี บริเวณที่มีการเชื่อมโลหะ
- รับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมอาหารโดยทั่วไปมีแคดเมียมในระดับต่ำ (มีมากในหอย กุ้ง ปู ตับ และไต)
- จากควันบุหรี่ หากได้รับทุกวันปริมาณแคดเมียมในร่างกายจะสะสมขึ้นอย่างรวดเร็ว
- ดื่มน้ำที่ปนเปื้อนแคดเมียม
- หายใจอากาศที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากบริเวณที่มีการเผาซากพืชซากสัตว์หรือเตาเผาขยะจากเมืองใหญ่

เมื่อได้รับแคดเมียมจะส่งผลต่อร่างกายดังนี้

การหายใจในอากาศที่มีแคดเมียมปนอยู่สูงจะเป็นอันตรายต่อปอดและเสียชีวิตได้การรับประทานอาหารและดื่มน้ำที่มีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูงมากจะกัดกร่อนกระเพาะทำให้อาเจียน และท้องเสีย

การได้รับแคดเมียมทีละน้อยจากอากาศ น้ำ และอาหารเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการสะสมแคดเมียมในไต อาจจะทำให้เป็นโรคไตได้อาจทำให้ปอดเสียและกระดูกเปราะ

จากการทดลองในสัตว์โดยการให้แคดเมียมทางน้ำและอาหารพบว่าความดันเลือดสูงขึ้น, เหล็กในเลือดต่ำ, เป็นโรคตับ, ประสาทและสมองเสียหายยังไม่ทราบว่า หากคนได้รับแคดเมียมทางน้ำและอาหารแล้วจะมีอาการดังกล่าวเช่นกันหรือไม่

ยังไม่มีข้อบ่งชี้ว่าการสัมผัสแคดเมียมทางผิวหนังนั้นมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์อย่างไร

แคดเมียมมีส่วนทำให้เป็นมะเร็ง โดยมีหลักฐานสนับสนุนไม่ชัดเจนนักที่จะระบุว่าผู้ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจจะเป็นมะเร็งปอด แต่จากการทดลองในสัตว์พบว่าสัตว์ที่ได้รับแคดเมียมจากการหายใจทำให้ทราบว่าจะเกิดมะเร็งปอดในสัตว์ทดลองแน่นอน แต่ยังไม่ทราบว่าการสัมผัสแคดเมียมทางผิวหนัง หรือรับแคดเมียมโดยทางน้ำและอาหารแล้วแคดเมียมจะทำให้เป็นมะเร็งได้หรือไม่

โรงพยาบาลบางแห่งสามารถตรวจหาแคดเมียมในเลือดในปัสสาวะ ในเส้นผม และในเล็บได้หากพบแคดเมียมในเลือดแสดงว่าเพิ่งจะได้รับแคดเมียมมาไม่นานหากพบในปัสสาวะแสดงว่าได้รับแคดเมียมมาแล้วทั้งในอดีตและปัจจุบันการพบแคดเมียมในปัสสาวะยังแสดงว่าไตบกพร่องอีกด้วยความน่าเชื่อถือของการตรวจหาแคดเมียมในเส้นผมและเล็บนั้นยังไม่ทราบชัดเจนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจหาแคดเมียมในตับและไตนั้นทำได้แต่ค่าตรวจสูงจะใช้ในกรณีที่ต้องการให้แพทย์ยืนยันสภาพของตับและไตเท่านั้น
(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิมยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)

2.10 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะที่มีความมันวาวสีขาวเงิน มันอยู่กลุ่มเดียวกับเหล็กมีความแข็งแต่ตีเป็นแผ่นได้ในธรรมชาติจะทำปฏิกิริยาเคมีกับกำมะถันเกิดเป็นแร่มิลเลอร์ไรต์ (millerite) ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับสารหนู (arsenic) จะเกิดเป็นแร่นิกกอไลต์ (niccolite) แต่ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีกับทั้งสารหนูและกำมะถันจะเป็นก้อนนิกเกิลกลานซ์ (nickel glance)

นิกเกิลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมโลหะอื่นๆเป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนนิกเกิลบริสุทธิ์จะใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ และใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น

- สเตนเลสสตีล และอัลลอยด์กันสนิมชนิดต่างๆ กว่า 65% ของการใช้นิกเกิลในโลกตะวันตกนั้นเป็นการใช้ทำสเตนเลสสตีล , 13% ใช้ในการทำซูเปอร์อัลลอยด์ และอีก 24% เป็นการใช้ทำโลหะอัลลอยด์และใช้ประโยชน์อื่น
- ทำเกราะ และ burglar-proof vaults
- เป็นส่วนผสมของโลหะ Alnico เพื่อใช้ในการทำแม่เหล็ก
- Monel metal ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างทองแดงและนิกเกิลมีคุณสมบัติป้องกันการผุกร่อนได้ดีเยี่ยมนำไปใช้ในการผลิตใบพัดเรือ,เครื่องครัว และท่อในอุตสาหกรรมเคมี
- ผลิต shape memory alloys ซึ่งใช้ในการหุ่นยนต์บางชนิด
- ถ่านชาร์จ เช่น ถ่านนิกเกิลเมตัลไฮดราย (nickel metal hydride) และถ่านแบบนิกเกิลแคดเมียม (nickel cadmium)
- ทำเหรียญกษาปณ์ โดยในประเทศอเมริกาและแคนาดาใช้นิเกิลเป็นส่วนผสมในการผลิตเหรียญ 5 เซ็นต์
- เคลือบโลหะ (electroplating) เพื่อป้องกันสนิม

ประเทศที่บริโภคนิกเกิลมากที่สุดคือญี่ปุ่นซึ่งใช้สำหรับความเป็นพิษของนิกเกิลจะเกิดเนื่องจากฝุ่นของนิกเกิลคาร์บอนิลซึ่งเป็นสารประกอบทำให้นิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ การแพร่กระจายของนิกเกิลในน้ำจะทำให้เกิดอาการผื่นคันที่ผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมให้มีค่าความเข้มข้นของนิกเกิลไม่มากกว่า 1.0 มก./ล.
(วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2553)

2.11 สมบัติของดิน

2.11.1 สมบัติทางกายภาพ

2.11.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินสามารถบอกได้ถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์ได้อย่างคร่าวๆ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเมื่ออยู่ในสภาพคอลลอยด์จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักสูง ดินที่มีเนื้อละเอียดขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น ดังตารางที่ 2.1 การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้เช่นกัน โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ฮิวมัส การเพิ่มอินทรีวัตถุในดินเมื่อสารอินทรีย์สลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดินได้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

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

(ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

2.11.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (soil porosity)

เนื้อดินยังเกี่ยวพันกับความพรุนของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มากแต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้เกิดการถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างให้น้ำจะสญเสียโครงสร้างในดินได้ง่าย ซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ช่องผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การให้น้ำเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ผิวหน้าดินเปิดได้ ทำให้น้ำและแสถ่ายเทได้น้อยลง อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากส่วนใหญ่อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงยากที่จะบ่งบอกและประมาณช่องที่มีอยู่ในดินนี้ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวอาจเกาะยึดกันเองเป็นเม็ดดินที่เสถียร (stable aggregate) ซึ่งในสภาพเช่นนี้ดินเหนียวจะมีความพรุนสูงมาก ในทางตรงกัน

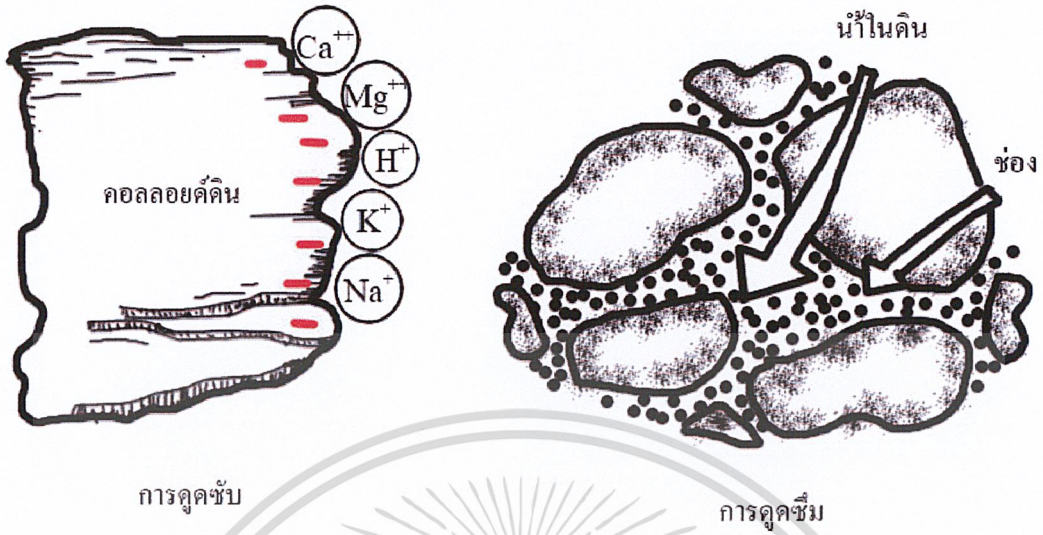
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้ามหากอนุภาคไม่เกาะยึดกันอยู่ในสภาพฟุ้งกระจาย ดินเหนียวลักษณะเช่นนี้จะแน่นทึบมาก น้ำและอากาศถ่ายเทได้ยากมาก จะอย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้ว ช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดินก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน โดยที่ดินเนื้อละเอียดจะมีความสามารถอุ้มน้ำได้ (available water capacity – AWC) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืชและต่อจุลินทรีย์ดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ดินและพืชเป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

2.11.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (adsorption)

กระบวนการดูดซับ (adsorption) หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นระดับโมเลกุลระหว่างสารที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbate) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเป็นอย่างมาก ส่วนการดูดซึมเป็นกระบวนการที่มีสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเกี่ยวข้องด้วยเช่นเดียวกันกับการดูดซับ โดยมีสารชนิดหนึ่งเป็นตัวดูดซับ และสารชนิดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังกล่าวเป็นตัวถูกดูดซับ ซึ่งตัวดูดซับจะดึงดูดตัวถูกดูดซับให้ฝังตัวอยู่ในโครงร่างของตัวดูดซับ และอาจมีกลไกอื่นๆนอกเหนือไปจากการดึงดูดในระดับโมเลกุลเกี่ยวข้องด้วย สารชนิดหนึ่งจะดูดซับสารอื่นได้มากน้อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับว่าสารชนิดนั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากน้อยเพียงใด ในดินการดูดซับที่สำคัญได้แก่การดูดซับน้ำและการดูดซับไอออนในสารละลายดิน ซึ่งในดินตัวดูดซับก็คืออนุภาคดินเหนียวและอนุภาคอินทรียวัตถุ เพราะมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง นอกจากนั้นอนุภาคทั้งสองชนิดยังมีนะจุไฟฟ้าซึ่งส่วนใหญ่เป็นประจุลบจึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดี ทำให้น้ำซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้ว (polar compound) อาจถูกดูดซับได้โดยกระบวนการนี้เช่นกัน การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือการดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมดทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมจำเป็นต้องเอาชนะอิทธิพลของแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความไวจึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (ดินเนื้อละเอียด)จะดูดซึมน้ำได้มากปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มากเช่นเดียวกัน (รูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สภาพการดูดซับและดูดซึม

2.11.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน

โดยทั่วไปปริมาณอินทรียวัตถุจะมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรียวัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ ความสัมพันธ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำและดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก พืชพรรณที่ขึ้นในดินจึงมีปริมาณมากกว่าที่ขึ้นในเนื้อดินหยาบ เมื่อซากพืชเหล่านี้ทับถมในดินจึงทำให้ดินเนื้อละเอียดมีการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่มากกว่า อีกประการหนึ่งดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศที่ดีกว่าดินเนื้อละเอียด อัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุจึงสูงกว่าทำให้เหลือปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

2.11.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายน้ำ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม

เนื้อดิน	การไหลซึม(นิ้ว/ชั่วโมง)		ปริมาณน้ำทั้งหมดลูกบาศก์นิ้ว
	ดินมีพืชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลท์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2	1	1.2

(ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

2.11.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน

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

สำหรับความพรุนของดินนิยมบอกเป็นค่าความพรุนทั้งหมด (total porosity, E) ซึ่งหมายถึงปริมาตรของส่วนที่ไม่ใช่ของแข็งในดิน เมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

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

เนื่องจากค่าความหนาแน่นรวมคำนวณโดยเปรียบน้ำหนักทั้งแห้งของดินกับปริมาตรตามทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นช่องในดิน ดังนั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำจึงหมายความโดยอ้อมได้ว่าดินนั้นมีส่วนที่เป็นช่องมาก เมื่อดินเนื้อละเอียดยิ่งขึ้นความพรุนของดินโดยปกติจะมากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นรวมของดินเนื้อละเอียดจึงต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ ดินเหนียวมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.0-1.3 g/mL ดินร่วนเหนียวและร่วนปนซิลท์มีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.1-1.4 g/mL และดินร่วน ร่วนปนทรายและทรายมีความหนาแน่นรวมโดยเฉลี่ยประมาณ 1.32 g/mL ดินในระดับที่ลึกลงไป ความพรุนของดินจะน้อยลง ทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.11.2 สมบัติทางเคมี

2.11.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH)

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

ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีประจุลบมากกว่า ซึ่งนับว่ามีประโยชน์อย่างมากเพราะธาตุต่างๆในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ก็อยู่ในรูปประจุ ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินซับเอาไว้ ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของรากพืช ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้สูญเสียไป ดังนั้นพืชจึงสามารถดึงดูดธาตุอาหารที่ถูกดินดูดซับเอาไว้นี้ไปใช้ได้

ไฮโดรเจนไอออนมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับจึงเรียกว่า สภาพกรดแฝง ซึ่งจะสมดุลกับส่วนไฮโดรเจนที่ไม่ถูกดูดซับ ซึ่งเรียกว่า สภาพกรดจริง ค่าพีเอชของดินที่วัดได้คือ การวัดสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน (ค่าสภาพเป็นกรดจริงเท่ากัน) จะมีความต้องการปูนในการปรับระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ ทั้งนี้เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับมาก และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดซับออกมาเพียงส่วน ลักษณะคล้ายกับการแตกตัวของกรดอ่อน นอกจากนี้พีเอชของดินยังเกี่ยวพันกับสภาพละลายได้ (Solubility) ของธาตุด้วย เนื่องจากน้ำในดินเป็นตัวทำละลายธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคดินและธาตุที่เติมลงไปในดิน ดังนั้นสภาพละลายได้ของธาตุจึงขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของดิน ตัวอย่างสภาพละลายได้ของธาตุอาหารพืชในสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน จะเห็นได้ว่าธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียมจะพบในดินที่เป็นกรดในปริมาณต่ำทำให้พืชอาจจะขาดธาตุเหล่านี้ได้ ธาตุฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้น้อยทั้งในสภาพที่ดินเป็นกรดหรือด่าง จุลธาตุทั้งหลายได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง โบรอน พืชสามารถดูดไปใช้ได้ดีในสภาพดินเป็นกรด ในดินที่มีธาตุเหล่านี้มากอยู่แล้ว ก็อาจละลายได้มากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้สำหรับโมลิบดินัมนั้นจะละลายได้ดีเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น ธาตุโลหะหนักหลายชนิดเช่น ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง จะละลายได้ดีในสภาพดินเป็นกรดเช่นกัน

2.11.2.2 ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange capacity ,CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมากเป็นอนุภาคอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยส่วนใหญ่อนุภาคดินเหนียวมีรูปร่างแบนทำให้โอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปมีได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดมีการสูญเสียอะตอมไปก็จะมีประจุทันที บริเวณขอบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117205

อนุภาคจึงมีประจุ นอกจากนี้อะตอมของธาตุอื่นที่มีขนาดเท่ากันกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคดินเหนียวแต่มีจำนวนประจุไม่เท่ากัน อาจหลุดเข้าไปแทนที่ซึ่งจะทำให้อนุภาคมีประจุได้ ในอินทรียวัตถุนั้น การแตกตัวของกลุ่มอนุมูลบางตัวจากสารประกอบอินทรีย์ก็จะทำให้มีประจุได้เช่นกัน ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินจึงมีความสามารถในการดึงดูดแคทไอออนได้ และเนื่องจากดินแต่ละชนิดมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุไม่เท่ากันจึงมีความจุในการดึงดูดแคทไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคทไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cations) กับคอลลอยด์ดินเหล่านี้จะสามารถแลกเปลี่ยนกันได้กับแคทไอออนในสารละลายดิน จึงเรียกว่าแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) ดังนั้นความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนจึงมีหมายถึง ปริมาณแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น meq/100g ของดินแห้ง

กระบวนการแทนที่แคทไอออนแลกเปลี่ยนได้โดยแคทไอออนในสารละลายดินเรียกว่าการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange) ซึ่งในดินแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่จะเป็น Ca, Mg, K, Na, Al และ H แคทไอออน 4 ตัวแรกมีชื่อเรียกรวมกันว่าเบสแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) ในดินบางสภาพเช่นดินน้ำขังจะมี Mnหรือ Fe ละลายได้มากและถูกดูดซับเป็นส่วนใหญ่ ในสภาพดินเป็นกรดจะประกอบด้วย Ca, Mg, K และ Al เป็นแคทไอออนแลกเปลี่ยนได้เป็นส่วนใหญ่ ส่วนในดินเค็ม Na จะเป็นแคทไอออนหลักที่ถูกดินดูดยึดไว้

การที่ดินมีแคทไอออนที่ถูกดูดซับสมดุลกับแคทไอออนในสารละลายดิน ทำให้ดินมีสภาพคล้ายสารบัฟเฟอร์ การเปลี่ยนแปลงใดๆในดิน เช่น การปรับพีเอชหรือการไล่ Na ออกจากดินจึงเป็นไปอย่างช้า เพราะเมื่อแคทไอออนในสารละลายดินมีปริมาณน้อยลง แคทไอออนส่วนที่แลกเปลี่ยนได้จะถูกปลดปล่อยจากส่วนที่เป็นของแข็งออกมาสู่ส่วนที่เป็นสารละลายดินทีละน้อย ดินที่มีค่า CEC สูงจึงมีกำลังบัฟเฟอร์สูงด้วย

เนื้อดินและอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวกำหนดค่า CEC ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าทรายไม่มีประจุ ขณะที่ดินเหนียวมีค่า CEC สูงสุดแต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าอินทรีวัตถุ ในสภาพดินทั่วไปค่า CEC จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุ (ตารางที่ 2.4) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวหากทราบปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุแล้ว ก็อาจจะประเมินค่า CEC ได้อย่างคร่าวๆ โดยทั่วไปในดินเหนียว 1% มี CEC ประมาณ 0.5 meq และอินทรียวัตถุ 1% จึงทำให้ดินมี CEC ประมาณ 2meq

ในดินทั่วไป CEC ของหน้าดินมีค่าระหว่าง 0.0 – 5 meq/100g ซึ่งในการประเมิน CEC ของดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ถ้าระดับ CEC ของดินต่ำหมายความว่า ดินชนิดนั้นมีปริมาณดินเหนียวหรืออินทรียวัตถุน้อย (ศุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่า CEC ของดินประเภทต่างๆ และในอินทรียวัตถุ

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

(สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539)

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรีย์วัตถุกับค่า CEC

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

(สุภมาศ, 2539)

ตารางที่ 2.5 ระดับ CEC ของดิน

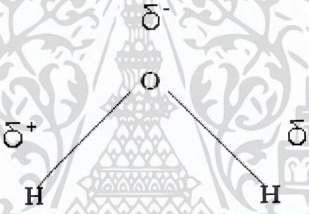
ระดับ	ค่า CEC (meq/100g)
ต่ำมาก	<3
ต่ำ	3-5
ต่ำปานกลาง	5-10
ปานกลาง	10-15
สูงปานกลาง	15-20
มาก	20-30
สูงมาก	>30

(สุภมาศ, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ความชื้นในดิน

น้ำเป็นสารประกอบจำพวกโมเลกุลที่มีขั้ว (polar compound) คือสามารถละลายได้ดีในโมเลกุลที่มีขั้วธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชทั้ง 13 ธาตุที่อยู่ในดินพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปของไอออนซึ่งน้ำจะเป็นตัวทำละลายที่ดีสามารถละลายธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทุกธาตุโมเลกุลของน้ำ (ภาพที่ 4.1) น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของมนุษย์สัตว์ และ พืช ในมนุษย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของร่างกายในส่วนของพืชจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ในการปลูกพืชน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งเนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเซลล์พืชน้ำเป็นตัวปรับอุณหภูมิภายในลำต้นของพืชไม่ให้มีอุณหภูมิสูงเกินในเวลากลางวันซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำเป็นตัวช่วยในการลำเลียงธาตุอาหารไปภายในต้นพืชและน้ำสามารถช่วยลดความเป็นกรด – ด่างและความเค็มตลอดจนทำให้สารเคมีที่เป็นพิษจำพวกสารฆ่าแมลงและสารกำจัดศัตรูพืชเจือจางลงทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี



