สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่มีผลต่อการดูดยึดระหว่างโลหะหนักกับดิน

T107759

นางสาวฐิติมาวดี สุทธิคุณ
นางสาวพนิตนันต์ นานาวิชิต
นางสาวลานนา ใจทาหลี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขหมู่ 2548
เลขทะเบียน 107759
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553
b 12210110
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Study of the Influence of Time to the Metal – Soil Adsorption

Titimavadee Sootticoon

Panitnan Nanavichit

Lanna Jaitalee

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณา และความร่วมมือของทุกๆ ท่าน ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ ที่ให้คำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำงาน ให้การดูแลเอาใจใส่อย่างดีมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ควบคุมโครงงานพิเศษอีกสองท่านคือ ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ผศ. กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลา ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาคเคมีทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่งในด้านอุปกรณ์ สารเคมี และงานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในการวิเคราะห์ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวฐิติมาวดี สุทธิคุณ
นางสาวพนิตนันต์ นานาวิชิต
นางสาวลานนา ใจทาหลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฎ
สัญลักษณ์คำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ภาวะมลพิษของดิน	3
2.2 ธาตุพิษในดิน	4
2.3 สมบัติของดิน	5
2.4 โลหะหนัก	12
2.5 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	32
3.2 แหล่งที่มาของดิน	33
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน	34
3.5 การสังเคราะห์ดิน	35
3.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ	38
4.2 การสังเคราะห์ดิน	40
4.3 การศึกษาสัดส่วนของโลหะในรูปต่างๆ ที่ถูกดูดยึดติดในดิน สังเคราะห์โดยการสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction)	41
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการเตรียมสารละลายโลหะหนัก 56

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ดิน 59

ภาคผนวก ค วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 66

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ 69

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินสังเคราะห์ในช่วงเวลาต่างๆ 75

ภาคผนวก ฉ ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์ 78

ภาคผนวก ช ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์ 85

ภาคผนวก ซ ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์ 92

ภาคผนวก ฌ ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์ 99

ภาคผนวก ญ ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์ 106

ภาคผนวก ฎ ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์ 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ	5
2.2	เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลง และความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ	8
2.3	ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอนุภาคดินในกลุ่มขนาดต่างๆ และในอินทรียวัตถุ	11
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรียวัตถุกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน	12
2.5	ระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน	12
2.6	ปริมาณการปล่อยโครเมียมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	19
2.7	สารเคมีที่ใช้ในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นสำหรับดิน	28
3.1	วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ	35
4.1	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ	38
4.2	ปริมาณของโลหะหนักที่มีอยู่ในดินธรรมชาติ	41
ง.1	ผลการทดลองหาค่าพีเอช	69
ง.2	ผลการทดลองหาความหนาแน่นรวม	69
ง.3	ผลการทดลองหาพื้นที่ผิว	69
ง.4	ผลการทดลองหาความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออน	70
ง.5	ผลการทดลองหาปริมาณอินทรียวัตถุ	70
ง.6	ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น	70
ง.7	ผลการทดลองหาปริมาณเหล็ก	70
ง.8	ผลการทดลองหาปริมาณทองแดง	71
ง.9	ผลการทดลองหาปริมาณแมงกานีส	71
ง.10	ผลการทดลองหาปริมาณโครเมียม	71
ง.11	ผลการทดลองหาปริมาณตะกั่ว	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง.12	ผลการทดลองหาปริมาณนิกเกิล	72
ง.13	ผลของการกระจายตัวของอนุภาค	73
ง.14	ผลของโลหะออกไซด์	74
จ.1	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน	75
จ.2	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน	75
จ.3	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน	76
จ.4	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์	76
จ.5	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน	76
จ.6	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน	77
จ.7	ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน	77
ฉ.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6	78
ฉ.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6	79
ฉ.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6	80
ฉ.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	81
ฉ.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	82
ฉ.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	83
ฉ.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ช.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6	85
ช.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6	86
ช.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6	87
ช.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	88
ช.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	89
ช.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	90
ช.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	91
ซ.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันFraction 1 – 6	92
ซ.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วันFraction 1 – 6	93
ซ.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วันFraction 1 – 6	94
ซ.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	95
ซ.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ซ.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	97
ซ.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	98
ฌ.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันFraction 1 – 6	99
ฌ.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วันFraction 1 – 6	100
ฌ.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วันFraction 1 – 6	101
ฌ.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	102
ฌ.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	103
ฌ.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	104
ฌ.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	105
ญ.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันFraction 1 – 6	106
ญ.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วันFraction 1 – 6	107
ญ.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วันFraction 1 – 6	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ญ.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	109
ญ.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	110
ญ.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	111
ญ.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	112
ฎ.1	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันFraction 1 – 6	113
ฎ.2	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วันFraction 1 – 6	114
ฎ.3	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วันFraction 1 – 6	115
ฎ.4	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6	116
ฎ.5	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6	117
ฎ.6	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6	118
ฎ.7	ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สภาพการดูดซับและดูดซึม	7
2.2	สภาพกรดจริง และกรดแฝง	9
2.3	การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับค่าพีเอช	20
2.4	การกระจายของสารประกอบนิกเกิล	24
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
3.2	การสกัดโลหะในรูปแบบต่างๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น	37
4.1	สัดส่วนเหล็กในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	42
4.2	สัดส่วนทองแดงในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	43
4.3	สัดส่วนแมงกานีสในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	45
4.4	สัดส่วนโครเมียมในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	46
4.5	สัดส่วนตะกั่วในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	48
4.6	สัดส่วนนิกเกิลในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อ