รูปที่2.2 โมเลกุลของน้ำ

ความชื้นของดินประกอบด้วย 2 สถานะ คือสถานะที่เป็นของเหลวเราเรียกว่า น้ำในดินและสถานะที่เป็นก๊าซเราเรียกว่า ไอน้ำในดินในประเทศที่มีอากาศหนาวจัดความชื้นของดินอาจจะอยู่ในรูปของน้ำแข็งส่วนประเทศในเขตร้อนส่วนใหญ่น้ำในดินจะอยู่ในรูปของของเหลวดังนั้นความชื้นของดินกับน้ำในดินจึงมีความหมายเดียวกันคือ ส่วนที่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวถ้าในส่วนของช่องว่างในดินมีน้ำอยู่เต็มไม่มีก๊าซอยู่เลยเรียกว่าดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) แต่ถ้าในช่องว่างของดินมีทั้งน้ำและก๊าซอยู่ด้วยเรียกว่าดินที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated soil) ดังนั้นดินที่ใช้ในการทำการเกษตรส่วนใหญ่คือดินที่ไม่อิ่มตัวความชื้นในดินมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินได้แก่ สัตว์ พืชหรือจุลินทรีย์เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืชและสัตว์เพื่อใช้ในขบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ต่าง ๆเช่น ขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและจุลินทรีย์ในดินบางชนิดพืชสามารถที่จะนำเอาธาตุอาหารไปใช้ได้ธาตุอาหารเหล่านั้นจะต้องอยู่ในรูปของสารละลายน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีและมีปริมาณมากหาได้ง่ายและสะดวกน้ำเป็นตัวกลางที่ดีในการเคลื่อนย้ายไอออนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งอีกทั้งยังลำเลียงธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนจากดินเข้าสู่ภายในลำต้นของพืชและเข้าไปในจุลินทรีย์นอกจากนี้น้ำยังมีความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงที่สูงทำให้เปลี่ยนอุณหภูมิได้ยากทำให้น้ำในดินมีอุณหภูมิไม่สูงหรือต่ำจนเกินไปทำให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) ให้ทรรศนะความชื้นของดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ 3 ประเภท คือ

1. ความชื้นที่เป็นประโยชน์ (available moisture) หมายถึงความชื้นส่วนที่อยู่ภายใต้อำนาจดูดยึดของดินที่พืชดูดไปจากดินในอัตราส่วนที่ทัดเทียมกับอัตราการระเหยน้ำของพืช

2. ความชื้นที่ไม่เป็นประโยชน์ (Unavailable moisture) หมายถึงความชื้นส่วนที่ดินดูดยึดไว้ด้วยพลังงานที่มากกว่าที่จะให้พืชดูดไปใช้ในอัตราที่ทัดเทียมกับอัตราการระเหยน้ำของพืชได้

3. ความชื้นเกินจำเป็น (superfluous moisture) หมายถึงความชื้นส่วนที่เกินอำนาจดูดยึดตามปกติของดินซึ่งโดยปกติขังอยู่ในที่ว่างขนาดใหญ่ที่เป็นที่อยู่ของอากาศและเมื่อมีโอกาสจะเคลื่อนพ้นบริเวณที่รากพืชลึกลงไปในหน้าตัดดินโดยอิทธิพลแรงดึงดูดของโลก

2.12.1 ประเภทของความชื้นในดิน

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเก็บน้ำไว้เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้ำในดินสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกแรงระหว่างไอออนในสารละลายและแรงระหว่างโมเลกุลของน้ำน้ำในดินอาจปรากฏในรูปต่าง ๆดังนี้

1. น้ำในแร่หรือความชื้นที่อยู่ในองค์ประกอบของสารเคมี (chemically combined water) โดยอยู่ในรูปของน้ำผลึก (water of crystallization) คือเป็นองค์ประกอบทางเคมีของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งของดินดินที่แห้งสนิทซึ่งได้จากการอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงจะยังคงมีความชื้นประเภทนี้อยู่ความชื้นในดินชนิดนี้ไม่เป็นประโยชน์กับพืช

2. น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) น้ำประเภทนี้จะอยู่ในรูปของเยื่อบางๆ หนาราว2 - 3 โมเลกุลของน้ำ (layer of water molecule) รอบอนุภาคดินพืชไม่สามารถดูดน้ำประเภทนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ดินที่ผึ่งแห้งในร่ม (air dry soil) จะมีความชื้นในดินอยู่ในรูปของน้ำเยื่อและสามารถไล่ความชื้นนี้ให้ออกไปหมดได้โดยนำดินที่ผึ่งแห้งในร่มนี้ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3. น้ำซับ (capillary water) ความชื้นในดินประเภทนี้จะอยู่ในลักษณะที่เป็นเยื่อบางๆรอบอนุภาคดินถัดจากชั้นของน้ำเยื่อและอยู่ในลักษณะที่บรรจุอยู่ในที่ว่าง (pore) ขนาดเล็กมาก ๆของดินน้ำซับประกอบด้วยน้ำส่วนที่เป็นประโยชน์ (available water) และส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ (unavailable water) ต่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำอิสระและน้ำซึม (gravitational water or drainage water) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดิน โดยถูกดูดยึดจากอนุภาคดินด้วยแรงที่น้อยมากและจะถูกอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกทำให้เคลื่อนออกไปจากดินพืชจึงใช้ประโยชน์จากน้ำในดินประเภทนี้ได้น้อยมาก
(บุญแสน เตียวนุกูลธรรม.2548)

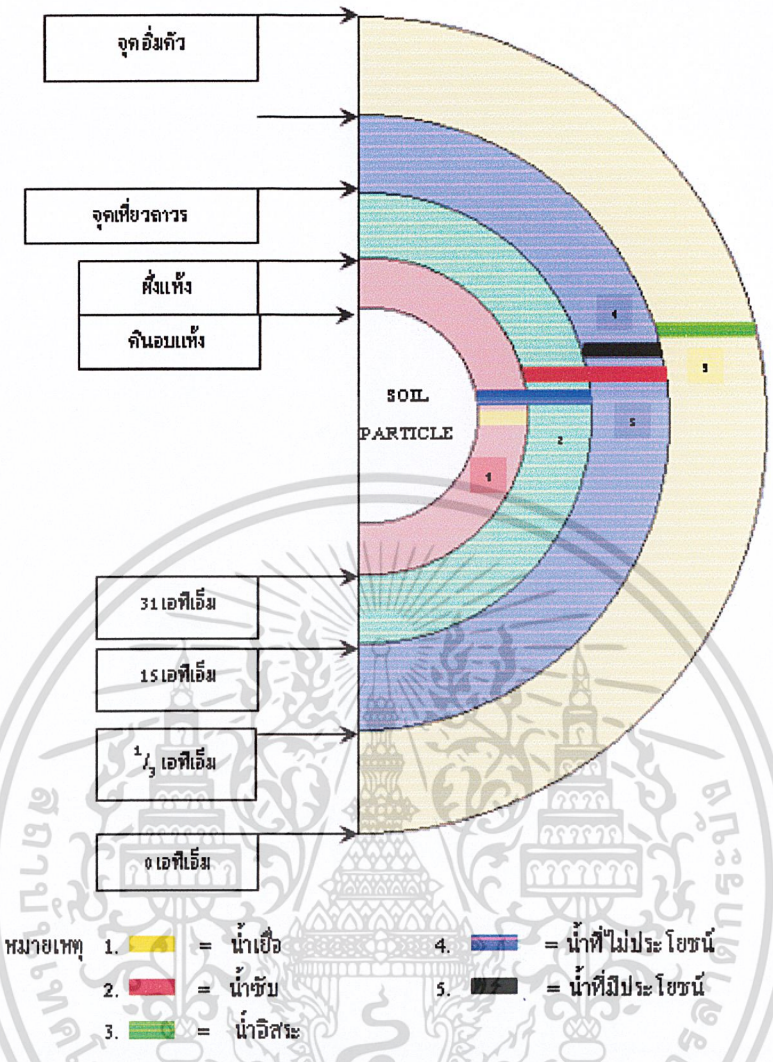
2.13 แรงดูดยึดความชื้นของดิน

หลังจากฝนตกน้ำส่วนหนึ่งระบายออกไปจากดินแล้วดินนั้นยังเป็นดินชื้นอยู่ต่อไปอีกระยะหนึ่งการที่น้ำบางส่วนยังคงสามารถอยู่ในช่องว่างของดินโดยไม่ระบายออกไปจนหมดแสดงว่าดินมีแรงดูดยึดต่อน้ำจำนวนนั้นแรงดูดยึดนี้อาจแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

1. การดูดซับ (adsorption) การดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวอนุภาคดิน โดยเฉพาะผิวของอนุภาคที่มีประจุเกิดจากสมบัติมีขั้วของโมเลกุลของน้ำการดูดซับนี้มักจะเกิดขึ้นในขณะที่ดินมีระดับความชื้นค่อนข้างต่ำและอาจเกิดขึ้นได้ในอีกกรณี คือเมื่ออนุภาคดินมีไอออนบวกถูกดูดซับอยู่และไอออนเหล่านั้นดูดซับโมเลกุลของน้ำเอาไว้ล้อมรอบตัวมันเอง (water of hydration)

2. การดูดผ่านช่องเล็กๆ (osmotic suction) น้ำในดินมีสารละลายอยู่หลายชนิดละลายหรือแขวนลอยอยู่ไอออนต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งไอออนบวกจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวนอกของดินเหนียวที่มีประจุเป็นลบและทำให้ความเข้มข้นของไอออนในชั้นของไอออนบวกที่ถูกดูดซับสูงกว่าในสารละลายรวม (bulk solution) ถ้าความชื้นของดินค่อนข้างต่ำซึ่งไม่ถึงกับแห้งอนุภาคดินเหนียวมีโอกาสสัมพันธ์ (overlap) ซึ่งกันและกันและทำให้สารละลายในระหว่างชั้นทั้งสองนั้นเข้มข้นยิ่งขึ้นเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าสารละลายที่เข้มข้นจะมีการดูดแบบออสโมติกสูงถ้านำมาสัมผัสกับน้ำบริสุทธิ์ผ่านเมนเบรนกึ่งซึมได้ (semipermeable membrane) น้ำจะเคลื่อนตัวผ่านเมนเบรน(Membrane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

รูปที่ 2.3 ประเภทต่างๆของน้ำในดิน โดยประมาณที่ระดับความชื้นต่างๆ
(ปรับปรุงมาจากคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ไปหาสารละลายนั้นๆปรากฏการณ์นี้ก็ใช้ได้กับดินนั่นคือถ้าสารละลายในบริเวณการดูดซับนั่นคือถ้าสารละลายในบริเวณการดูดซับ (adsorption zone) ของอนุภาคดินเหนียวเข้มข้นมากดินนั้นจะมีแรงดึงดูดน้ำที่เพิ่มขึ้นและน้ำที่ถูกดึงดูดเข้าไปในระหว่างดินเหนียว 2 แผ่นที่เรียงซ้อนกันจะดันให้ดินเหนียวพองตัว

3. แคพิลลารีตี้ (capillarity) เป็นแรงดึงน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำซึ่งเป็นผลรวมระหว่างความเชื่อมแน่น (cohesion) ของน้ำและการประสาน (adhesion) ระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดินตรงผิวของน้ำ (air - water interface) ปรากฏการณ์นี้อาจเห็นได้ทั่วไปคือ เมื่อจุ่มหลอดเล็ก ๆที่ผนังด้านในเปียกน้ำลงไปในน้ำผิวเรียบจะมีน้ำบางส่วนดึงดูดขึ้นไปขังอยู่ในหลอดและถ้าสังเกตจะเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าผิวของน้ำในหลอดจะเว้าลงไปในน้ำและความโค้งของผิวน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของหลอดเล็กลงและในขณะเดียวกันความสูงของน้ำที่ขังอยู่ในหลอดจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีของหลอดเล็กลงด้วยการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์แสดงให้เราทราบว่ามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างความสูงของน้ำในหลอดแคพิลลารีกับรัศมีของหลอด หรือความโค้งของผิวน้ำในหลอดปรากฏการณ์นี้สามารถใช้ได้กับดินโดยที่ดินมีรูพรุนซึ่งเป็นช่องแทรกตัวอยู่ทั่วไปทั้งในเม็ดดินและระหว่างเม็ดดินถึงแม้ช่องในดินจะมีรูปร่างและความต่อเนื่องที่แตกต่างจากหลอดแคพิลลารีตี้ มากแต่เราสามารถดัดแปลงปรากฏการณ์แคพิลลารี (capillarity phenomenon) ใช้กับดินได้

2.14 สภาพของน้ำในดิน

ในช่องว่างของดินจะมีน้ำและอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญถ้าช่องว่างของดินมีปริมาณน้ำมากหรือมีน้ำขังตลอดเวลาย่อมแสดงว่าไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างดังนั้นสามารถแบ่งสภาพของน้ำในดินออกได้ตามความแตกต่างของน้ำที่มีอยู่ในดินได้ดังต่อไปนี้

1. สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) คือดินที่มีน้ำอยู่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดินได้แก่ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขัง

2. สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated soil) คือดินที่มีน้ำอยู่ไม่เต็มในสัดส่วนของเปอร์เซ็นต์ของอากาศและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในส่วนประกอบของดินได้แก่ดินที่ดอนที่ใช้ทำการเกษตรกรรมโดยทั่วไป

3. สภาพความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity : FC) คือสภาพของดินที่สามารถอุ้มน้ำหรือดูดยึดน้ำได้มากที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินลงไป 6 นิ้วช่องว่างขนาดเล็กในดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำส่วนน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ออกหมดโดยแรงดึงดูดของโลก

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

5. สภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช (permanent wilting point) เป็นสภาพที่เกิดขึ้นเนื่อง จากในช่องว่างขนาดเล็กของดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อยประกอบกับมีแรงยึดเพิ่มขึ้นในเวลากลางวันพืช จะต้องคายน้ำทำให้อัตราการคายน้ำมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืชทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบชั่วคราวเมื่อเราเพิ่มน้ำให้กับดินอาการเช่นนี้ก็จะหายไปในกรณีที่เราไม่เพิ่มน้ำให้แก่ดินปริมาณน้ำในดินก็จะน้อยลงไปเรื่อยๆประกอบกับแรงดูดยึดมีค่ามากขึ้นทำให้ปริมาณการดูดน้ำของพืชได้น้อยและยากกว่าเดิมทำให้พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาแบบรุนแรงมากสภาพเช่นนี้จะทำให้พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวรแม้นเราเพิ่มปริมาณน้ำในดินก็ตาม (รูปที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

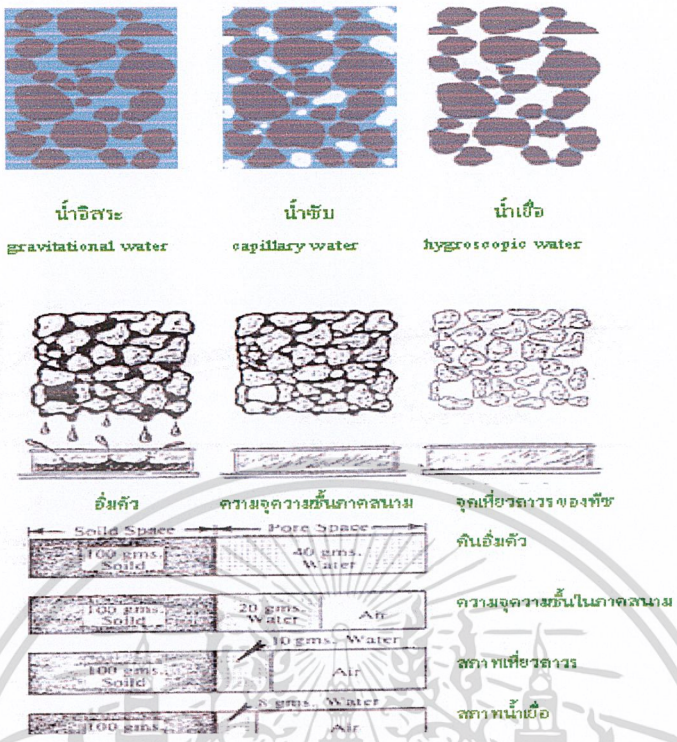
น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเนื้อดินเป็นหลักดินเหนียว ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดพบว่าน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีช่วงกว้างกว่าดินร่วนและดินทรายการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพาะปลูกต้องคำนึงเนื้อดินเป็นองค์ประกอบด้วยถ้าเนื้อดินเป็นดินทรายการให้น้ำต้องบ่อยครั้งมากกว่าดินร่วนและดินเหนียวในการหาน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหาได้ดังนี้ น้ำที่เป็นประโยชน์ = ความจุความชื้นภาคสนาม – ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินในระดับต่างๆกับเนื้อดินดังตารางที่ 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

(เกษมศรี, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สภาพของน้ำในดิน
(ปรับปรุงมาจากเกษมศรี, 2541)

2.15 ปริมาณความต้องการน้ำของพืช

พืชแต่ละชนิดต้องการน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ พันธุกรรมอายุ และชนิดของพืชเป็นต้นในช่วงที่พืชต้องการน้ำมากที่สุดควรเป็นช่วงที่พืชสังเคราะห์แสงเพราะพืชต้องการน้ำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและในสภาพอากาศร้อนจัดหรือลมแรงซึ่งพืชจะมีการระเหยน้ำในอัตราสูงปริมาณความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณความต้องการน้ำของพืชตลอดฤดูปลูก

ชนิดของพืช	ปริมาณน้ำที่ใช้ (มิลลิลิตร)
ข้าวโพด	576 – 688
ส้ม	816 – 456
ฝ้าย	1,216
แตง	656
ข้าว	1,800 – 2,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 เครื่องวัดความชื้นในดิน

เครื่องมือสำหรับใช้ศึกษาความชื้นในดินโดยวัดสมบัติบางประการของดินที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำเมื่อวัดด้วยเครื่องมือแล้วจึงนำมาเทียบหาปริมาณน้ำจากเส้นกราฟมาตรฐานเครื่องมือที่นิยมใช้ได้แก่ เทนซิโอมิเตอร์แท่งวัดความชื้น และเครื่องวัดการกระจายของนิวตรอน

2.16.1 เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer)

เทนซิโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดความเครียดเมตริก (metric suction) ของความชื้นในดินที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อกำหนดตารางและปริมาณการให้น้ำชลประทานแก่พืชและยังสามารถใช้ศึกษาทดลองเกี่ยวกับความชื้นในดินได้อย่างกว้างขวางความเครียดเมตริกของความชื้นในดินเกิดจากการที่อนุภาคของดินดูดยึดความชื้นไว้ที่ผิวของอนุภาคและในช่องว่างขนาดเล็กในดิน (Capillary pores) จึงทำให้ความชื้นในดินอยู่ในสภาวะที่ไม่อิสระซึ่งจะมีผลถึงความยากง่ายในการที่รากพืชจะดูดน้ำไปใช้จากดินที่ระดับความชื้นหนึ่งๆกล่าวคือพืชจะต้องใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำอย่างน้อยเท่ากับความเครียดของน้ำในดินจึงจะดูดน้ำไปใช้ได้การบอกปริมาณน้ำในดินเพียงอย่างเดียวเป็นการไม่เพียงพอเพราะเราไม่ทราบว่าน้ำในดินขณะนั้นมีระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยแค่ไหนแต่ถ้าเราบอกเป็นระดับความเครียดของน้ำในดินบอกให้ทราบถึงระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืชในขณะนั้นๆซึ่งระดับความเครียดเมตริกของน้ำในดินสามารถวัดโดยเทนซิโอมิเตอร์ (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2544) องค์ประกอบของเทนซิโอมิเตอร์แสดงอยู่ในภาพที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

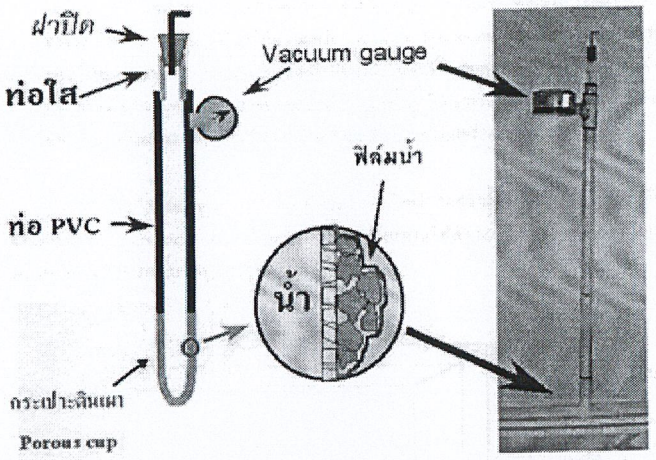
1.1 กระเปาะดินเผา (porous ceramic cup) จะฝังอยู่ในดินระดับความลึกที่ต้องการวัดความเครียดของน้ำในดิน

1.2 ท่อกลวงเชื่อมระหว่างกระเปาะดินเผากับเครื่องวัดความเครียด

1.3 เครื่องวัดความเครียด ซึ่งมีอยู่หลายแบบคือเกย์สูญญากาศ (vacuum gauge) มาโนมิเตอร์ปรอท (mercury manometer) หรือเครื่องมืออื่นๆก็ได้

1.4 ฝาปิดเป็นทางเติมน้ำและไล่อากาศออกจากเทนซิโอมิเตอร์ขณะใช้งาน ส่วนต่างๆของเทนซิโอ-มิเตอร์จะบรรจุน้ำเต็มทุกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของเทนซิโอมิเตอร์และรูปขยายกระเปาะดินเผา
เมื่อสัมผัสอยู่กับอนุภาคดินโดยมีฟิล์มน้ำเป็นตัวเชื่อม
(อิทธิสุนทร, 2544)

หลักการทำงานของเทนซิโอมิเตอร์จากรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนขยายของกระเปาะดินเผาขณะที่สัมผัสกับอนุภาคของดินผนังของกระเปาะดินเผาจะมีคุณสมบัติพิเศษโดยมีช่องว่างขนาดเล็กและมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมออยู่เป็นจำนวนมากขณะที่กระเปาะดินเผาเปียกช่องในผนังกระเปาะดินเผาจะบรรจุน้ำเต็มทุกส่วนความตึงผิวของน้ำที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศจะเป็นตัวอุดรูของช่องว่างขนาดเล็กนี้ไว้โดยน้ำสามารถไหลผ่านช่องนี้ได้แต่ฟิล์มน้ำจะอุดไม่ยอมให้อากาศเคลื่อนผ่านโดยฟิล์มน้ำจะทำหน้าที่คล้ายแผ่นยางบางๆเคลือบปิดช่องว่างนี้และฟิล์มน้ำนี้ก็จะเชื่อมต่อเป็นผืนเดียวกับฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคของดินขณะที่ดินแห้งฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบอนุภาคดินจะบางลงและยึดติดกับอนุภาคดินด้วยแรงที่มากขึ้นและจะเกิดแรงดึงน้ำออกจากเทนซิโอมิเตอร์ผ่านทางช่องที่ผนังของกระเปาะดินเผาทำให้น้ำในเทนซิโอมิเตอร์ เกิดความเครียด (tension) ขึ้นและความเครียดนี้จะสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งการไหลของน้ำจากภายในเทนซิโอมิเตอร์ออกสู่ดินหยุดจุดนี้ความเครียดน้ำในดินจะเท่ากับความเครียดในน้ำเทนซิโอมิเตอร์ในทางกลับกันถ้ามีการให้น้ำแก่ดินอาจจะเนื่องจากฝนตกหรือให้น้ำชลประทานความเครียดของน้ำในดินจะลดลงขณะที่ความเครียดของน้ำใน เทนซิโอมิเตอร์ยังคงสูงอยู่น้ำจะไหลจากดินเข้าสู่เทนซิโอมิเตอร์ผ่านทางช่องในกระเปาะดินเผามีผลให้ความเครียดของน้ำในเทนซิโอมิเตอร์ลดลงจนความเครียดเท่ากับของน้ำในดินน้ำก็จะหยุดไหลค่าความเครียดของน้ำในดินที่ระดับความชื้นหนึ่งๆสามารถอ่านได้จากเครื่องวัดความเครียดของเทนซิโอมิเตอร์ถ้าการให้น้ำแก่ดินมากจนกระทั่งดินอิ่มตัวค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์จะอ่านได้ศูนย์แสดงว่าน้ำขณะนั้นไม่มีความเครียดอยู่เลยตัวอย่างการแปลความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์แสดงในตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.2 แท่งวัดความชื้น (Moisture block)

แท่งวัดความชื้นเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความชื้นของดินที่ใช้ความผันแปรของการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) หรือความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance) ของวัตถุพรุนบางชนิดกับความชื้นของวัตถุพรุนหลักการใช้แท่งวัดความชื้นมีว่าความนำไฟฟ้าของแท่งวัดความชื้นเพิ่มขึ้นซึ่งความต้านทานไฟฟ้าของ แท่งวัดความชื้นลดลงเมื่อระดับความชื้นของแท่งวัดความชื้นมากขึ้นดังนั้นเมื่อนำเอาแท่งวัดความชื้นที่แห้งไปสัมผัสกับดินถ้าดินมีความชื้นความชื้นจะซึมเข้าไปในแท่งวัดความชื้นการนำไฟฟ้าจะดีกว่าเมื่อแท่งวัดความชื้นแห้งปริมาณความชื้นที่ซึมเข้าไปในแท่งวัดความชื้นย่อมผันแปรโดยความชื้นของดินที่สัมผัสกับแท่งวัดความชื้นดังนั้นความนำไฟฟ้าของแท่งวัดความชื้นโดยผันแปรโดยตรงกับระดับความชื้นของดินที่สัมผัสกับแท่งวัดความชื้น

ตารางที่ 2.8 ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเทนซิโอมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้	ความหมาย
0	เปียกมากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
0 – 15	ความชื้นประมาณจุดความชื้นชลประทานเหมาะกับการปลูกพืชที่ต้องการความชื้นสูง
25	พืชแสดงอาการว่าขาดน้ำ
สูงกว่า 25	พืชที่ไวต่อการขาดน้ำ รากสั้นอยู่ตื้นในกระถางที่ดินเนื้อหยาบแสดงอาการขาดน้ำให้ปรากฏ
40 – 50	พืชที่มีรากประมาณ 50 เซนติเมตรเริ่มแสดงอาการขาดน้ำ
70	พืชที่มีรากประมาณ 75 เซนติเมตรเริ่มแสดงอาการขาดน้ำ
80	ควรให้น้ำได้แล้วไม่ว่ากรณีใดๆ

(นงคราญ, และคนอื่นๆ, 2546)

2.16.3 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron moisture gauge)

เครื่องมือนี้ทำเป็นกล่องหรือตู้ที่มีหัวนิวตรอนที่สามารถต่อสายหรือหย่อนลงไปในดินทางท่ออลูมิเนียมที่ฝังไว้ในดินหัววัดจะทำหน้าที่คือผลิตรังสีนิวตรอนที่มีพลังงานหรือความเร็วสูงเมื่อไปชนกับโมเลกุลของน้ำแล้วจะเปลี่ยนเป็นนิวตรอนช้าแล้วขยายสัญญาณส่งต่อไปยังเครื่องนับจำนวนบนกล่องการชนกันของไฮโดรเจนของน้ำกับนิวตรอนเป็นการชนกันแบบ 1 : 1 จำนวนนิวตรอนที่ถูกลดพลังงานจะมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำในดินซึ่งปริมาณตัวเลขที่วัดได้ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปเทียบแล้วหาปริมาณน้ำในดินจากเส้นเปรียบเทียบดินที่เตรียมไว้ล่วงหน้าการติดตั้งเครื่องวัดการแผ่รังสีนิวตรอน

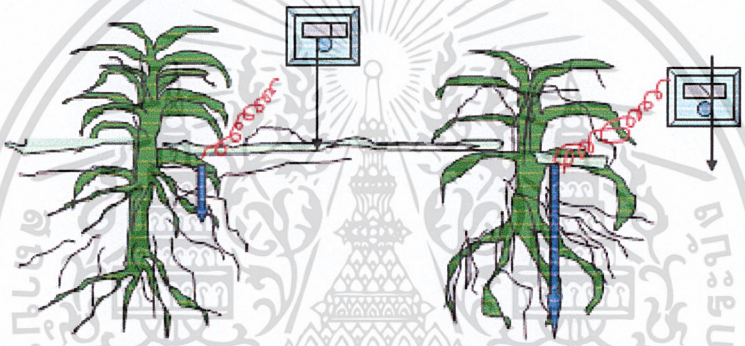
2.17 การสูญเสียความชื้นของดิน

การสูญเสียความชื้นของดินหมายถึงปริมาณความชื้นของดินมีปริมาณลดลงกว่าเดิมหรือมีปริมาณน้อยลงกว่าเดิม ซึ่งคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2541) ได้อธิบายเกี่ยวกับการสูญเสียความชื้นของดินว่ามีสาเหตุ 4 ประการ คือ

2.17.1 น้ำไหลบ่า (runoff)

น้ำไหลบ่าจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการแทรกซึมของน้ำเข้าไปในผิวดินต่ำกว่าอัตราการไหล

เครื่องมือวัดการแผ่รังสีนิวตรอน (Neutron Moisture Gauge)



รูปที่ 2.6 การติดตั้งก้อนความต้านทานเพื่อวัดความชื้นของดินในเขตราก

(นงคราญ, และคนอื่นๆ, 2546)

ได้รับน้ำของผิวดินการปรับปรุงโครงสร้างของดิน การคลุมผิวดินด้วยฟางหรือเศษพืชจะลดการไหลบ่าของน้ำส่วนการปลูกพืชหมุนเวียนที่มีพืชจำพวกหญ้าหรือถั่วผสมกันก็จะลดการไหลบ่าของน้ำได้

2.17.2 การระเหยน้ำจากดิน (evaporation from soil)

ปริมาณของน้ำที่ระเหยไปจากดินเป็นสัดส่วนที่ไม่น้อยของปริมาณทั้งหมดของน้ำที่ผิวดินได้รับการระเหยน้ำจากดินมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเมื่ออากาศแห้งหรืออุณหภูมิสูงหรือมีลมแรงดินที่แห้งและแตกระแหงมีช่องว่างขนาดใหญ่ทำให้ไอน้ำสามารถผ่านออกมาได้ง่ายทำให้ความชื้นสามารถระเหยจากดินได้ในส่วนของสิ่งปกคลุมดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือวัสดุที่ใช้คลุมดินที่เป็นวัสดุทึบแสงเช่น ฟางหรือเศษพืชซึ่งช่วยทำให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์มากระทบกับดินน้อยลงทำให้อุณหภูมิของผิวดินไม่สูงเกินไปในเวลากลางวันและไม่ต่ำเกินไปในเวลากลางคืนทำให้การระเหยของน้ำจากดินน้อยลงด้วยตรงกันข้ามถ้าเราคลุมดินด้วยวัสดุโปร่งแสงเช่นกระจกหรือพลาสติกใส ย่อมเกิดสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ทำให้การระเหยของน้ำจากดินเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.3 การระเหยน้ำจากพืช (transpiration by plants)

ปกติพืชชั้นสูงทุกชนิดจะต้องมีการคายน้ำออกมาในรูปของไอน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในลำต้นให้คงที่อยู่เสมอ ดังนั้นการคายน้ำของพืชเป็นการสูญเสียน้ำอีกวิธีหนึ่ง

2.17.4 การซาบซึมลงลึก (deep percolation)

เมื่อน้ำในดินซาบซึมพ้นบริเวณรากพืชลงไปโอกาสที่พืชจะนำน้ำเอาไปใช้ประโยชน์มีน้อยลงและน้ำที่ซาบซึมลงไปในดินอาจนำพาเอาธาตุอาหารของพืชไปด้วยเราอาจจะใช้วิธีพ่นน้ำให้เป็นฝอยให้ตกลงบนผิวดินทุก ๆส่วนเท่าๆ กันหรือดัดแปลงให้ผิวดินหรือร่องส่งน้ำลาดเทมากขึ้นทำให้น้ำเคลื่อนที่ถึงปลายน้ำได้เร็วขึ้นและมีการปรับปรุงผิวดินไม่ให้มีแอ่งมากและความลาดเทไม่ให้สูงโดยปรับผิวดินเป็นแบบขั้นบันไดแคบ

สรุป

น้ำเป็นสารประกอบจำพวกโมเลกุลที่มีขั้วสามารถละลายได้ดีในโมเลกุลที่มีขั้วธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชทั้ง 13 ธาตุที่อยู่ในดินพืชจะนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปของไอออน

ความชื้นของดินประกอบด้วย 2 สถานะ คือสถานะที่เป็นของเหลวเราเรียกว่า น้ำในดินและสถานะที่เป็นก๊าซเราเรียกว่า ไอน้ำในดินความชื้นของดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ 3 ประเภท คือ ความชื้นที่เป็นประโยชน์ความชื้นที่ไม่เป็นประโยชน์ และความชื้นเกินจำเป็น

ดินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเก็บน้ำไว้เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้ำในดินสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกแรงระหว่างไอออนในสารละลายและแรงระหว่างโมเลกุลของน้ำน้ำในดินอาจปรากฏในรูปต่าง ๆดังนี้คือ น้ำในแร่น้ำเยื่อ น้ำซับ น้ำอิสระและน้ำซึม

ในช่องว่างของดินจะมีน้ำและอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญถ้าช่องว่างของดินมีปริมาณน้ำมากหรือมีน้ำขังตลอดเวลาย่อมแสดงว่าไม่มีอากาศอยู่ในช่องว่างดังนั้นสามารถแบ่งสภาพของน้ำในดินออกได้ตามความแตกต่างของน้ำที่มีอยู่ในดินได้ดังต่อไปนี้คือสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ สภาพดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสภาพความจุความชื้นภาคสนาม สภาพน้ำเยื่อและสภาพจุดเหี่ยวถาวรของพืช เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความชื้นในดินแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่เครื่องวัดแรงดึงความชื้นในดิน (Tensiometer) แท่งวัดความชื้น (Moisture block) และเครื่องวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron moisture block)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น(Sequential extraction)

การหาปริมาณโลหะหนัก นิยมใช้เทคนิคแบบเป็นลำดับขั้น เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดินตะกอน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดินหรือกากตะกอน วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจะเกี่ยวข้องกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมในการสกัดแต่ละลำดับ (เพ็ญใจ, 2532)

ปริมาณของโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายลักษณะของโลหะหนักที่เป็นพิษในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักมักขึ้นกับพีเอช ศักย์รีดอกซ์และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม โดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่าน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (รัตติกาล, 2542)

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายน้ำได้

ปกตินำบริสุทธิ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นการสกัดในช่วงแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้นสามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการดูผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนต่อสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับกันอย่างหลวมๆ ด้วยแรงไฟฟ้าสถิตกับแร่ธาตุ ทั้งในสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ของดินตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ เป็นสารละลายที่เป็นอิเลคโทรไลท์แตกตัวในน้ำได้ และสามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น neutral salt electrolytes และ buffered neutral solutions ซึ่ง$MgCl_2$ และ NH_4OAc นิยมใช้กันมากในส่วนนี้ เพราะไอออนที่มีประจุ +2 จะมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีกว่า ยกเว้น NH^{4+}ที่สามารถสกัดโลหะหนักได้ดีเท่ากับประจุ+2 และตัวอะซิเตทสามารถจับกับโลหะหนักได้เสถียรมากกว่าโลหะหนักที่จับกับคลอไรด์ไอออน

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ละลายได้ในกรด

คุณสมบัติของสารในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตทถูกนำมาใช้ โดยทำให้อยู่ในสภาวะเป็นกรดที่พีเอช 5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิตริก 0.11 M พีเอช 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน สารตัวอย่างต่อสารที่ใช้สกัดเท่ากับ 1:25 กรัม: มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้

ในงานวิจัยนี้จะใช้การผสมของ reducing agent และกรดซึ่งปกติใช้สกัดโลหะ ปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับ Fe-oxidation หรือ Mn-oxide ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า reducing phase โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง amorphous และ crystalline ค่าพีเอชที่ได้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของ reducing agent HOAc-NH2OH.HCl ไม่สามารถรีดิวซ์ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนได้แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับพวกโลหะออกไซด์ ซึ่งในส่วนนี้ปกติจะนิยมใช้ hydroxylamine hydrochloride ใน acid เป็นการสกัด

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์ด้วยกลไกหลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อนและการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อใช้ละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ได้ สาเหตุที่สารสกัดนี้ต้องรักษาสภาพให้เป็นกรดเพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ เพราะอาจเกิดการดูดซับกลับอีกครั้งของโลหะที่ถูกสกัดหากมีสภาวะที่สามารถออกซิไดซ์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้สารสกัดและสภาวะโดยใช้ 30% H_20_2 ที่ถูกทำให้เป็นกรดด้วย HNO_3 ให้มีพีเอชเท่ากับ2 และเติม 1.0 NH_4OAC พีเอช 2 หลังจากทำการสกัดด้วย 30% H_20_2

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่เหลือ

หลังจากที่สกัดบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่นๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน ส่วนที่เหลือจากส่วนที่ 5 สามารถถูกละลายได้โดยการย่อยด้วย HF และ HNO_3ที่อัตราส่วน 2:3 v/v

ปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปการหาขั้นตอนในการสกัดที่มีเจาะจงในโลหะหนักแต่ละขั้นได้ ในการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบหลายขั้นตอน จะทำให้เกิดการชะโลหะหนักที่อยู่ในรูปอื่นออกมาได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามการสกัดแบบลำดับขั้นยังคงเป็นวิธีที่ใช้ในการอธิบายหาลักษณะของโลหะหนักรูปต่างๆ ในดินหรือกากตะกอนได้ดี

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J.Zerbe et al (1999) เป็นการศึกษาเพื่อหาปริมาณและสภาพของโลหะหนัก (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, และ Zn) ในตะกอนที่อยู่ก้นทะเลสาป Goreckie โดยใช้วิธีสกัดแบบลำดับขั้นทางเคมี ซึ่งใช้การสกัดตามรูปแบบของ Tessier มี 5 ขั้นตอน และระบุชนิดของโลหะได้เป็น 5 ส่วน (five fractions) คือ ส่วนที่ 1 โลหะที่แลกเปลี่ยนได้ เป็นส่วนที่ยึดอยู่บริเวณผิวตะกอน ส่วนที่ 2 โลหะที่ยึดกับคาร์บอเนต สามารถหลุดออกได้เมื่อปรับค่าพีเอชลง ส่วนที่ 3 โลหะที่ยึดกับเหล็กและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมงกานีสออกไซด์ ส่วนที่ 4 โลหะที่ยึดกับอินทรียวัตถุ และส่วนที่ 5 โลหะในรูปอื่นๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของผลึกแร่ โดยการสกัดลำดับขั้น 4 ขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นที่ 1 สกัดตะกอน 1 g ด้วย 10 ml of 1 M CH3COONH4 pH 7 เขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้โลหะส่วนที่ 1 หลุดออก

ขั้นที่ 2 สกัดต่อด้วย 20 ml of 1 M CH3COONH4 ทำให้เป็นกรดด้วย CH3COOH จนได้พีเอช 5 เขย่า 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้โลหะส่วนที่ 2 หลุดออก

ขั้นที่ 3 สกัดต่อด้วย 20 ml of 0.04 M NH4OH HCL in 25% (v/v) CH3COOH เขย่า 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จะทำให้โลหะส่วนที่ 3 หลุดออก

ขั้นที่ 4 สกัดต่อด้วย 5 ml of 0.02 M HNO3 + 5 ml of 30% H2O2 pH 2 เขย่า 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส สกัดต่อด้วย 5 ml of 30% H2O2 pH 2 เขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส และสกัดต่ออีกครั้งด้วย 10 ml of 3.2 M CH3COONH4 in 20% (v/v) HNO3 เขย่า 0.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จะทำให้โลหะส่วนที่ 4 หลุดออก

ขั้นที่ 5 ย่อยตัวอย่างส่วนที่เหลือด้วยกรด 10 ml of 65% HNO3 ในเครื่อง Microwave Digestion จนกว่าจะได้สารละลายส่วนใสออกมา จะทำให้โลหะส่วนที่เหลือหลุดออก

จากโลหะที่ทำการวิเคราะห์ทั้ง 8 ชนิดนี้ ในส่วนที่ 1 (โลหะที่แลกเปลี่ยนได้) ถูกตรวจพบได้น้อยมาก โดยที่พบได้มากที่สุดคือ Mn รองลงมาคือ Fe ต่อด้วย Pb และ Zn ส่วนโลหะชนิดอื่นแทบจะไม่พบเลย ส่วนที่ 2 (โลหะที่ยึดกับคาร์บอเนต) ตรวจพบ Mn มากที่สุด รองลงมาคือ Fe, Zn, Pb, Cd และ Ni ตามลำดับ โดย Cu และ Cr ไม่ถูกพบในส่วนนี้ ในส่วนที่ 3, 4 และ 5 สามารถพบโลหะที่ศึกษาอยู่แทบทุกชนิด ซึ่งส่วนที่ 3 (โลหะที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) จะพบ Fe และ Mn มาก รองลงมาคือ Zn และ Pb ส่วนที่ 4 (โลหะที่ยึดกับอินทรียวัตถุ) สามารถพบ Fe และ Mn มากที่สุด และรองลงมาคือ Zn, Pb, Cr, Cu, Ni และCd ส่วนสุดท้ายส่วนที่ 5 (โลหะในรูปอื่นๆ) พบโลหะหลักคือ Fe, Mn, Pb, Cu, Ni, Zn, Cr และ Cd เล็กน้อย

Beata Krasnodebska-Ostrega et al (2004) การศึกษานี้มีเป้าหมายหลักคือ เปรียบเทียบปริมาณการมีอยู่หรือการเคลื่อนที่ของธาตุในตัวอย่างดินที่เก็บมาจากบริเวณที่เป็นเขตอุตสาหกรรมและบริเวณป่าทั่วไปทั้งดินชั้นบนและชั้นล่าง โดยใช้วิธีการสกัดแบบลำดับขั้น 6 ขั้นตอนเพื่อวิเคราะห์ชนิดต่างๆ ของโลหะดังเช่น แลกเปลี่ยนได้ ยึดกับคาร์บอเนต แมงกานีสออกไซด์ เหล็กออกไซด์ อินทรียสาร ฯลฯ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอน 1-3 ก็จะคล้ายกับที่ใช้สำหรับ BCR โดยขั้นตอน 4, 5 และ 6 ซึ่งเป็นขั้นตอนใหม่มีการใช้สารเคมีในการสกัดดังนี้

ขั้นตอนที่ 4 สกัดด้วย 0.1 mol/L Ascorbic Acid in 0.5 mol/L Oxalate Buff. pH 7 เขย่า 1 ชั่วโมง ในที่มืด สามารถสกัดโลหะชนิด เหล็กออกไซด์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 สกัดด้วย 30% H2O2 pH 2 (ปรับด้วย HNO3 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เขย่า 3 ชั่วโมง สามารถสกัด อินทรียสารได้

ขั้นตอนที่ 6 สกัดด้วย conc. HNO3 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เขย่า 3 ชั่วโมง สามารถสกัดโลหะชนิดอื่นๆได้

จากการสกัดแบบลำดับขั้นพบว่าดินบริเวณเมืองและเขตอุตสาหกรรมมีธาตุที่ปนอยู่ในปริมาณที่สูง นอกจากนี้บริเวณผิวดินชั้นบนก็มีค่าสัดส่วนของโลหะใกล้เคียงกับชั้นแร่ธาตุอีกด้วย โดยปริมาณของโลหะมากกว่า 50% พบว่าเป็นชนิดแมงกานีสออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และอินทรียสาร ซึ่ง Cr และ Zn พบมากในส่วนของอินทรียสาร ส่วน Ar, Cu และ Pb จัดเป็นส่วนของออกไซด์รีดิวซ์ โดยสมมติได้ว่าออกไซด์คือรูปแบบผลึกของแร่ Mn และ Fe

SI Ji-tao et al (2006)ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความสามารถในการสกัดแคดเมียม ตะกั่ว และ สังกะสี ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ออกจากดิน โดยใช้ 0.1 โมลต่อลิตร $Ca(NO_3)_2$ เป็นตัวสกัด ทำการใส่ แคดเมียม ตะกั่ว และ สังกะสี ลงไปในดิน 3 ชนิดในปริมาณ 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 2000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยดิน 3 แหล่ง มีพีเอชในช่วง 3.8 ถึง 7.3 , OM 0.7 ถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นคเลย์ เท่ากับ 12.3 ถึง 35.6 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิและเวลาที่ให้แก่ดินมีดังนี้คือ 35 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 68 ชั่วโมง ,60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 ชั่วโมง และ 105 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 16 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิส่งผลต่อความสามารถในการสกัดโลหะชนิดต่างๆออกจากดิน ในดิน 2 ชนิดเมื่อใช้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้สามารถสกัด แคดเมียมและตะกั่วออกมาได้น้อยกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอื่นๆในการอบ แต่ในดินอีกชนิดหนึ่งจะให้ผลไม่ต่างกันเลยเมื่อใช้อุณหภูมิต่างๆ โดยส่วนมากแล้วเมื่อใช่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จะทำให้สกัดแคดเมียมและตะกั่วออกมาได้น้อยกว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอื่นๆ แต่สำหรับสังกะสีจะได้ผลการสกัดคล้ายกันในการทดลองทุกอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. เครื่องอะตอมมิคแอปซอฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu AA-680
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A
5. เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ ยี่ห้อ Brukeraxs รุ่น SRS 3400
6. ตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช
7. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizental shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
8. เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2
9. ตู้อบ
10. เครื่องกระบอกสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi B-169 vaccum-system
11. กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
12. กระดาษกรองขนาด 1 ไมโครเมตร
13. ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 100 มิลลิลิตร

3.1.2 สารเคมี

1. แอมโมเนียมอะซิเตต (CH_3COONH_4) A.R.Grade ,บริษัท Apex, USA
2. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) A.R.Grade ,บริษัท Apex, USA
3. กรดอะซิตริก (CH_3COOH) A.R.Grade ,บริษัท Italmar, Italy
4. กรดไนตริก (HNO_3) A.R.Grade ,บริษัท Italmar, Italy
5. ไฮดรอกซีลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH{\cdot}HCl$) A.R.Grade] ,บริษัท Italmar, Italy
6. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) A.R.Grade ,บริษัท Apex, USA
7. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) A.R.Grade ,บริษัท Italmar, Italy

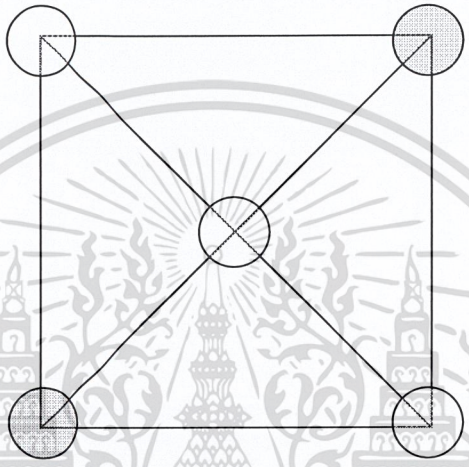
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แหล่งที่มาของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร โดย

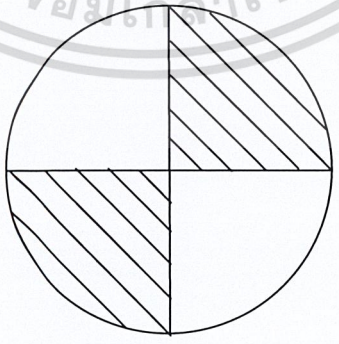
1. ดินเหนียว เก็บจากตำบลราชาเทวะ อำเภอราชาเทวะ จังหวัดสมุทรปราการ
2. ดินทราย เก็บจากตำบลภูหลวง อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

ก่อนขุดทำการถางหญ้า เศษวัชพืช หรือวัสดุ ที่อยู่บนผิวหน้าดินออกเสียก่อน ทำการกำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 เมตร × 5 เมตร ขุดดินที่มุมทั้งสี่และจุดตัดของเส้นทแยงมุม ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ใช้จอบ เสียม หรือพลั่ว ขุดหลุมเป็นรูป V ให้ลึกในแนวดิ่งประมาณ 15 เซนติเมตร ให้ครบทุกจุด ทุบให้ละเอียดพอประมาณแล้วเทรวมกัน เกลี่ยตัวอย่างดิน แผ่ให้เป็นรูปวงกลมแล้วแบ่งผ่ากลางเป็น 4 ส่วนเท่ากัน เก็บมาเพียง 2 ส่วนเพื่อเป็นตัวอย่างของดินทั้งหมด ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การสุ่มตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสังเคราะห์ดิน

นำดินที่ได้ไปตากให้แห้งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช นำดินที่ได้ไปทำการสังเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะชนิดต่างๆ อันได้แก่ แคดเมียมไนเตรท, เลดไนเตรท, คอปเปอร์ไนเตรท, ซิงค์ไนเตรท, โครเมียมไนเตรท และนิกเกิลไนเตรท แล้วใส่ลงในดินที่อยู่ในภาชนะพลาสติก ให้มีความเข้มข้นเป็น 0.3, 550, 350, 140, 295 และ270 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้นาน 1 เดือน โดยผึ่งแดดให้แห้งตามธรรมชาติ

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์ ตากแห้งโดยเทดินลงบนแผ่นผ้าพลาสติก หรือผ้ายาง เกลี่ยดินผึ่งไว้ในที่ร่มจนแห้ง ดินที่เป็นก้อนให้ใช้ไม้ทุบให้ละเอียดพอประมาณแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันจนทั่ว นำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองเป็นลำดับต่อไป ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก(CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวโดยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีอบแห้งและกราวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณเหล็กออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณแมงกานีสออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ความเข้มข้นของโลหะ	เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์ปชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

หมายเหตุ : ดูการทดลองในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

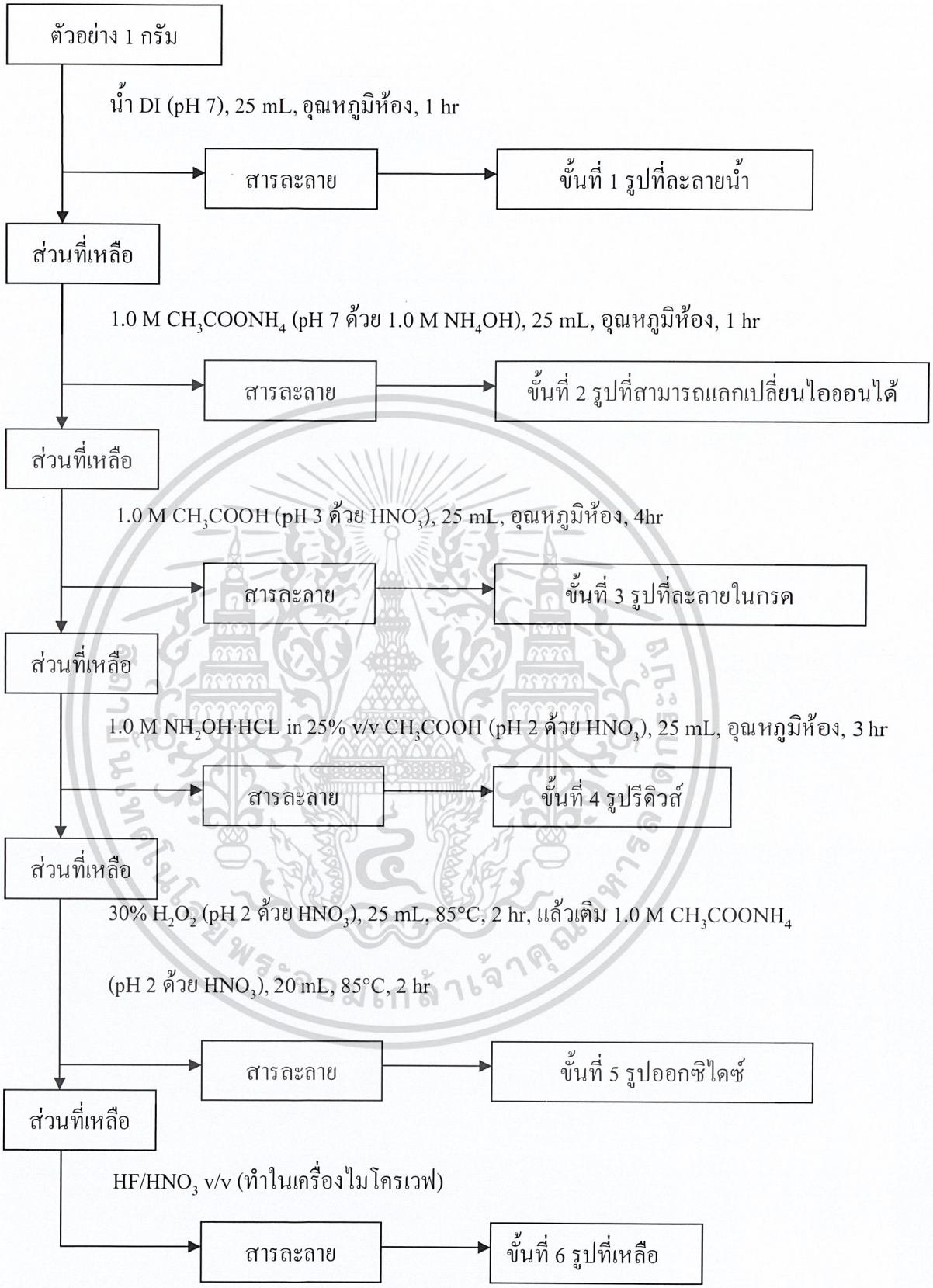
3.5 การทำการทดลอง

นำดินสังเคราะห์ไปอบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆกันดังนี้ อุณหภูมิ 60°C , 80°C และ 100°C เวลา 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนดแล้ว นำไปหาค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในดินและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni และ Cd) ในรูปต่างๆโดยวิธีสกัดแบบลำดับขั้น และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

3.6 การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential extraction)

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์มาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะรูปแบบต่างๆ ในดินสังเคราะห์ซึ่งลำดับการสกัดเป็นดัง รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การสกัดโลหะรูปแบบต่างๆออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น (รัตติกาล, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินทั้ง 2 แหล่งมีผลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (ดูตารางทั้งหมดได้ที่ภาคผนวก ค)

ชุดตัวอย่างดิน	pH	CEC (meg/100g)	OM %	ความชื้น %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	MnO_2 %
นครราชสีมา	6.91 ± 0.06	8.84 ± 0.05	0.52 ± 0.02	0.11 ± 0.09	-	2.78	-
สมุทรปราการ	5.40 ± 0.02	24.36 ± 0.06	2.09 ± 0.11	0.54 ± 0.09	20.3	7.71	-

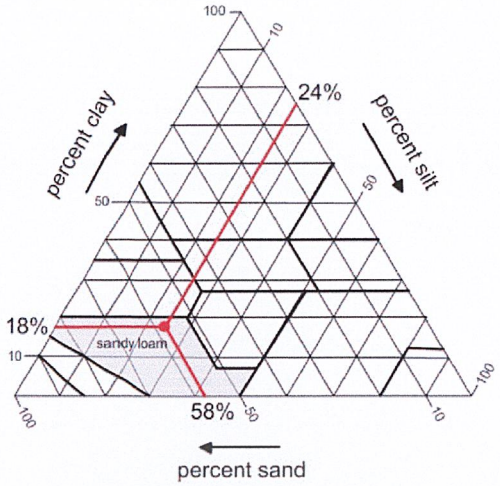
การกระจายตัวของอนุภาคดิน				
ชุดตัวอย่างดิน	% sand	% silt	% clay	ลักษณะดิน
นครราชสีมา	58%	24%	18%	Sandy loam
สมุทรปราการ	30%	27.5%	42.5%	Clay

จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินทั้ง 2 แหล่ง พบว่า

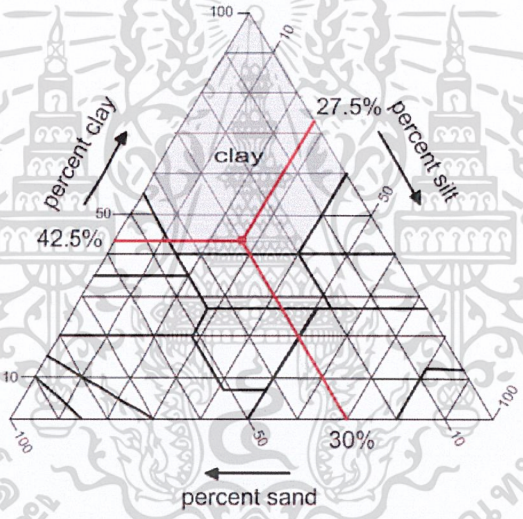
ชุดตัวอย่างดินนครราชสีมา มีการกระจายตัวของอนุภาคดินในรูปของ Sandy loam ดังรูปที่ 4.1

มีลักษณะเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีค่าพีเอชเป็นกลาง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและอินทรียวัตถุต่ำ ทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน) มีค่าเปอร์เซ็นต์ Fe_2O_3 เท่ากับ 2.78 และมีค่าเปอร์เซ็นความชื้นเท่ากับ 0.1120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของอนุภาคดิน ของดินตัวอย่างนครราชสีมา



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอนุภาคดิน ของดินตัวอย่างสมุทรปราการ

ส่วนชุดตัวอย่างดินสมุทรปราการ มีการกระจายตัวของอนุภาคดินในรูปของ Clay ดังรูปที่ 4.2 มีลักษณะเป็นดินเหนียว สีเทาเข้มหรือสีน้ำตาลปนเทา ค่าพีเอชเป็นกรดอ่อน ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง และอินทรียวัตถุมีค่าปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน) มีค่าเปอร์เซ็นต์ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับ 20.3 และ 7.71 และมีค่าเปอร์เซ็นความชื้นเท่ากับ 0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในดินตัวอย่างก่อนสังเคราะห์

ชนิดโลหะ	ปริมาณ (กรัม/กิโลกรัมดิน)	
	ดินนครราชสีมา	ดินสมุทรปราการ
แคดเมียม	0.008 ± 0.002	0.007 ± 0.000
สังกะสี	0.048 ± 0.003	0.067 ± 0.014
นิกเกิล	0.036 ± 0.003	0.039 ± 0.005
ทองแดง	0.008 ± 0.001	0.009 ± 0.002
ตะกั่ว	0.004 ± 0.001	0.009 ± 0.000
โครเมียม	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000

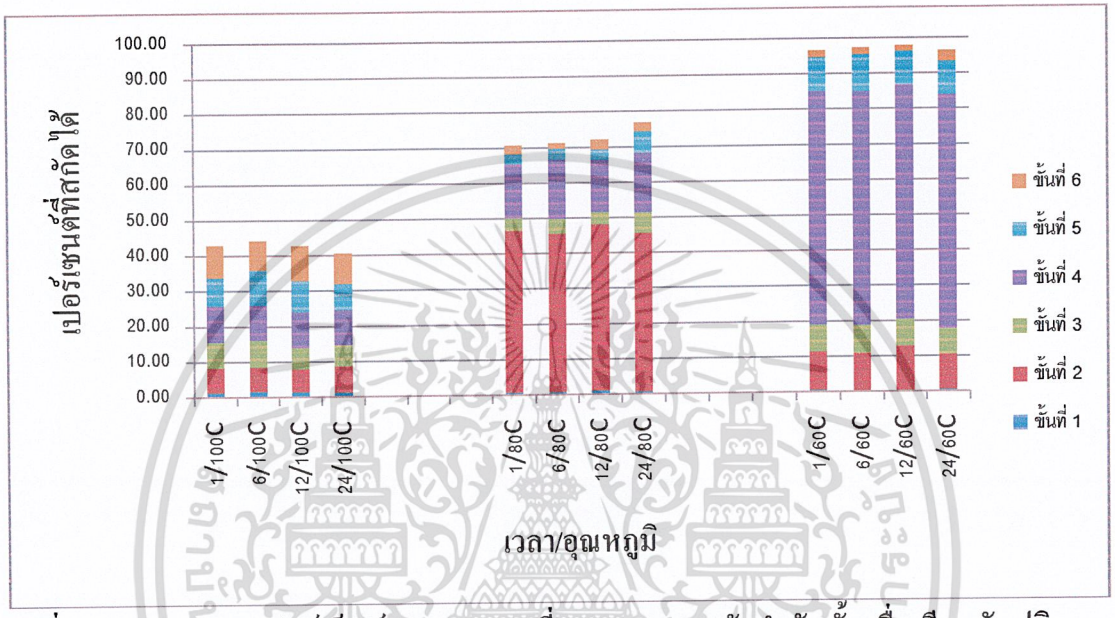
จากตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณโลหะหนักต่างๆ (แคดเมียม, สังกะสี, นิกเกิล, ทองแดง, ตะกั่ว, โครเมียม) ในดินตัวอย่างก่อนสังเคราะห์ โดยที่ปริมาณโลหะหนักของดินทั้งสองแหล่งมีค่าเริ่มต้นใกล้เคียงกัน (การคำนวณอยู่ในภาคผนวก จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาการสกัดโลหะหนักในดินโดยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) ที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักด้วยการสกัดลำดับขั้น ได้ผลดังนี้

4.2.1 การสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์

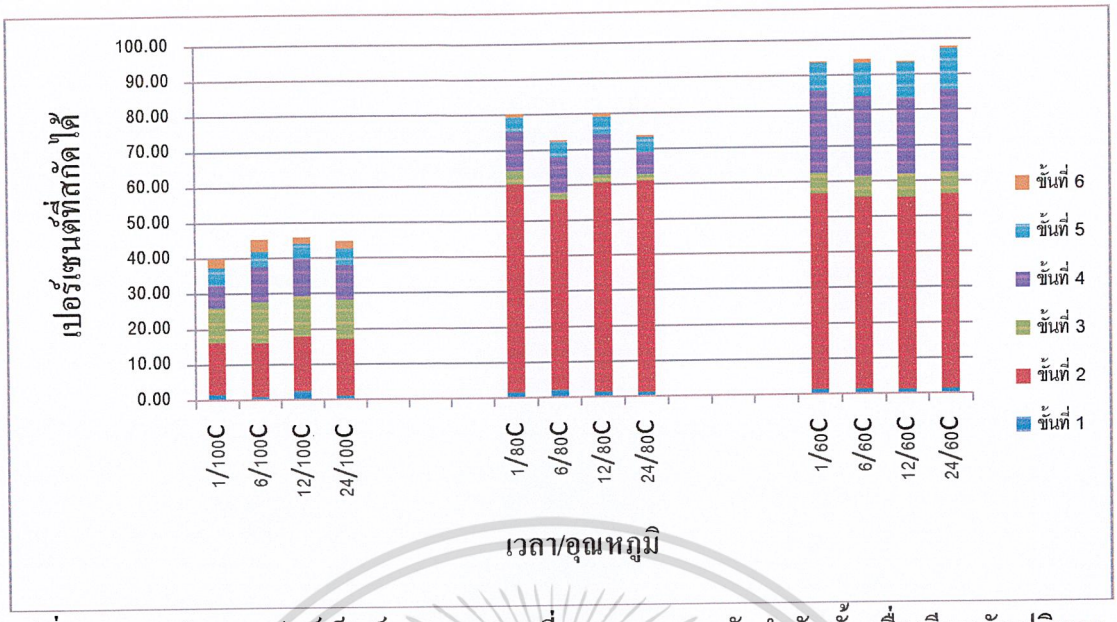


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดทองแดงได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 80 และที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นพบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของทองแดงที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) และ 80 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน)

โดยที่พบว่าการสกัดลำดับขั้นได้ปริมาณรวมทั้ง 6 ขั้นแล้วมีปริมาณไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (100% คือ ปริมาณโลหะหนักที่พบในดินตัวอย่างก่อนการสังเคราะห์ + ปริมาณโลหะหนักที่สังเคราะห์ลงในดิน หน่วย g/Kg ดิน) เนื่องจากการสกัดตัวอย่างดิน นั้นไม่สามารถสกัดได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งในปัจจุบันก็ยังมีการศึกษาหาวิธีการสกัดลำดับขั้นให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุดอยู่อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

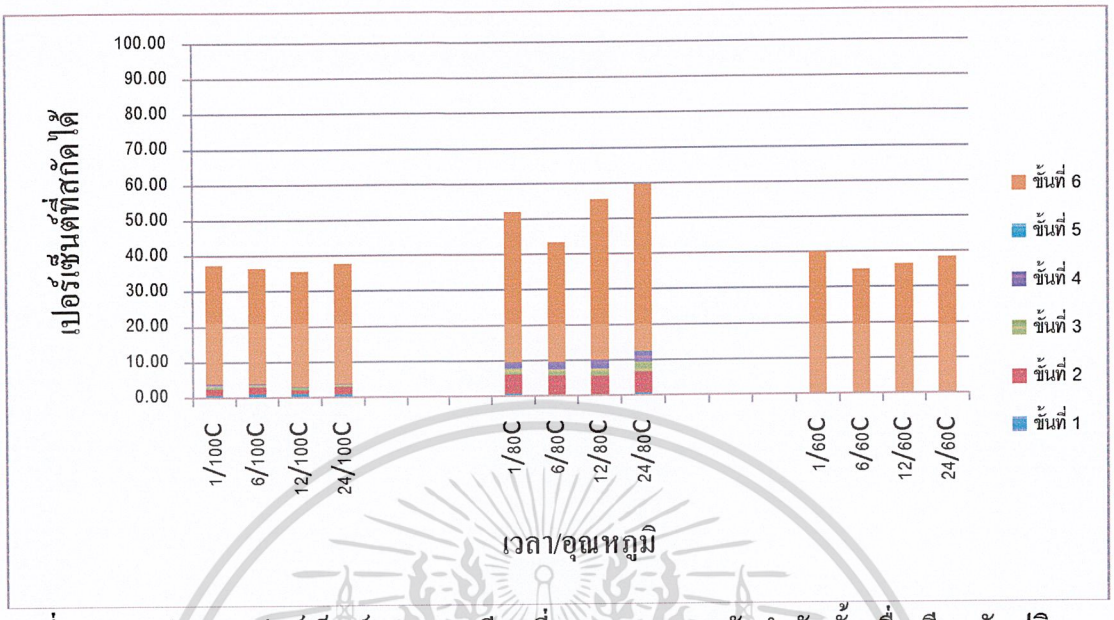
จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดทองแดงได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 80 และที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นพบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของทองแดงที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ทุกอุณหภูมิจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน)

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะทองแดงออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม เนื่องมาจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินจังหวัดนครราชสีมาที่มีปริมาณสารอินทรีย์ (OM) ต่ำกว่า (ตารางที่ 4.1) จึงถูกสกัดจากขั้นตอนการสกัดลำดับขั้นได้ในปริมาณที่มากตามไปด้วย

อุณหภูมิ (60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส) และเวลา (1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง) ที่ใช้ในการอบทำให้เปอร์เซ็นความชื้นในดินหลังการอบมีน้อยมาก ประมาณ 0 – 0.003 % (ตารางที่ ค- 20) ทำให้ความชื้นไม่มีผลต่อการสกัดโลหะหนัก จึงไม่นำผลของความชื้นมาพิจารณาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

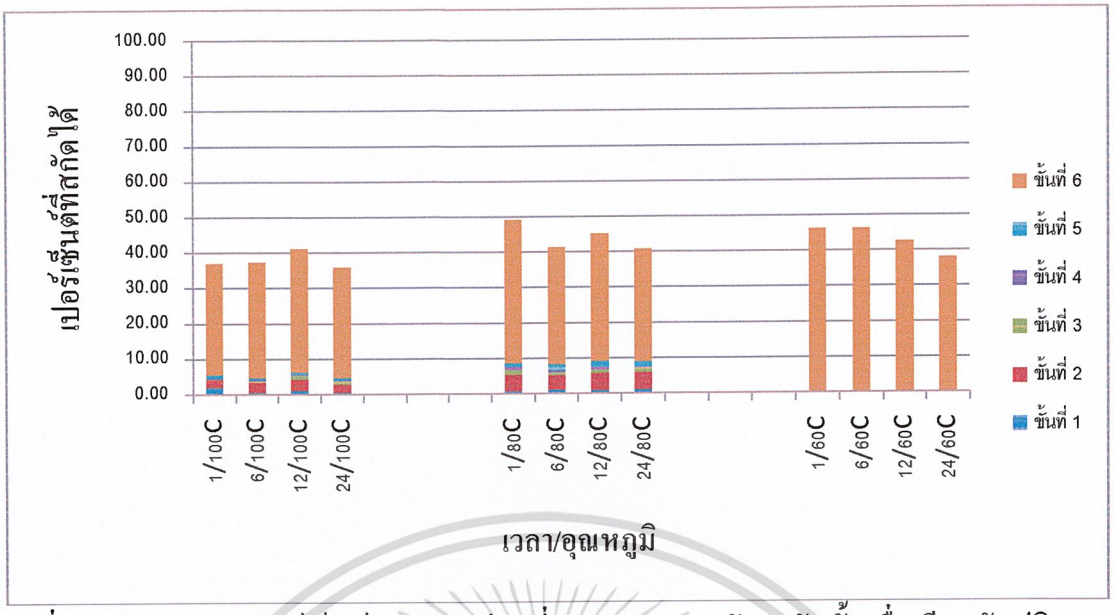
4.2.2 การสกัดแคดเมียมออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของแคดเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดแคดเมียมได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 60 และ 100 องศาเซลเซียส (ที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดออกมาได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน) ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของแคดเมียมที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ทุกอุณหภูมิจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 6 (ส่วนที่เหลือ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



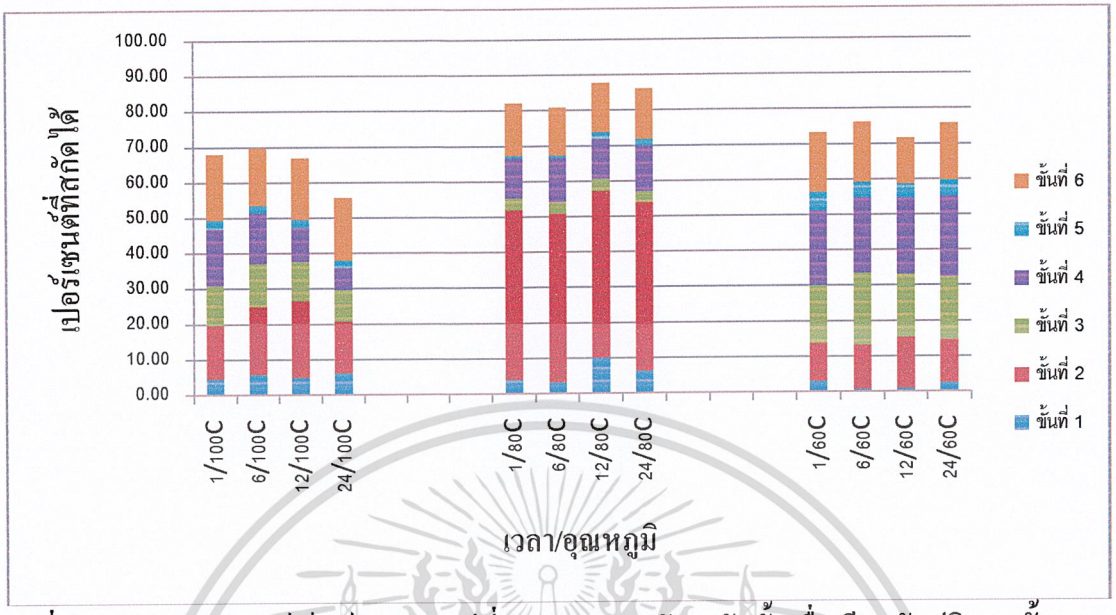
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของแคดเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

จากกราฟพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดแคดเมียมได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 60 และ 100 องศาเซลเซียส (ที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดออกมาได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน) ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของแคดเมียมที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ทุกอุณหภูมิจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 6 (ส่วนที่เหลือ)

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะแคดเมียมออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

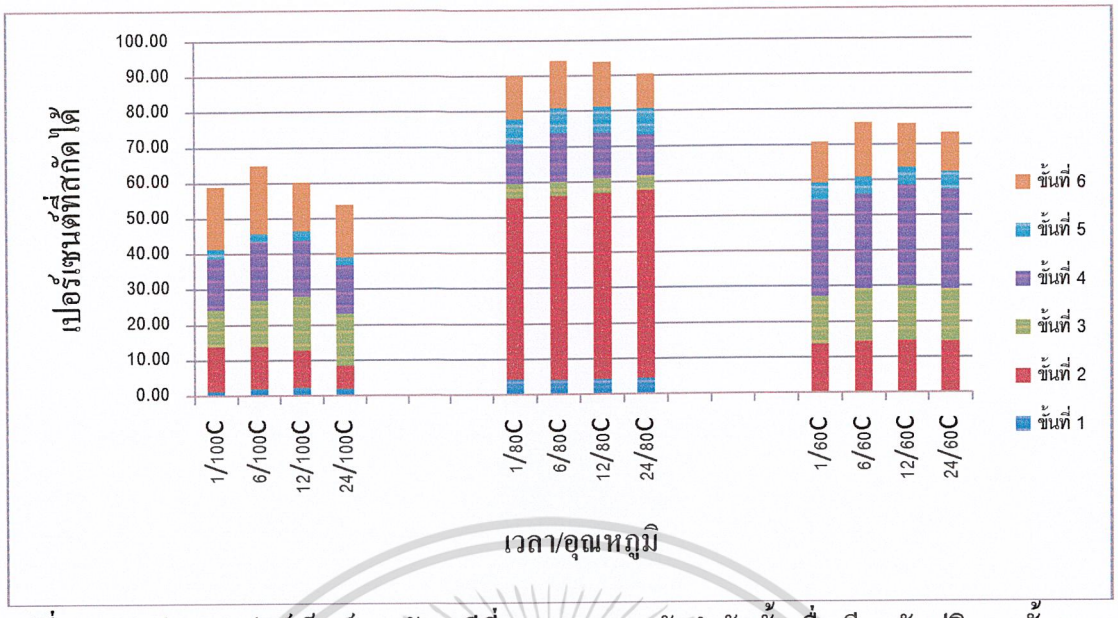
4.2.3 การสกัดสังกะสีออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดสังกะสีได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 60 และที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของสังกะสีที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) ส่วนที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน), 3 (ส่วนที่ยึดกับคาร์บอเนต), 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) และ 6 (ส่วนที่เหลือ) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



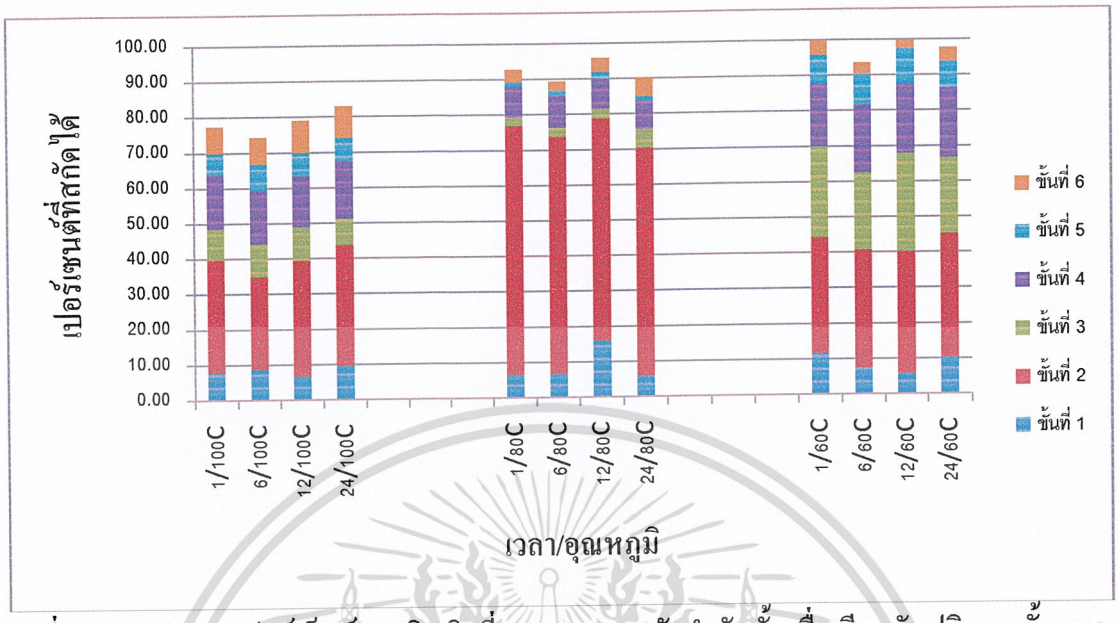
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

จากกราฟจะพบว่าแนวโน้มการสกัดจะคล้ายกับดินเหนียว คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดสังกะสีได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 60 และที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของสังกะสีที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) ส่วนที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน), 3 (ส่วนที่ยึดกับคาร์บอเนต), 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) และ 6 (ส่วนที่เหลือ) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะสังกะสีออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

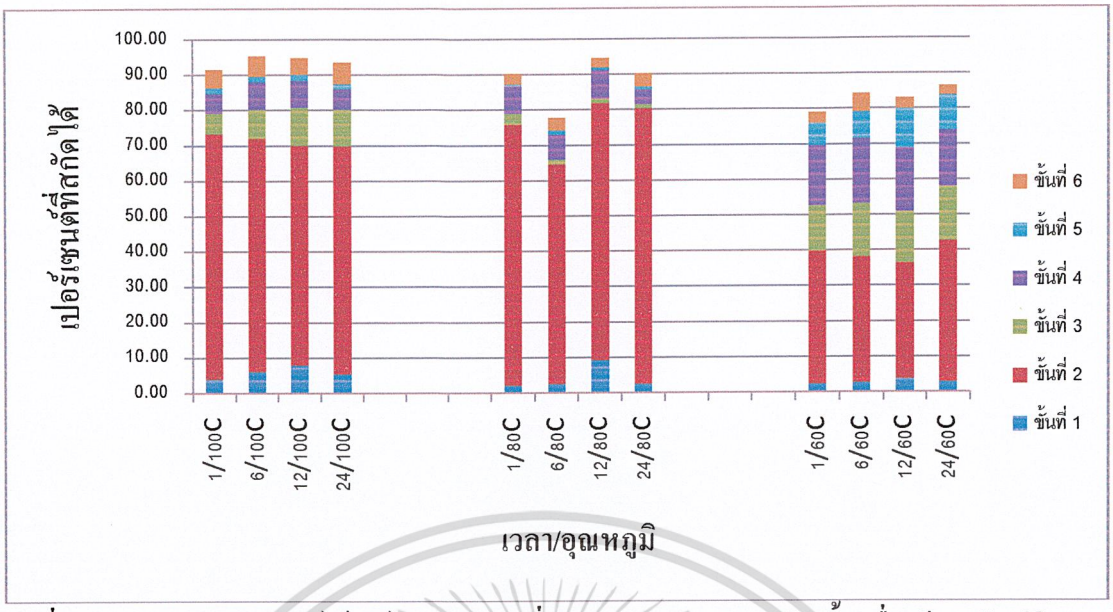
4.2.4 การสกัดนิกเกิลออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของนิกเกิลที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดนิกเกิลได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 80 และที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของนิกเกิลที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน), 3 (ส่วนที่ยึดกับคาร์บอเนต) และ 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



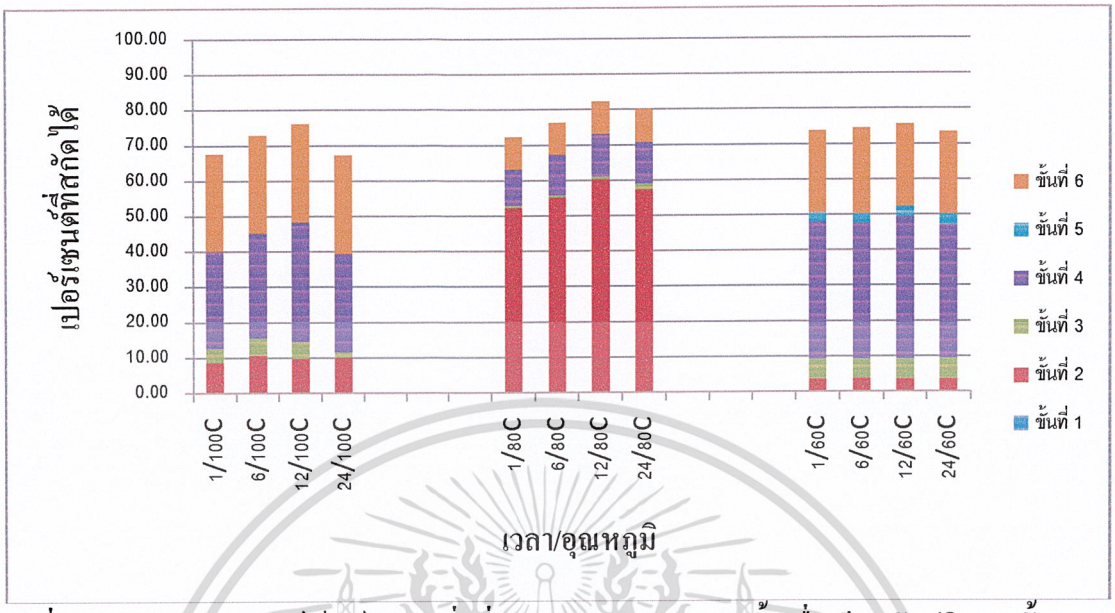
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของนิกเกิลที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดนิกเกิลได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของนิกเกิลที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่ทุกอุณหภูมิจะสามารถสกัดนิกเกิลได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน)

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะนิกเกิลออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

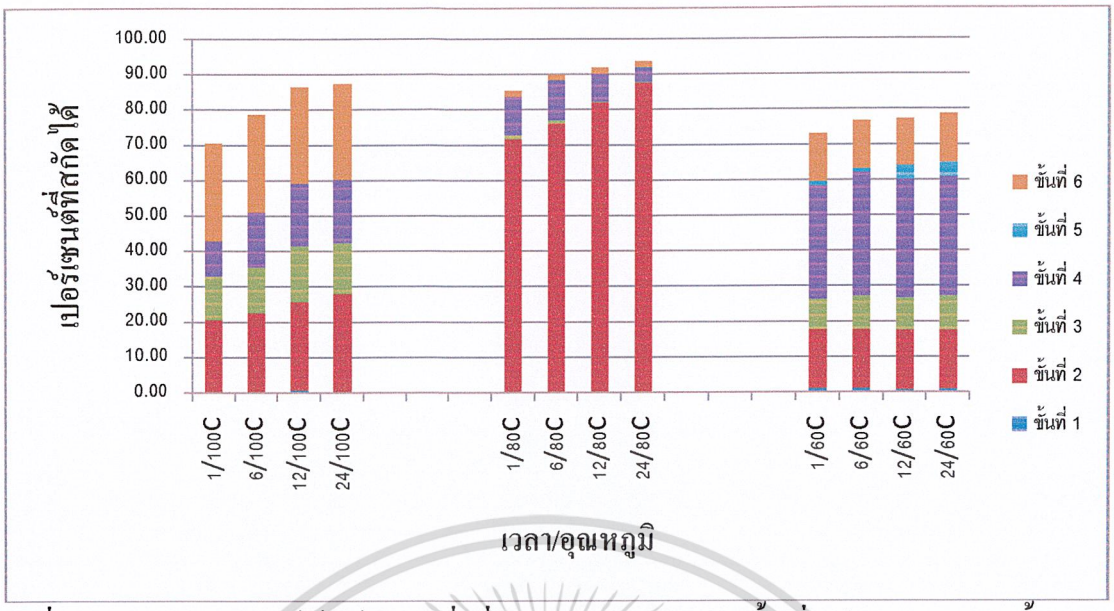
4.2.5 การสกัดตะกั่วออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดตะกั่วได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 60 และที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของตะกั่วที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) สำหรับที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



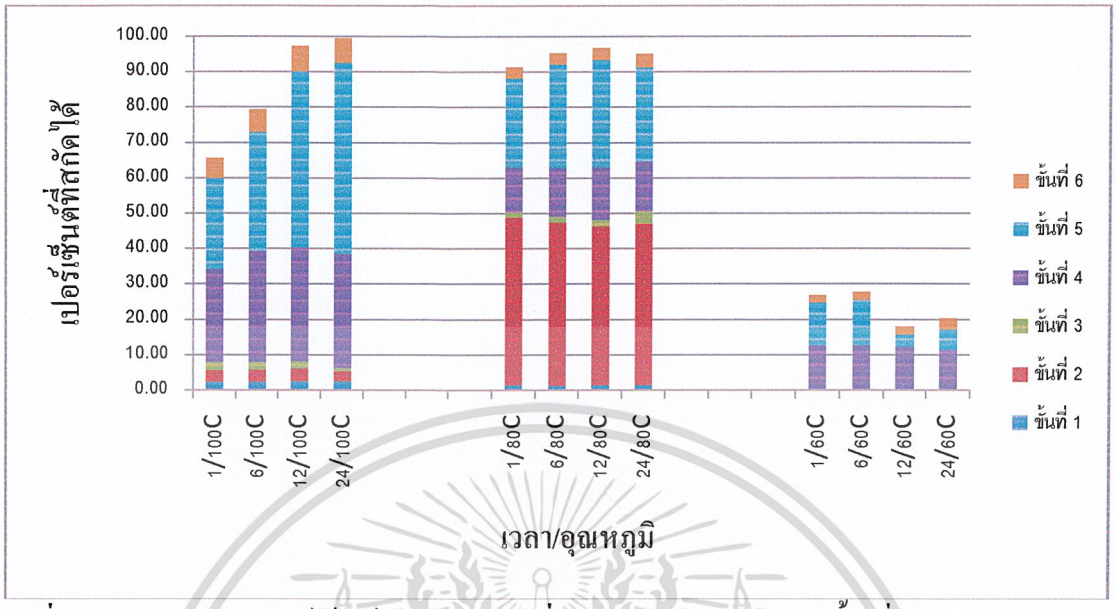
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดตะกั่วได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 60 จะพบมากกว่า 80 และที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่า 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของตะกั่วที่สกัดออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดตะกั่วได้มากที่สุดในขั้นที่ 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) สำหรับที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดตะกั่วได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) และสำหรับที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดได้มากในขั้นที่ 2 และ 6 (ส่วนที่เหลือ) ซึ่งจะพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะตะกั่วออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

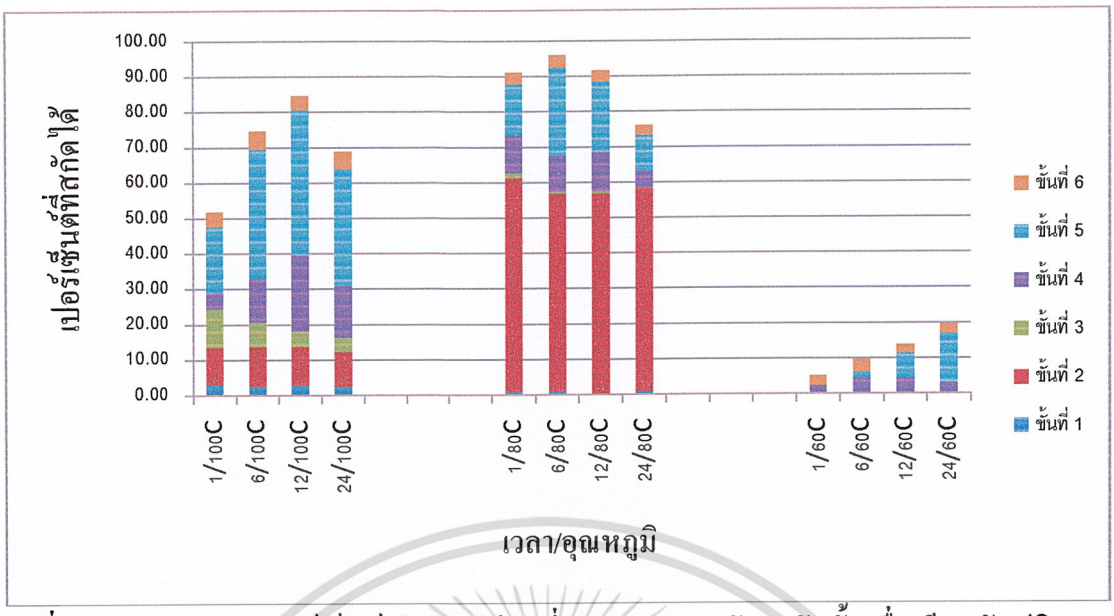
4.2.6 การสกัดโครเมียมออกจากดินสังเคราะห์



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินเหนียว

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 และ100 องศาเซลเซียส สามารถทำการสกัดโครเมียมได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โครเมียมจะถูกสกัดออกมาในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) มากที่สุด และขั้นที่ 5 (ส่วนที่ยึดกับอินทรียวัตถุ) ออกมาน้อยกว่าเล็กน้อย ส่วนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดโครเมียมได้มากใกล้เคียงกันในขั้นที่ 4 (ส่วนที่ยึดกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์) และ 5 ขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นพบว่า มีแนวโน้มการสกัดโครเมียมสูงขึ้นเมื่อใช้เวลามากขึ้นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่พบ จากการสกัดลำดับขั้นเมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมดในดินในแต่ละอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้อบของดินทราย

จากกราฟพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถทำการสกัดโครเมียมได้ในปริมาณมากที่สุด โดยที่อุณหภูมิ 80 จะพบมากกว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบคือ 1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมงนั้นพบว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณของโครเมียมที่สกัดออกมามากที่สุดใกล้เคียงกัน 2 เวลาคือเมื่อใช้เวลาในการอบที่ 6 และ 12 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดได้มากที่สุดในขั้นที่ 2 (ส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออน) และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจะสามารถสกัดโครเมียมได้มากที่สุดในขั้นที่ 5 (ส่วนที่ยึดกับอินทรียวัตถุ)

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวสามารถสกัดโลหะโครเมียมออกมาได้น้อยกว่าดินทรายเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่สกัดได้โดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินสองชนิด

คุณสมบัติของดิน ดินที่ใช้ในการวิจัยแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามลักษณะของเนื้อดินดังนี้

5.1.1.1 ดินจังหวัดนครราชสีมา ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทราย เนื้อหยาบ มีเปอร์เซ็นต์ของซิลท์, คเลย์และความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่ำ จึงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารอินทรีย์ที่ต่ำ

5.1.1.2 ดินจังหวัดสมุทรปราการ ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินเหนียว เนื้อละเอียด มีเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์สูงกว่าดินอื่นๆ เป็นเหตุให้มีค่า CEC สูงตามไปด้วย มีเปอร์เซ็นต์ของคเลย์ที่สูง และมีพีเอชที่ต่ำ

5.1.2 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักรูปต่างๆในดินโดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นคือ อุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งในดินเหนียว โลหะหนักที่สามารถสกัดได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้แก่ ทองแดง ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล ตะกั่วและโครเมียม ในขณะที่ดินทราย โลหะหนักที่สามารถสกัดได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้แก่ ทองแดง และนิกเกิล ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคดเมียม สังกะสี ตะกั่วและโครเมียม โดยที่เวลาจะส่งผลน้อยมากต่อปริมาณโลหะหนักที่ถูกสกัดออกมา

5.1.3 อุณหภูมิ (60, 80 และ 100 องศาเซลเซียส) และเวลา (1, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง) ที่ใช้ในการอบ ทำให้เปอร์เซ็นความชื้นในดินหลังการอบมีน้อยมาก (0–0.003 %) ทำให้ความชื้นไม่มีผลต่อการสกัดโลหะหนัก

5.1.4 สามารถลดเวลาและอุณภูมิที่ใช้ในการอบดินลงได้ เนื่องจากผลการวิจัยพบว่าเวลาที่ใช้อบดินมีผลต่อปริมาณโลหะหนักที่ถูกสกัดออกน้อยมาก และอุณหภูมิที่เหมาะสมเพียง 60 และ 80 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานในการสกัดอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการสกัดโลหะหนัก ด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น ควรที่จะทดลองสังเคราะห์โลหะหนักลงไปในดินทีละชนิด เพื่อที่จะป้องกันการส่งผลกระทบของโลหะหนักชนิดอื่น

5.2.2 การเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้ควรคำนึงถึงชนิดของโลหะหนักและชนิดของดินที่จะสกัด เนื่องจากอุณหภูมิและชนิดของดินจะส่งผลต่อโลหะหนักแต่ละชนิดแตกต่างกัน

5.2.3 ในดินตัวอย่างอาจมีโลหะหนักอยู่แล้ว ดังนั้นก่อนการสังเคราะห์ปริมาณโลหะหนักลงในดินควรที่จะวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่แน่นอนก่อน เพื่อที่จะทำการสังเคราะห์ดินตัวอย่างได้ในปริมาณที่เหมาะสม

5.2.4 ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับประสิทธิภาพการสกัด ไม่ควรปล่อยให้ดินตัวอย่างแห้งจนเกินไป (หลังการอบควรมีความชื้นเหลืออยู่พอประมาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และอำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล. ม.ป.ป. **ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2.** กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กรมพัฒนาที่ดิน. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.2540.**คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า (พิมพ์ครั้งที่ 2)** กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาที่ดิน, หน้า 3-5

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินของกลุ่มเคมีดินที่ 2** .กรม-พัฒนาที่ดิน.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

เกษมศรีซับซ้อน. 2541. **ปฐพีวิทยา (พิมพ์ครั้งที่4)**. กรุงเทพมหานคร : นานาสิ่งพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8)**. กรุงเทพมหานคร : เรืองธรรมการพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2533. **คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่8)**. กรุงเทพมหานคร : ชวนพิมพ์.

คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.2546. **คณิตศาสตร์และสถิติสำหรับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.**นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

ถวิล ครุฑกุล. 2527. **ดินและปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูก.**กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทียนชัย สุวรรณเวช. 2539. **เคมีของดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

นัทชธีร์ญา ศรีวิริยานุภาพ. 2545. **การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซเดียมอีดีทีเอ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นที ขลิบทอง. 2528. **ดิน น้ำปุ๋ย**. กรุงเทพมหานคร :มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

นงคราญ กาญจนประเสริฐ, พิชัยสราญรมย์, บุญแสนเตียวนุกูลธรรม, สัมฤทธิ์ ภู่รุ่งเรือง.2546. **เอกสารประมวลสาระวิชาปฐพีวิทยา.**นครสวรรค์ : สถาบันราชภัฏนครสวรรค์.

บุญชุม เปียแดง, วรรณาจันทร์คง, นารี สุทธปรีดา, และเกษมศรี, 2526. **ปฐพีวิทยา**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ฝึกอบรมวิศวกรรมเกษตรปทุมธานี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บุญเติม แซ่ปึง. 2536. **ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มแม่น้ำเมย จังหวัดตาก.**วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชัย สราญรมย์. 2543. **เอกสารโรเนียวคู่มือการสอนวิชาปฐพีวิทยา.**จันทรบุรี : สถาบันราชภัฏรำไพพรรณี.

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2532. **การวิเคราะห์รูปแบบของโลหะปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดยวิธีการสกัดตามลำดับขั้น.**วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รัตติกาล จันทิวาสน์. 2542. **การปรับเสถียรของโลหะมีพิษในกากตะกอนจากโรงงานถลุงสังกะสี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิบูลย์ บุญยชโรกุล. 2526. **หลักการชลประทานนครปฐม.** นครปฐม : ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2543. **สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก2541/2542.** กรุงเทพมหานคร : ฟันนี่พับลิสชิ่ง.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2525. **ความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช.**กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอิบ เขียวรื่นรมย์. 2526. **การสำรวจดิน.กรุงเทพมหานคร** .ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดีดีจัง Health.2553.**โครเมียม (Chromium)** [Online].
Available: http://health.deedeejang.com/news/What-is-Chromium.html

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2548. **ความชื้นในดิน.**[Online].
Available : http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_4_2.php

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2553. **นิกเกิล**[Online]. Available : http://th.wikipedia.org/wiki/นิกเกิล

ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2553. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งมีพิษ**[Online].
Available : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=296

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2544. **เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ Tensiometer**. .Available :
http://www.kmitl.ac.th/ ~ kasoil/SoilRes/Tesiometer.htm .

Beata Krasnodebska-Ostrega, Hendrik Emons and Jerzy Golimowski. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Fractionation In Soil From Urban-Industrialized Areas Using Sequential Extraction. J.soils & Sediments 4(1)

Hillel, D. Environmental Soil Physics, 2nd ed., USA, Acedemic press, 1998.

J. Shiowatana N. Tantidanai S. Nookabkaew D. Nacapricha.2001. **A flow system for the determination of metal speciation in soil by sequential extraction**. Environment International 26 : 381-387

J.Zerbe, T. Sobczynski, H. Elbonowska, J. Siepak. 1999. **Speciation of Heavy Metal in Bottom Sediments of Lakes.** Journal of Enviromental Studies. 8(5), : 331-339.

SI Ji-tao, TIAN Bao-guo, WANG Hong-tao. 2006. **Effec of incubation temperature and wet-dry cycle on the availabilities of Cd, PB, and Zn in soil.** Journal of Enviromental Studies.Vol.18, : 1119-1123.

U.S. EPA. 1996. **Acid digestion of Sediments, Sludges and soil / SW-846 Method 3050b.** [Online].Available : www.epa.gov/sw-846/pdfs/3050b.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ดิน

ก.1 การวัดค่าพีเอช (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งดินแห้ง 5 g ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 mL พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวนโดยใช้การหมุนอิเลคโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเลคโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

ก.2 การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตท 1 N ลงไป 20 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่าๆ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยง นาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินออกด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ครั้งละ 30 mL นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วยใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้งประมาณ 10 mL ใส่ในหลอดทดลองหยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N แอมโมเนียมออก-ซาเลท 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % อย่างละ 2–3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้งจากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ๆ ละ 30 mL โดยนำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3–5 นาทีเพื่อแยกส่วนในออก จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 N 2–3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของ AgCl แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)
5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10 % เพื่อไล่แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 mL ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้
6. นำส่วนใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาณ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 mL ใสใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (Condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2-3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว
8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

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

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน (นอร์มอล)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

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

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมท 1 N ลงไป 10 mL โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริคเข้มข้นลงไป 15 mL เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 mL ทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทและเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

การคำนวณ

$$\%\ \text{Organic carbon} = [(B-T)N/B] \times [100/77] \times 0.003 \times [100/X] \times 10 \quad \text{(ก.2)}$$

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน

% Organic matter = % Organic carbon × 1.724 ..... (ก.3)

หรือ % Organic matter = [(B-T)N/B] × [100/77] × [100/58] × 0.003 × [100/X] × 10 (ก.4)

ก.4 การหาค่าความชื้น (นัทชธีร์ญา ศรีวิริยานุภาพ, 2545)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 g ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

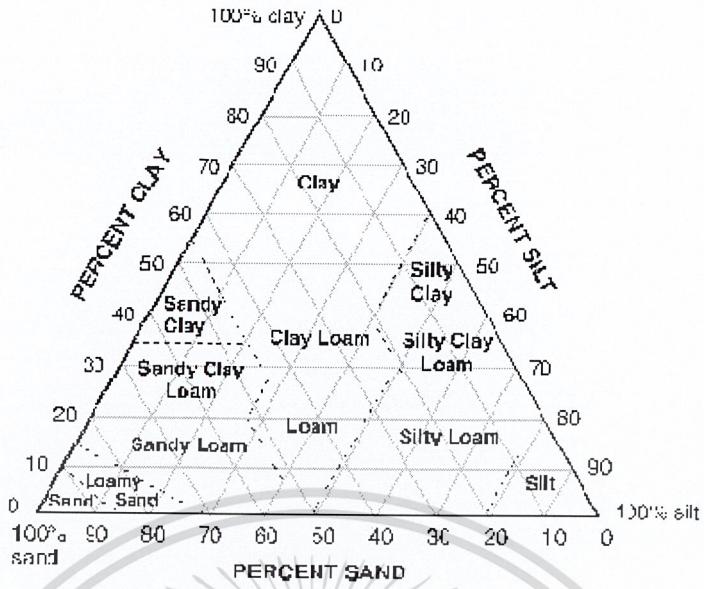
   % ความชื้น = [(น้ำหนักเปียก – น้ำหนักแห้ง) × 100] / น้ำหนักเปียก ..... (ก.5)
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

ก.5 การหาเปอร์เซ็นต์แซนด์ ซิลท์ เคลย์ (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

<u>การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์</u>

1. เทสารละลายคัลกอน จำนวน 100 mL ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1.0 L ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ Plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20 – 25 °C)
2. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสดิน

<u>การอ่านค่าจากสารแขวนลอย</u>

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 g (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 g) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 mL เติมสารละลายคัลกอน 100 mL และน้ำประมาณ 300 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 L
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 L ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ Plunger แบบขึ้น-ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อยๆหย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสม หลังจากการกวนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นดอนเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 %

การคำนวณ

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

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

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

ก.6 การหาความเข้มข้นของโลหะหนักโดย Microwave digester

(นัทชธีร์ญา ศรีวิริยานุภาพ, 2545)

1. เลือก Digestion program ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงใน Vessel ของ Rotor type ที่กำหนดให้ใช้ได้ใน Program
3. ใส่กรดที่มีความเข้มข้น และปริมาณตามที่ระบุไว้ใน Program
4. ใส่ Vessel ใน Protective shield ปิดฝา ตามด้วย Adapter plate และ Special spring นำไปใส่ใน Polypropylene rotor body

หมายเหตุ ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก Vessel ให้วาง Vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ Vessel เปล่าวางแทน

5. ไขให้แน่นด้วย Tension wrench (ด้ามสีดำ) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง " คลิก "
6. วาง Polypropylene rotor body ใน Microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ Time, Power, Pressure, Temp ตามที่กำหนดใน Program ที่เลือกไว้
8. กด Start เครื่องจะ Check และทำตาม Program
9. เมื่อสิ้นสุดการ Digest ตาม Program เครื่องจะแสดง Switch off microwave unit และ Exhaust module
10. เปิดเครื่อง Microwave unit และยก Rotor body ทำให้เย็นโดยใส่ใน Cooling bath ประมาณ 10 นาที
11. นำ Vessel ออก แล้วนำสารละลายที่ได้ไปกรอง
12. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

ขั้นที่ 1 Water soluble

1. นำตัวอย่างดิน 1 g มาผสมกับน้ำ DI 25 mL ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 2 Exchangeable

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M CH_3COONH_4 pH 7 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 3 Acid soluble

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.11 M CH_3COOH pH 3 ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 4 Reducible

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ pH 2 (ใน 25 % v/v CH_3COOH) ปริมาตร 25 mL ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำ DI 10 mL แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 5 Oxidizable

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

ขั้นที่ 6 Residual

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103-105 °C นาน 30 นาที
2. ชั่งน้ำหนักให้ได้ 2 g ใส่ Platinum crucible
3. นำไปย่อยด้วย HF/HNO_3 บนแท่นให้ความร้อนจนได้สารละลายใส
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 mL ด้วยน้ำ DI
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง

ตารางที่ ค - 1 ค่าพีเอชของดินตัวอย่าง

ตัวอย่างดิน	ค่าพีเอช		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นครราชสีมา	6.87	7.00	6.92
สมุทรปราการ	5.42	5.40	5.38

ตารางที่ ค – 2 การกระจายตัวของอนุภาคดิน

ตัวอย่างดิน	% sand	% silt	% clay	ลักษณะดิน
นครราชสีมา	58%	24%	18%	Sandy loam
สมุทรปราการ	30%	27.5%	42.5%	Clay

ตารางที่ ค – 3 ปริมาณสารอินทรีย์ของดินตัวอย่าง (OM)

ตัวอย่างดิน	เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นครราชสีมา	0.52	0.54	0.50
สมุทรปราการ	2.20	1.99	2.09

ตารางที่ ค – 4 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC)

ตัวอย่างดิน	ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก(meq/100g)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นครราชสีมา	8.91	8.81	8.81
สมุทรปราการ	24.33	24.44	24.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 5 ปริมาณความชื้น

ตัวอย่างดิน	ปริมาณความชื้น (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นครราชสีมา	0.0298	0.2100	0.0963
สมุทรปราการ	0.6175	0.4383	0.5965

ตารางที่ ค – 6 ปริมาณโลหะที่เติมลงในดิน

โลหะหนัก	ปริมาณ (mg)
Cd	0.29
Zn	140
Ni	207
Cu	350
Pb	550
Cr	295

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 7 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.008	0.000	0.000	0.020	0.021	0.020
	6	0.000	0.000	0.000	0.022	0.022	0.020
	12	0.000	0.000	0.000	0.021	0.020	0.021
	24	0.000	0.004	0.004	0.023	0.023	0.021
100	1	0.003	0.003	0.002	0.006	0.007	0.007
	6	0.003	0.004	0.004	0.006	0.007	0.008
	12	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.005
	24	0.004	0.003		0.007	0.008	0.008
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.004	0.007	0.006	0.008	0.007	0.007
	6	0.006	0.005	0.007	0.008	0.008	0.009
	12	0.007	0.008	0.008	0.009	0.010	0.010
	24	0.009	0.010	0.010	0.009	0.011	0.012
100	1	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
	6	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001
	12	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.000
	24	0.002	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.148	0.153	0.146
	6	0.000	0.000	0.000	0.137	0.141	0.113
	12	0.000	0.000	0.000	0.131	0.150	0.126
	24	0.000	0.000	0.000	0.144	0.157	0.128
80	1	0.000	0.000	0.000	0.171	0.173	0.131
	6	0.000	0.000	0.000	0.122	0.128	0.128
	12	0.000	0.000	0.000	0.175	0.147	0.184
	24	0.001	0.001	0.000	0.190	0.165	0.171
100	1	0.000	0.000	0.000	0.115	0.121	0.138
	6	0.000	0.000	0.000		0.119	0.124
	12	0.000	0.000	0.000	0.132	0.109	0.122
	24	0.000	0.000	0.000	0.145	0.117	0.119

ตารางที่ ค – 8 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.002	0.002	0.003	0.019	0.017	
	6	0.004	0.003	0.004		0.018	0.014
	12	0.004	0.003	0.003	0.017	0.019	0.019
	24	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.017
100	1	0.018	0.002	0.002	0.008	0.008	0.007
	6	0.002	0.002	0.002	0.019	0.011	0.010
	12	0.005	0.002	0.005	0.011	0.013	
	24	0.002	0.002	0.002	0.010	0.007	0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.005	0.004		0.002	0.003	
	6		0.002	0.003		0.002	0.002
	12	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003
	24	0.004	0.004	0.006	0.000	0.001	0.001
100	1	0.001	0.002	0.000	0.002	0.002	0.001
	6	0.000	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001
	12	0.004	0.004		0.001	0.001	
	24	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.177	0.161	0.178
	6	0.000	0.000	0.000		0.185	0.158
	12	0.000	0.000	0.000	0.172	0.147	0.157
	24	0.000	0.000	0.000	0.141	0.133	0.150
80	1	0.003	0.002		0.132	0.158	0.160
	6		0.004	0.003		0.131	0.115
	12	0.004	0.004	0.003	0.143	0.132	0.126
	24	0.003	0.003	0.004	0.115	0.122	0.117
100	1	0.001	0.002	0.002	0.112	0.131	0.109
	6	0.001	0.001	0.001	0.132	0.115	0.118
	12	0.001	0.002		0.127	0.129	0.131
	24	0.002	0.002	0.001	0.112	0.115	0.121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 9 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.228	0.242	0.258	0.844	0.955	0.785
	6	0.022	0.059	0.071	1.011	1.011	0.776
	12	0.072	0.073	0.211	0.637	1.203	1.131
	24	0.301	0.169	0.147	1.111	0.866	0.943
80	1	0.322	0.472	0.174	3.908	3.916	3.789
	6	0.303	0.310	0.188	3.807	3.917	3.794
	12	0.073	1.117	1.242	3.810	3.806	3.815
	24	0.360	0.509	0.645	3.925	3.894	3.764
100	1	0.319	0.411	0.355	1.116	1.216	1.382
	6	0.296	0.502	0.613	1.843	1.247	1.350
	12	0.355	0.428	0.379	1.755		
	24	0.425	0.565		1.204	1.207	1.146
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.427	1.185	1.370	1.698	1.692	1.713
	6	1.638	1.649	1.218	1.773	1.706	1.689
	12	1.689	1.422	1.213	1.740	1.752	1.699
	24	1.557	1.313	1.466	1.843	1.833	1.450
80	1	0.300	0.269	0.255	1.020	0.929	0.805
	6	0.232	0.284	0.266	0.868	1.286	0.893
	12	0.288	0.298	0.246	0.920	0.676	1.119
	24	0.247	0.233	0.244	0.842	1.446	0.895
100	1	0.734	0.915	1.041	1.143	1.324	1.271
	6	1.014	0.962	0.992	1.072	1.230	1.150
	12	0.904	0.913	0.874	0.908	0.819	0.639
	24	0.907	0.610	0.623	0.583	0.425	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.203	0.164	0.357	1.746	1.040	1.279
	6	0.126	0.236	0.218	1.110	1.321	1.738
	12	0.174	0.247	0.137	1.619	0.871	0.646
	24	0.271	0.135	0.035	1.005	1.519	1.369
80	1	0.024	0.032	0.036	1.498	1.374	0.749
	6	0.008	0.036	0.049	1.224	0.919	1.142
	12	0.065	0.078	0.133	1.092	1.201	1.102
	24	0.074	0.073	0.078	1.338	1.004	1.159
100	1	0.144	0.084	0.114		1.957	1.040
	6	0.105	0.091	0.092	1.340	1.146	1.483
	12	0.100	0.121		1.410	1.615	1.196
	24	0.112	0.092	0.087	1.400	1.302	1.602

ตารางที่ ค – 10 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	1.043	1.069	0.983
	6	0.000	0.000	0.000	1.087	1.139	1.010
	12	0.000	0.000	0.000	1.016	1.039	1.261
	24	0.000	0.000	0.000	1.200	1.026	1.054
80	1	0.345	0.298	0.328	3.809	3.847	3.901
	6	0.309	0.329	0.279	3.790	3.961	3.990
	12	0.346	0.296	0.328	4.186	3.709	3.945
	24	0.363	0.295	0.348	3.801	3.886	4.314
100	1	0.100	0.099	0.068	1.022	0.837	0.996
	6	0.086	0.208	0.139	0.793	1.017	0.920
	12	0.159	0.123	0.248	0.925	0.661	
	24	0.178	0.141	0.138	0.674	0.450	0.324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.977	1.022	1.036	2.109	2.078	1.946
	6	1.009	1.147	1.207	1.945	1.980	2.078
	12	1.344	1.057	1.043	1.975	2.287	2.154
	24	1.138	1.072	1.082	1.940	2.104	2.284
80	1	0.339	0.285	0.273	0.709	0.930	0.899
	6	0.287	0.306	0.294	0.938	1.060	1.105
	12	0.291	0.339	0.307	0.803	0.947	1.176
	24	0.270	0.339	0.307	0.835	0.903	0.894
100	1	0.929	0.669	0.741	1.005	0.654	1.534
	6	0.599	1.273	1.070	1.788	1.070	0.848
	12	1.010	1.263		1.189	0.764	
	24	1.070	1.168	1.094	1.406	1.046	0.622
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.189	0.198	0.210	0.936	0.813	
	6	0.211	0.217	0.195	1.345	1.083	1.038
	12	0.226	0.219	0.202	0.844	0.925	0.999
	24	0.205	0.222	0.219	0.890	0.853	0.746
80	1	0.042	0.029	0.031	0.852	0.686	1.206
	6	0.044	0.040	0.028		0.852	1.178
	12	0.038	0.026	0.036	0.959	1.201	0.686
	24	0.049	0.036	0.030	0.830	0.630	0.752
100	1	0.144	0.084	0.114	1.603	1.204	1.160
	6	0.105	0.091	0.092	1.990	1.398	0.953
	12	0.100	0.121		1.078	0.998	
	24	0.112	0.092	0.087	0.851	1.370	1.117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 11 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.390	1.633	1.487	4.701	3.843	4.180
	6	0.718	1.084	1.072	4.062	4.812	4.083
	12	0.964	0.768	0.499	4.238	4.853	4.320
	24	1.147	1.661	1.166	4.449	4.656	4.517
80	1	0.729	1.251	0.539	8.637	10.190	8.56
	6	0.919	1.129	0.561	8.523	9.067	8.287
	12	1.990	2.070	2.122	8.392	8.117	7.896
	24	0.648	0.768	0.869	8.831	8.448	7.791
100	1	1.275	0.899	0.829	2.847	4.062	5.585
	6	0.751	1.176	1.452	2.814	3.984	
	12	0.709	0.983	0.903	4.075	4.724	3.948
	24	1.027	1.462		4.969		3.885
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	3.746	3.499	2.683	2.662	2.301	2.282
	6	2.011	3.519	2.913	2.223	2.560	2.667
	12	3.807	3.459	3.489	2.399	2.715	2.459
	24	2.072	2.886	3.365	2.812	2.722	2.110
80	1	0.305	0.338	0.273	1.085	1.249	0.990
	6	0.268	0.393	0.346	1.156	1.172	1.166
	12	0.391	0.401	0.291	1.112	0.785	1.115
	24	0.301	0.907	0.839	1.042	1.038	1.037
100	1	0.909	1.212	1.262	1.461	2.027	1.960
	6	0.884	1.301	1.434	1.448	2.057	2.289
	12	1.176	1.257	1.198	1.983	2.050	1.798
	24	1.298	0.843	0.788	1.889	2.176	2.255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.462	0.620	0.708	0.635	0.534	0.499
	6	0.495	0.738	0.675	0.351	0.618	0.279
	12	0.750	0.678	0.787	0.412	0.315	0.358
	24	0.575	0.650	0.381	0.676	0.518	0.344
80	1	0.116	0.103	0.077	0.764	0.432	0.237
	6	0.071	0.122	0.174	0.209	0.501	0.291
	12	0.095	0.139	0.173	0.419	0.523	0.660
	24	0.166	0.044	0.068	0.756	0.734	0.635
100	1	0.307	0.549	0.431	1.055	0.896	
	6	0.354	0.592	0.693	1.022	1.095	0.879
	12	0.513	0.533	0.367	1.048	1.510	1.047
	24	0.421	0.518	0.477	1.074	1.192	1.248

ตารางที่ ค – 12 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.300	0.328	0.287	4.583	4.847	5.106
	6	0.300	0.411	0.347	4.927	3.062	5.772
	12	0.342	0.707	0.401	4.927	4.101	3.673
	24	0.387	0.434	0.269	5.213	5.225	5.090
80	1	0.304	0.240	0.295	10.580	8.505	
	6	0.397	0.215	0.396		9.386	6.694
	12	1.560	1.058	0.934	9.002	10.06	9.176
	24	0.362	0.320	0.264	9.554	10.95	9.772
100	1	0.728	0.494	0.300	8.976	9.012	
	6	0.572	1.159	0.674		8.201	8.885
	12	1.063	0.706	1.313	7.993	8.126	
	24	0.782	0.615	0.708	8.746	8.361	7.953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.622	1.661	1.742	2.091	2.000	2.429
	6	1.788	2.057	2.014	1.897	2.730	2.494
	12	1.924	1.866	1.813	2.378	2.424	2.222
	24	2.050	1.989	1.898	2.157	1.936	2.038
80	1	0.688	0.149		0.654	0.995	
	6		0.192	0.128		0.799	1.048
	12	0.175	0.212	0.161	1.066	0.963	1.010
	24	0.189	0.123	0.149	0.360	0.537	0.702
100	1	0.852	0.774	0.659	1.195	0.712	0.713
	6	0.665	1.245	1.259	0.984	1.098	0.897
	12	1.648	1.093		0.992	0.786	
	24	1.179	1.139	1.669	0.763	0.876	0.615
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.378	0.339	0.633	0.460	0.339	
	6	0.574	0.561	0.511	0.777	0.604	0.633
	12	0.836	0.762	0.829	0.328	0.353	0.473
	24	0.828	0.725	0.613	0.412	0.311	0.341
80	1	0.047	0.026		0.450	0.250	0.541
	6		0.039	0.149		0.494	0.428
	12	0.069	0.033	0.058	0.270	0.470	0.360
	24	0.129	0.037	0.049	0.478	0.487	0.483
100	1	0.121	0.110	0.117	0.747	0.692	0.617
	6	0.100	0.142	0.130	0.687	0.963	0.619
	12	0.141	0.109		0.630	0.637	
	24	0.112	0.138	0.100	0.673	0.815	0.871

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 13 ปริมาณโลหะทองแดงในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.071	0.073	0.072	1.729	1.486	1.717
	6	0.033	0.042	0.041	1.673	1.569	1.546
	12	0.051	0.044	0.065	1.830	1.680	2.119
	24	0.076	0.065	0.068	1.464	1.546	1.530
80	1	0.084	0.097	0.091	6.478	6.586	6.642
	6	0.086	0.116	0.105	6.315	6.436	6.401
	12	0.156	0.160	0.172	6.736	6.687	6.744
	24	0.101	0.106	0.125	6.638	6.389	6.208
100	1	0.186	0.216	0.165	0.964	1.075	1.159
	6	0.200	0.252	0.238	1.086	1.017	1.168
	12	0.191	0.210	0.276	0.976	0.951	0.992
	24	0.180	0.196		1.128	1.124	1.083
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.266	1.105	1.106	10.152	10.001	10.050
	6	1.397	1.026	1.201	10.016	10.006	10.120
	12	1.222	1.202	1.095	10.020	10.003	10.012
	24	1.184	1.091	1.052	10.020	10.004	10.117
80	1	0.559	0.491	0.494	2.499	2.309	2.068
	6	0.447	0.758	0.624	2.341	2.612	2.306
	12	0.582	0.524	0.401	2.131	1.997	2.102
	24	0.441	1.127	0.984	2.027	2.589	2.562
100	1	0.945	1.156	1.208	1.392	1.563	1.562
	6	1.090	1.207	1.138	1.385	1.559	1.565
	12	1.105	1.160	0.461	1.538	1.558	1.502
	24	1.183	0.794	0.738	1.510	1.535	1.517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.785	0.707	0.913	0.355	0.233	0.320
	6	0.630	0.946	1.063	0.178	0.512	0.180
	12	0.828	0.817	0.773	0.339	0.230	0.235
	24	0.989	0.927	0.465	0.739	0.479	0.161
80	1	0.269	0.198		0.756	0.211	0.102
	6	0.174	0.238	0.319	0.081	0.351	0.207
	12	0.217	0.263		0.218	0.423	0.621
	24	0.328	0.530	0.609	0.473	0.432	0.236
100	1	0.444	0.929	0.625		1.682	1.120
	6	0.582	0.900	1.038	1.534	1.152	1.144
	12	0.837	0.812	0.626	1.306	1.945	1.240
	24	0.537	0.722	0.607	1.268	1.295	1.348

ตารางที่ ค – 14 ปริมาณโลหะทองแดงในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.203	0.178	0.217	7.859	7.916	8.071
	6	0.191	0.246	0.144	7.709	7.821	7.830
	12	0.175	0.121	0.223	7.602	7.949	7.777
	24	0.196	0.234	0.179	8.185	7.650	7.792
80	1	0.257	0.195	0.256	8.692	8.227	
	6	0.381	0.167	0.340		8.370	7.115
	12	0.246	0.195	0.188	8.253	8.724	8.548
	24	0.258	0.173	0.141	8.607	8.744	8.385
100	1	0.426	0.133	0.098	2.075	2.212	2.078
	6	0.132	0.122	0.153	2.129	2.240	2.295
	12	0.490	0.132	0.464	2.226	2.168	
	24	0.149	0.149	0.183	2.136	2.555	2.210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.784	0.782	0.879	3.034	3.347	3.333
	6	0.872	0.704	0.907	3.084	3.205	3.478
	12	0.991	0.920	0.906	2.804	3.067	3.375
	24	0.946	0.893	0.813	3.394	3.502	3.146
80	1	0.799	0.250		1.465	1.605	
	6		0.287	0.214		1.382	1.515
	12	0.272	0.333	0.272	1.641	1.598	1.632
	24	0.284	0.206	0.238	0.629	0.949	1.094
100	1	1.521	1.409	1.264	1.210	0.954	0.846
	6	1.480	1.701	1.768	1.207	1.548	1.523
	12	1.575	1.701		1.514	1.310	
	24	1.516	1.794	1.496	1.280	1.421	1.470
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.598	0.644	0.655	0.053	0.042	
	6	0.793	0.645	0.807	0.183	0.178	0.139
	12	0.669	0.707	1.017	0.060	0.053	0.075
	24	1.059	1.143	0.617	0.072	0.046	0.044
80	1	0.221	0.428			0.157	0.093
	6		0.478	0.248		0.046	0.076
	12	0.388	0.556	0.304	0.227	0.063	0.111
	24	0.403	0.414	0.245	0.066	0.051	0.079
100	1	0.530	0.356	0.344	0.708	0.189	0.169
	6	0.387	0.328	0.349	0.504	0.728	0.203
	12	0.343	0.366		0.267	0.221	
	24	0.375	0.386	0.357	0.134	0.478	0.370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 15 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.015	0.036	0.003	0.860	0.838	0.682
	6	0.000	0.000	0.000	0.801	0.842	0.907
	12	0.000	0.000	0.000	0.598	0.927	0.846
	24	0.030	0.000	0.037	0.946	0.647	0.676
80	1	0.000	0.000	0.000	10.600	11.800	12.36
	6	0.000	0.000	0.000	11.59	12.510	11.930
	12	0.000	0.000	0.000	13.230	13.920	12.880
	24	0.000	0.000	0.000	12.450	14.010	11.750
100	1	0.000	0.000	0.000	1.659	1.795	2.304
	6	0.000	0.000	0.000	1.911	2.707	1.989
	12	0.000	0.000	0.000		1.944	2.363
	24	0.000	0.000	0.000		2.497	1.951
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.342	1.116	1.259	8.605	8.568	8.722
	6	1.294	1.293	1.021	8.192	8.497	8.820
	12	1.395	1.304	1.002	9.417	8.595	8.720
	24	1.358	1.228	1.378	9.096	8.449	7.471
80	1	0.161	0.106	0.078	3.059	2.414	2.193
	6	0.126	0.169	0.122	2.464	2.563	2.693
	12	0.173	0.222	0.116	2.819	1.916	2.556
	24	0.109	0.505	0.405	2.310	2.914	2.653
100	1	0.705	0.903	1.050	4.588	6.023	6.185
	6	0.737	1.500	1.021	4.914	8.141	6.670
	12		0.955	1.148	8.815	6.530	6.161
	24		0.387	0.320	6.113	5.842	6.551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.401	0.343	0.290	5.122	5.111	5.143
	6	0.229	0.364	0.382	5.109	6.100	5.009
	12	0.330	0.343	0.438	5.142	5.134	5.251
	24	0.458	0.440	0.238	5.123	5.126	5.209
80	1	0.000	0.000	0.000	1.988	2.085	2.111
	6	0.000	0.000	0.000	1.980	1.923	2.067
	12	0.000	0.000	0.000	2.109	2.076	1.984
	24	0.000	0.000	0.000	2.099	2.023	2.113
100	1	0.000	0.000	0.000	5.998	6.121	6.142
	6	0.000	0.000	0.000	6.213	6.145	6.172
	12	0.000	0.000	0.000	6.211	6.234	6.174
	24	0.000	0.000	0.000	6.211	6.178	6.098

ตารางที่ ค – 16 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.258	0.280	0.204	3.355	3.825	4.039
	6	0.272	0.265	0.199	3.641	3.941	3.549
	12	0.141	0.151	0.188	3.698	3.660	3.950
	24	0.238	0.168	0.191	3.569	3.826	3.812
80	1	0.000	0.000	0.000	19.790	20.260	
	6	0.040	0.000	0.003		19.840	14.180
	12	0.000	0.000	0.000	16.810	18.450	19.770
	24	0.000	0.000	0.000	18.080	23.440	17.400
100	1	0.191	0.021	0.061	4.091	5.100	4.422
	6	0.034	0.008	0.034	4.97	5.215	4.863
	12	0.187		0.157	5.776	5.349	
	24	0.000	0.000	0.000	5.722	6.983	6.147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	1.674	1.964	2.021	5.814	6.399	7.970
	6	2.040	2.321	2.054	7.273	8.193	7.947
	12	2.026	1.967	2.110	7.665	7.783	7.025
	24	2.100	2.143	2.178	7.334	7.581	7.745
80	1	0.448	0.079		1.447	2.430	
	6		0.348	0.000		3.758	1.343
	12	0.029	0.040	0.030	1.692	1.585	1.906
	24	0.025	0.007	0.017	0.558	1.198	0.878
100	1	2.830	2.952	2.407	2.812	1.604	2.312
	6	2.985	2.819	2.877	2.343	4.162	3.943
	12	3.089	4.013		3.499	4.452	
	24	3.174	3.225	3.205	3.744	4.453	3.790
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.139	0.153	0.143	2.998	3.001	3.112
	6	0.143	0.109	0.118	3.129	3.087	2.987
	12	0.365	0.513	0.608	2.988	2.876	2.975
	24	0.424	0.750	0.359	3.085	3.098	3.011
80	1	0.000	0.000		0.397	0.402	0.407
	6		0.000	0.000	0.388	0.390	0.389
	12	0.000	0.000	0.000	0.403	0.415	0.423
	24	0.083	0.000	0.000	0.391	0.419	0.403
100	1	0.000	0.000	0.000	5.999	6.213	6.421
	6	0.000	0.000	0.000	6.221	6.121	6.187
	12	0.000	0.000		6.121	6.178	5.988
	24	0.000	0.000	0.000	5.997	6.111	6.124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 17 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.214	0.176	0.176	6.622	6.539	6.617
	6	0.160	0.193	0.165	5.897	6.699	6.602
	12	0.204	0.217	0.197	6.455	6.330	5.898
	24	0.186	0.190	0.194	6.676	6.802	5.551
100	1	0.288	0.391	0.300	0.427	0.442	0.505
	6	0.333	0.338	0.325	0.405	0.507	0.426
	12	0.357	0.373	0.295	0.528	0.476	0.504
	24	0.348	0.313	0.357	0.449	0.436	0.355
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	1.792	1.706	1.788
	6	0.000	0.000	0.000	1.790	1.720	1.790
	12	0.000	0.000	0.000	1.841	1.601	1.660
	24	0.000	0.000	0.000	1.605	1.785	1.332
80	1	0.233	0.188	0.169	2.072	1.961	1.559
	6	0.174	0.272	0.258	1.720	1.975	2.048
	12	0.287	0.299	0.139	2.078	1.493	2.037
	24		0.495	0.439	1.847	2.062	2.007
100	1	0.255	0.322	0.339	3.046	3.572	3.730
	6	0.251	0.326	0.317	3.150	4.732	5.174
	12	0.349	0.281	0.250	4.754	4.549	4.166
	24	0.229	0.092	0.049	4.053	4.942	4.463

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.874	0.986	0.674	0.377	0.260	0.309
	6	1.015	0.474	0.950	0.282	0.373	0.328
	12	0.267	0.272	0.071	0.386	0.260	0.319
	24	0.232	0.678	0.430		0.563	0.339
80	1	2.257	1.718	1.839	0.596	0.436	0.376
	6	2.305	2.420	2.062	0.407	0.483	0.447
	12	2.757	1.911	2.374	0.419	0.484	0.578
	24	3.314	1.387	1.464	0.433	0.652	0.540
100	1	1.832	2.100	2.040		0.842	0.759
	6	2.108	2.763	2.937	1.033	0.735	0.932
	12	5.636	2.644	3.256	0.909	1.138	0.937
	24	3.813	4.782	3.885	0.847	1.010	1.035

ตารางที่ ค – 18 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 1			ขั้นที่ 2		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.108
	6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000
	12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	1	0.130	0.137	0.126	8.480	8.420	
	6	0.112	0.157	0.067		8.850	6.853
	12	0.041	0.032	0.034	7.757	8.000	8.040
	24	0.121	0.130	0.148	8.870	7.170	8.110
100	1	0.520	0.395	0.382	1.372	1.558	1.456
	6	0.401	0.269	0.388	1.463	1.534	1.621
	12	0.431	0.352	0.440	1.535	1.502	
	24	0.311	0.332	0.333	1.512	1.287	1.413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (มิลลิกรัม/ลิตร)					
		ขั้นที่ 3			ขั้นที่ 4		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.000	0.000	0.000	0.105	0.222	0.683
	6	0.000	0.000	0.000	0.461	0.791	0.660
	12	0.000	0.000	0.000	0.556	0.645	0.123
	24	0.000	0.000	0.000	0.390	0.453	0.670
80	1	0.337	0.039		1.226	1.508	
	6		0.109	0.057		1.477	1.323
	12	0.056	0.068	0.048	1.619	1.448	1.554
	24	0.015	0.000	0.000	0.440	0.632	0.896
100	1	1.161	1.932	1.458	1.264	0.700	0.576
	6	1.551	0.666	0.622	1.032	2.160	2.033
	12	0.547	0.642		3.035	1.791	
	24	0.567	0.538	0.517	1.714	2.124	2.341
		ขั้นที่ 5			ขั้นที่ 6		
		1	2	3	1	2	3
60	1	0.007	0.000	0.000	0.448	0.359	
	6	0.073	0.263	0.011	0.663	0.413	0.472
	12	0.444	0.551	0.662	0.315	0.297	0.429
	24	1.021	1.141	0.234	0.361	0.346	0.477
80	1	0.912	1.319		0.419	0.550	0.520
	6		0.637	3.268		0.443	0.549
	12	1.251	1.447	1.955	0.525	0.388	0.396
	24	0.883	0.541	0.929	0.420	0.397	0.433
100	1	1.359	1.522	1.469	0.747	0.557	0.555
	6	2.107	3.572	2.859	0.825	0.847	0.501
	12	3.811	2.542		0.551	0.617	
	24	2.246	2.952	2.501	0.717	0.698	0.689

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค – 19 ปริมาณโลหะหนักในดินก่อนการสังเคราะห์

ชนิดโลหะ	ปริมาณ (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
	ดินนครราชสีมา			ดินสมุทรปราการ		
	1	2	3	1	2	3
แคดเมียม	0.008	0.010	0.007	0.007	0.007	0.007
สังกะสี	0.050	0.044	0.049	0.051	0.074	0.075
นิกเกิล	0.035	0.039	0.033	0.033	0.042	0.041
ทองแดง	0.008	0.009	0.007	0.007	0.010	0.011
ตะกั่ว	0.003	0.005	0.005	0.009	0.009	0.009
โครเมียม	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ ค – 20 ปริมาณความชื้นหลังอบ

ตัวอย่างดิน	อุณหภูมิ °C	เวลา ชม.	ปริมาณความชื้น (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นครราชสีมา	60	1	0.001	0.000	0.001
		6	0.000	0.001	0.000
		12	0.000	0.000	0.001
		24	0.001	0.000	0.000
	80	1	0.000	0.001	0.000
		6	0.001	0.000	0.001
		12	0.000	0.000	0.000
		24	0.000	0.000	0.000
	100	1	0.001	0.000	0.001
		6	0.000	0.001	0.000
		12	0.001	0.000	0.001
		24	0.000	0.001	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างดิน	อุณหภูมิ °C	เวลา ชม.	ปริมาณความชื้น (%)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
สมุทรปราการ	60	1	0.002	0.003	0.002
		6	0.003	0.003	0.002
		12	0.002	0.003	0.001
		24	0.001	0.001	0.001
	80	1	0.003	0.002	0.003
		6	0.002	0.003	0.001
		12	0.001	0.001	0.002
		24	0.002	0.001	0.001
	100	1	0.003	0.002	0.002
		6	0.002	0.003	0.001
		12	0.001	0.002	0.001
		24	0.001	0.001	0.002

ตารางที่ ค – 21 ปริมาณสารประกอบในดินโดยเทคนิค XRF

สารประกอบ	นครราชสีมา		สมุทรปราการ	
Na_2O	-	-	0.2 KCps	0.774 %
MgO	0.2 KCps	0.243 %	1.6 KCps	1.70 %
Al_2O_3	-	-	17.8 KCps	20.3 %
SiO_2	51.9 KCps	70.1 %	49.8 KCps	56.6 %
TiO_2	6.6 KCps	1.56 %	8.9 KCps	1.58 %
V_2O_5	9.5 KCps	3.66	-	-
Fe_2O_3	26.9 KCps	2.78 %	118.9 KCps	7.71 %
CoO	-	-	2.6 KCps	0.155 %
CuO	7.2 KCps	0.540 %	-	-
La_2O_3	9.8 KCps	9.25 %	-	-
NiO	-	-	3.0 KCps	0.178 %
Sm_2O_3	7.9 KCps	4.85 %	7.4 KCps	3.17 %
Tb_4O_7	7.5 KCps	2.96%	-	-
Gd_2O_3	-	-	20.0 KCps	6.65 %
Er_2O_3	4.3 KCps	1.72 %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ	นครราชสีมา		สมุทรปราการ	
Yb_2O_3	7.5 KCps	1.66 %	6.3 KCps	1.05 %
Compton	4.0 KCps	0.707 %		0.68
Rayleigh		0.52		1.05
Norm.		0.98		100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลของเวลาในการอบดินที่มีต่อผลการสกัด

ที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส

ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเป็น 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เป็นดังนี้

1 ชั่วโมง เท่ากับ 43.12368, 6 ชั่วโมง เท่ากับ 44.43232, 12ชั่วโมง เท่ากับ 42.91887 และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 40.66534

วิธีทำ

สมมติฐาน H_0 : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส ไม่ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

H : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 (95%)

$$t = \frac{\overline{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

ค่าวิกฤติ $t_{0.05,3} = 2.353$ (จากตาราง t-test)

คำนวณ $\overline{X} = \frac{43.12368 + 44.43232\ 12 + 42.91887 + 40.66534}{4} = 42.785$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.115 + 2.713 + 0.018 + 4.493}{4}}$$

$$= 1.3528$$

$$t = \frac{42.785 - 42}{\frac{1.3528}{\sqrt{4}}}$$

$$t = 1.16$$

ยอมรับ H_0 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 100 เซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของโลหะทองแดงที่สกัดขั้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์ โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเป็น 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เป็นดังนี้

1 ชั่วโมง เท่ากับ 70.80400, 6 ชั่วโมง เท่ากับ 71.24139, 12ชั่วโมง เท่ากับ 72.32193 และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 76.99860

วิธีทำ

สมมติฐาน H_0 : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียส ไม่ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

H : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียส ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 (95%)

$$t = \frac{\overline{X} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

ค่าวิกฤติ $t_{0.05,3} = 2.353$ (จากตาราง t-test)

คำนวณ $\overline{X} = \frac{70.80400 + 71.24139 + 72.32193 + 76.99860}{4} = 72.84148$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{4.15 + 2.56 + 0.27 + 17.28}{4}}$$

$$= 2.46$$

$$t = \frac{72.84148 - 72}{\frac{2.46}{\sqrt{4}}}$$

$$t = 0.68$$

ยอมรับ H_0 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 80 เซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของโลหะทองแดงที่สกัดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดทองแดงออกจากดินสังเคราะห์ โดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบเป็น 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เป็นดังนี้

1 ชั่วโมง เท่ากับ 96.69753, 6 ชั่วโมง เท่ากับ 97.32848, 12ชั่วโมง เท่ากับ 98.02557 และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 96.43039

วิธีทำ

สมมติฐาน H_0 : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส ไม่ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

H : ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส ส่งผลต่อปริมาณโลหะทองแดงที่สกัดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 (95%)

$$t = \frac{\overline{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

ค่าวิกฤติ $t_{0.05,3} = 2.353$ (จากตาราง t-test)

คำนวณ $\overline{X} = \frac{96.69753 + 97.32848 + 98.02557 + 96.43039}{4} = 97.12$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.178 + 0.043 + 0.82 + 0.48}{4}}$$

$$= 0.6166$$

$$t = \frac{97.12 - 97}{\frac{0.6166}{\sqrt{4}}}$$

$$t = 0.389$$

ยอมรับ H_0 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบดินที่อุณหภูมิ 60 เซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของโลหะทองแดงที่สกัดขั้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณ

จ.1 การคำนวณความเข้มข้นของโลหะในดิน

จากตารางที่ ค – 7 ถึง ตารางที่ ค – 18 ในภาคผนวก ค เป็นข้อมูลความเข้มข้นของโลหะในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร จึงต้องทำการแปลงความเข้มข้นให้อยู่ในหน่วย กรัม/กิโลกรัมดิน เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นที่ 1,2,3,4,6 ปริมาตรรวมในการสกัดเท่ากับ 25 มิลลิลิตร

ตัวอย่าง

ในดินเหนียว 1 กรัมที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 1 ชั่วโมง การสกัดในขั้นที่ 1 โลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.243 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น ตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร จะมีความเข้มข้นของโลหะสังกะสี

$$= \frac{0.243\ \text{mg}}{1\ \text{L}} \times 25\ \text{mL}$$
$$= 0.006075\ \text{mg}$$

จะได้ว่า ในดินเหนียว 1 กรัม มีโลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.006075 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้น ในดินเหนียว 1 กิโลกรัม มีโลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ

$$= \frac{0.006075\ \text{mg}}{1\ \text{g}} \times 1\text{kg}$$
$$= 0.006075\ \text{g}$$

จะได้ว่า ในดินเหนียว 1 กรัมที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 1 ชั่วโมง การสกัดในขั้นที่ 1 โลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.00607 กรัม/กิโลกรัมดิน

ขั้นที่ 5 ปริมาตรรวมในการสกัดเท่ากับ 40 มิลลิลิตร

ตัวอย่าง

ในดินเหนียว 1 กรัมที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 1 ชั่วโมง การสกัดในขั้นที่ 5 โลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.241 มิลลิกรัม/ลิตร

ดังนั้น ตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร จะมีความเข้มข้นของโลหะสังกะสี

$$= \frac{0.241\ \text{mg}}{1\ \text{L}} \times 40\ \text{mL}$$
$$= 0.00964\ \text{mg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า ในดินเหนียว 1 กรัม มีโลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.00964 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้น ในดินเหนียว 1 กิโลกรัม มีโลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ

$$= \frac{0.00964\ \text{mg}}{1\ \text{g}} \times 1\text{kg}$$

$$= 0.00964\ \text{g}$$

จะได้ว่า ในดินเหนียว 1 กรัมที่อุณหภูมิ 60 ºC เวลา 1 ชั่วโมง การสกัดในขั้นที่ 5 โลหะสังกะสีมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.00964 กรัม/กิโลกรัมดิน

ตารางที่ จ – 1 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00007	0.00017	0.00008	0.00005	0.00000	0.00312
	6	0.00009	0.00019	0.00006	0.00003	0.00000	0.00304
	12	0.00009	0.00011	0.00007	0.00001	0.00000	0.00303
	24	0.00009	0.00019	0.00005	0.00002	0.00000	0.00318
80	1	0.00007	0.00051	0.00014	0.00018	0.00000	0.00396
	6	0.00000	0.00053	0.00015	0.00021	0.00000	0.00315
	12	0.00000	0.00052	0.00019	0.00024	0.00000	0.00422
	24	0.00007	0.00056	0.00024	0.00027	0.00003	0.00438
60	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00373
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00326
	12	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00339
	24	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 2 ปริมาณโลหะแคดเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00018	0.00019	0.00003	0.00004	0.00008	0.00293
	6	0.00005	0.00026	0.00004	0.00003	0.00005	0.00304
	12	0.00010	0.00030	0.00010	0.00003	0.00007	0.00323
	24	0.00005	0.00022	0.00008	0.00003	0.00008	0.00290
80	1	0.00006	0.00045	0.00011	0.00008	0.00011	0.00375
	6	0.00009	0.00040	0.00006	0.00005	0.00016	0.00308
	12	0.00008	0.00046	0.00008	0.00006	0.00017	0.00334
	24	0.00010	0.00046	0.00012	0.00002	0.00015	0.00295
60	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00430
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00429
	12	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00397
	24	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00353

ตารางที่ จ – 3 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00816	0.01145	0.00763	0.09128	0.08958	0.02001
	6	0.00830	0.01166	0.00745	0.10880	0.11712	0.02250
	12	0.00854	0.01257	0.00733	0.11150	0.17304	0.02487
	24	0.00848	0.01033	0.00308	0.11215	0.18720	0.02410
80	1	0.00472	0.16482	0.00492	0.04400	0.08721	0.01173
	6	0.00432	0.15998	0.00587	0.04786	0.10181	0.01114
	12	0.00515	0.15569	0.00604	0.05144	0.10563	0.01234
	24	0.00475	0.15858	0.01168	0.04930	0.09248	0.01354
60	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.04405	0.04185	0.00788
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.04417	0.04421	0.00820
	12	0.00000	0.00000	0.00000	0.04252	0.01213	0.00805
	24	0.00000	0.00000	0.00000	0.03935	0.02010	0.01128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 4 ปริมาณโลหะโครเมียมในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.01081	0.03655	0.03793	0.01595	0.06525	0.01549
	6	0.00882	0.03944	0.02366	0.04354	0.12807	0.01811
	12	0.01019	0.03796	0.01486	0.07588	0.14294	0.01460
	24	0.00813	0.03510	0.01352	0.05149	0.11549	0.01753
80	1	0.00328	0.21125	0.00470	0.03770	0.05020	0.01241
	6	0.00280	0.19629	0.00208	0.03500	0.08786	0.01240
	12	0.00089	0.19831	0.00143	0.03966	0.06980	0.01091
	24	0.00333	0.20125	0.00013	0.01640	0.03530	0.01042
60	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00842	0.00000	0.01009
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.01593	0.00521	0.01290
	12	0.00000	0.00000	0.00000	0.01501	0.02486	0.00868
	24	0.00000	0.00000	0.00000	0.01054	0.04865	0.00987

ตารางที่ จ – 5 ปริมาณโลหะทองแดงในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00473	0.02665	0.02758	0.03906	0.02997	0.03503
	6	0.00575	0.02629	0.02863	0.03758	0.03780	0.03192
	12	0.00564	0.02433	0.02272	0.03800	0.03413	0.03743
	24	0.00470	0.02779	0.02263	0.03802	0.02799	0.03259
80	1	0.00227	0.16422	0.01287	0.05471	0.01051	0.00891
	6	0.00256	0.16046	0.01524	0.06049	0.01097	0.00533
	12	0.00407	0.16806	0.01256	0.05291	0.01080	0.01052
	24	0.00277	0.16029	0.02127	0.05982	0.02201	0.00951
60	1	0.00180	0.04110	0.02898	0.25000	0.03608	0.00757
	6	0.00097	0.03990	0.03020	0.25000	0.03959	0.00725
	12	0.00133	0.04691	0.02933	0.25000	0.03627	0.00670
	24	0.00174	0.03783	0.02773	0.25000	0.03572	0.01149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 6 ปริมาณโลหะทองแดงในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00548	0.05304	0.03495	0.02250	0.01845	0.00888
	6	0.00339	0.05461	0.04124	0.03565	0.01596	0.01196
	12	0.00905	0.05493	0.04095	0.03785	0.01595	0.00610
	24	0.00401	0.05751	0.04005	0.03476	0.01677	0.00818
80	1	0.00590	0.21149	0.01311	0.04013	0.01460	0.00313
	6	0.00740	0.19356	0.00626	0.03621	0.01634	0.00153
	12	0.00524	0.21271	0.00731	0.04091	0.01872	0.00334
	24	0.00477	0.21447	0.00607	0.02227	0.01593	0.00163
60	1	0.00498	0.19872	0.02038	0.08350	0.02846	0.00119
	6	0.00484	0.19467	0.02069	0.08139	0.03368	0.00417
	12	0.00433	0.19440	0.02348	0.07705	0.03590	0.00157
	24	0.00508	0.19689	0.02210	0.08368	0.04229	0.00135

ตารางที่ จ – 7 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.02503	0.10412	0.02819	0.04984	0.01931	0.02439
	6	0.02816	0.08498	0.03016	0.04828	0.02459	0.02497
	12	0.02163	0.10623	0.03026	0.04726	0.02120	0.03004
	24	0.03111	0.11068	0.02441	0.05267	0.02124	0.02928
80	1	0.02099	0.22823	0.00763	0.02799	0.00444	0.01194
	6	0.02174	0.21693	0.00839	0.02912	0.00551	0.00834
	12	0.05152	0.20338	0.00903	0.02784	0.00611	0.01335
	24	0.01904	0.20892	0.01706	0.02598	0.00417	0.01771
60	1	0.03758	0.10603	0.08273	0.05729	0.02685	0.01390
	6	0.02395	0.10798	0.07036	0.06208	0.02862	0.01040
	12	0.01859	0.11176	0.08963	0.06311	0.03323	0.00904
	24	0.03312	0.11352	0.06936	0.06370	0.02409	0.01282

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 8 ปริมาณโลหะนิกเกิลในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.01268	0.22485	0.01904	0.01781	0.00522	0.01713
	6	0.02004	0.21358	0.02641	0.02483	0.00558	0.01891
	12	0.02568	0.20149	0.03426	0.02480	0.00563	0.01584
	24	0.01754	0.20883	0.03323	0.01878	0.00525	0.01966
80	1	0.00699	0.23856	0.01046	0.02488	0.00164	0.01034
	6	0.00840	0.20100	0.00400	0.02309	0.00423	0.01153
	12	0.02960	0.23532	0.00457	0.02595	0.00240	0.00917
	24	0.00788	0.25230	0.00384	0.01333	0.00323	0.01207
60	1	0.00763	0.12113	0.04188	0.05536	0.02025	0.00999
	6	0.00882	0.11468	0.04883	0.05934	0.02469	0.01678
	12	0.01208	0.10584	0.04669	0.05853	0.03641	0.00962
	24	0.00908	0.12940	0.04948	0.05109	0.03249	0.00887

ตารางที่ จ – 9 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00000	0.04798	0.02215	0.15260	0.00000	0.00000
	6	0.00000	0.05870	0.02715	0.16438	0.00000	0.00000
	12	0.00000	0.05384	0.02629	0.18720	0.00000	0.00000
	24	0.00000	0.05560	0.00884	0.15422	0.00000	0.00000
80	1	0.00000	0.33967	0.00288	0.05759	0.00000	0.00000
	6	0.00000	0.30550	0.00348	0.06433	0.00000	0.00000
	12	0.00000	0.33358	0.00426	0.06719	0.00000	0.00000
	24	0.00000	0.31842	0.00849	0.06564	0.00000	0.00000
60	1	0.00045	0.01983	0.03098	0.21466	0.01551	0.00000
	6	0.00000	0.02125	0.03007	0.21258	0.01463	0.00000
	12	0.00000	0.01976	0.03084	0.22277	0.01667	0.00000
	24	0.00056	0.01891	0.03303	0.20847	0.01704	0.00000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 10 ปริมาณโลหะตะกั่วในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00228	0.11344	0.06824	0.03645	0.00000	0.00000
	6	0.00063	0.12598	0.07234	0.08707	0.00000	0.00000
	12	0.00430	0.13906	0.08878	0.18748	0.00000	0.00000
	24	0.00000	0.15710	0.08003	0.11656	0.00000	0.00000
80	1	0.00000	0.33967	0.00288	0.05759	0.00000	0.00000
	6	0.00000	0.30550	0.00348	0.06433	0.00000	0.00000
	12	0.00000	0.33358	0.00426	0.06719	0.00000	0.00000
	24	0.00000	0.31842	0.00849	0.06564	0.00000	0.00000
60	1	0.00618	0.09349	0.04716	0.17961	0.00653	0.00000
	6	0.00613	0.09276	0.05346	0.19511	0.00555	0.00000
	12	0.00400	0.09423	0.05086	0.18728	0.02229	0.00000
	24	0.00498	0.09339	0.05351	0.18883	0.02300	0.00000

ตารางที่ จ – 11 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินเหนียวหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00904	0.03095	0.02242	0.03244	0.00513	0.03746
	6	0.01176	0.03863	0.02473	0.02877	0.00432	0.03308
	12	0.00968	0.04388	0.02243	0.01934	0.00497	0.03518
	24	0.01238	0.02964	0.01783	0.01260	0.00437	0.03587
80	1	0.00807	0.09678	0.00687	0.02295	0.00138	0.03018
	6	0.00668	0.09598	0.00652	0.02539	0.00140	0.02738
	12	0.02027	0.09526	0.00693	0.02263	0.00414	0.02829
	24	0.01262	0.09653	0.00603	0.02653	0.00338	0.02918
60	1	0.00607	0.02153	0.03318	0.04253	0.01086	0.03388
	6	0.00127	0.02528	0.04109	0.04307	0.00870	0.03474
	12	0.00181	0.02918	0.03603	0.04326	0.00837	0.02613
	24	0.00514	0.02433	0.03613	0.04595	0.00914	0.03244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ – 12 ปริมาณโลหะสังกะสีในดินทรายหลังการสกัดลำดับขั้น

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชม.)	ปริมาณที่สามารถสกัดได้ในแต่ละขั้น (กรัม/กิโลกรัมดิน)					
		ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6
100	1	0.00223	0.02379	0.01949	0.02735	0.00513	0.03306
	6	0.00361	0.02263	0.02452	0.03088	0.00432	0.03618
	12	0.00442	0.01983	0.02841	0.02973	0.00497	0.02595
	24	0.00381	0.01207	0.02777	0.02562	0.00437	0.02782
80	1	0.00809	0.09631	0.00748	0.02115	0.01346	0.02287
	6	0.00764	0.09784	0.00739	0.02586	0.01331	0.02538
	12	0.00808	0.09867	0.00781	0.02438	0.01406	0.02372
	24	0.00838	0.10001	0.00763	0.02193	0.01374	0.01843
60	1	0.00000	0.02579	0.02529	0.05111	0.00896	0.02186
	6	0.00005	0.02697	0.02803	0.05003	0.00935	0.02888
	12	0.00000	0.02763	0.02870	0.05347	0.00971	0.02307
	24	0.00000	0.02733	0.02743	0.05273	0.00969	0.02074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.2 การคำนวณปริมาณของโลหะที่ต้องเติมลงในดิน

จากตารางที่ ค – 6 ปริมาณโลหะที่เติมลงในดิน สามารถทำได้โดยชั่งสารประกอบต่อไปนี้

1. $Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (แคดเมียม) = 0.71 mg
2. $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ (สังกะสี) = 469.76 mg
3. $PbCl_2$ (ตะกั่ว) = 783.23 mg
4. $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ (นิกเกิล) = 1,208.8 mg
5. Cu $NiSO_4 \cdot 5H_2O$ (ทองแดง) = 1,375.2 mg
6. $K_2Cr_2O_7$ (โครเมียม) = 833.94 mg

นำสารประกอบทั้งหมดมาละลายด้วยน้ำ 1.5 L จากนั้นเทดิน 1 Kg ลงไป คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน

วิธีคำนวณน้ำหนักสารประกอบ

ตัวอย่าง โลหะสังกะสีต้องการความเข้มข้น 550 mg/Kgดิน

มวลโมเลกุลของสารประกอบ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ = 278.11 g/mol

มวลอะตอม Zn = 207.2 g/mol

น้ำหนักที่ต้องการ $= \frac{207.2\ g/mol}{278.11\ g/mol} \times 500\ mg/Kg_{\text{ดิน}}$

$= 469.76\ mg/Kg_{\text{ดิน}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้