AWE	ความสามารถในการอุ้มน้ำ
CEC	ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน
DI	น้ำกลั่นปราศจากไอออน
Db	ความหนาแน่นรวม
Dp	ความหนาแน่นอนุภาค
E	ค่าความพรุนทั้งหมด
hr	ชั่วโมง
LD_{50}	ปริมาณของสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไป เป็นปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของสัตว์ทั้งหมด
M	โมลาร์
meq	มิลลิอิควิวาเลนซ์
N	นอร์มัล
pH	พีเอช
SD.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
V	โวลต์
v	ปริมาตร
w	น้ำหนัก
in	นิ้ว
m^2	ตารางเมตร
m^3	ลูกบาศก์เมตร
mg	มิลลิกรัม
g	กรัม
kg	กิโลกรัม
µg	ไมโครกรัม
ml	มิลลิลิตร
l	ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อ (ต่อ)

°C	องศาเซลเซียส
HOAc	กรดอะซิติก
NH_4OAc	แอมโมเนียมอะซิเทต
MgOAc	แมกนีเซียมอะซิเทต
NaOAc	โซเดียมอะซิเทต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

กิจกรรมทางอุตสาหกรรมของมนุษย์ การตกตะกอนจากอากาศและพื้นที่ที่มีการประยุกต์ใช้สำหรับบำบัดตะกอนของเสีย ทำให้มีสารปนเปื้อนในดินเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนที่พบมากที่สุด การสะสมของโลหะในดินก่อให้เกิดมลพิษสะสมในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ โลหะหนักจะสะสมอยู่ในพืชในขณะที่รากพืชดูดเอาแร่ธาตุต่างๆ จากดินไปใช้ในการเจริญเติบโต พืชบางชนิดไวต่อโลหะหนักมาก เมื่อได้รับโลหะหนักเข้าไปในปริมาณเพียงเล็กน้อยอาจทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักและอาจตายได้ในที่สุด และเมื่อสัตว์กินพืชที่มีการสะสมของโลหะอยู่ก็จะได้รับโลหะชนิดนั้นๆ เข้าไปด้วย เกิดปัญหาทางด้านเกษตรกรรมและการสะสมของโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้ โลหะหนักสามารถซึมลงสู่น้ำใต้ดิน เป็นเหตุให้น้ำใต้ดินและพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ลดลง ด้วยเหตุนี้ การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการกำจัดโลหะหนักในดิน จึงได้รับความสนใจมากในหลายปีที่ผ่านมา

ความสามารถในการนำไปใช้ได้ในทางชีววิทยามีความสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาที่คงอยู่ในดินของโลหะหนัก โดยทั่วไปนั้น เมื่อเวลาที่คงอยู่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการนำไปใช้ได้ในทางชีววิทยาจะลดลง นอกจากนี้ เวลาที่โลหะคงอยู่ในดินยังมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างโลหะไอออนและอนุภาคดิน ซึ่งประกอบด้วย ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อน การดูดซับและการตกตะกอนของโลหะไอออนในอนุภาคผิวดินหรือการกระจายตัวสู่รูขนาดกลางและรูขนาดเล็กของดิน โลหะหนักจะยึดอยู่กับอนุภาคดินในรูปที่มีความแข็งแรงแตกต่างกัน รูปของโลหะในดิน ได้แก่ รูปที่ละลายน้ำได้, รูปที่แลกเปลี่ยนไอออนได้, รูปที่ละลายได้ในกรด, รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้, รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้ และรูปที่เหลือ การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในรูปดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยกระบวนการสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันมาก

การที่จะกำจัดโลหะหนักในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายตัวทางเคมีในรูปต่าง ๆ ของโลหะและอิทธิพลของเวลาต่อรูปแบบทางเคมีของโลหะหรือการแตกตัวของโลหะในดิน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยังมีไม่เพียงพอ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงผลของเวลาที่มีต่อการแตกตัวของเหล็ก, ทองแดง, แมงกานีส, โครเมียม, ตะกั่ว และนิกเกิลในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นโลหะที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้การสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction) ความแตกต่างของสารแต่ละชนิดในดินและอภิปรายถึงกลไกที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินจาก 3 แหล่ง ได้แก่ ดินจังหวัดชลบุรี, ดินจังหวัดสระบุรี และดินจังหวัดปทุมธานี
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่างๆ ที่ถูกยึดติดในดิน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่มาจาก 3 แหล่ง ได้แก่ ดินจังหวัดชลบุรี, ดินจังหวัดสระบุรี และดินจังหวัดปทุมธานี โดยทำการวิเคราะห์หาค่าพีเอช, ความหนาแน่นรวม, พื้นที่ผิว, ความชื้น, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC), เปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์, เปอร์เซ็นต์ของอะลูมิเนียม, เหล็กและแมงกานีสออกไซด์, การกระจายตัวของอนุภาค และความเข้มข้นของเหล็ก, ทองแดง, แมงกานีส, โครเมียม , ตะกั่ว และ นิกเกิล
2. สังเคราะห์ดินที่ปนเปื้อนเหล็ก 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ปนเปื้อนทองแดง และแมงกานีสชนิดละ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และปนเปื้อน โครเมียม, ตะกั่ว และนิกเกิลชนิดละ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ทำการแปรผันระยะเวลาในการปนเปื้อนเป็นดังนี้ คือ 1 วัน, 2 วัน, 3 วัน, 1 สัปดาห์, 1 เดือน, 3 เดือน และ 6 เดือน ตามลำดับ นำดินที่ปนเปื้อนไปศึกษารูปแบบการดูดยึดของโลหะในดินด้วยกระบวนการสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction) วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโลหะในดินด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่มาจากทั้ง 3 แหล่ง ได้แก่ ดินจังหวัดชลบุรี, ดินจังหวัดสระบุรี และดินจังหวัดปทุมธานี
2. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่างๆ ที่ถูกยึดติดในดินและความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของโลหะหนักในดินเมื่อได้รับโลหะหนักเป็นเวลาต่างๆ กัน
3. เป็นแนวทางในการบำบัดโลหะหนักในดิน ทั้งการนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันและนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยวิธีบำบัดโลหะหนักในดินด้วยวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ภาวะมลพิษของดิน

ภาวะมลพิษของดิน (soil pollution) หมายถึง ภาวะการปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (soil pollutants) มากเกินขีดจำกัด จนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ดังนั้นภาวะมลพิษของดินจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และดินจะเสียได้ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงไปในดินมีมากกว่าการสลายตัวของสารมลพิษนั้นจนเกิดการสะสมมลพิษมากถึงขั้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อมซึ่งขึ้นอยู่กับ

1. ความเข้มข้นของสารมลพิษในสารละลายดิน มากกว่าปริมาณของสารมลพิษทั้งหมดในดิน เช่น สารมลพิษชนิดหนึ่งอาจมีมากในดินจนยากแก่การกำจัด แต่หากสามารถบังคับให้สารมลพิษชนิดนั้นมีความเข้มข้นน้อยในสารละลายดิน เช่น โดยการปรับสภาพกรด – ด่างของดิน หรือบังคับให้ตกตะกอนกับสารอื่น หรือ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะออกซิเดชัน – รีดักชันของดิน จึงควบคุมหรือลดระดับภาวะมลพิษของสารนั้นลงในระดับหนึ่งได้
2. ภาวะมลพิษนั้นได้ทำให้ดินสูญเสียหน้าที่ของดินไป คือ เป็นปัจจัย 4 ของมนุษย์ และเป็นเครื่องกรองสารมลพิษ มิให้ปนเปื้อนแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน กล่าวกันว่าดินเป็นเครื่องกรองที่มีชีวิต (living filter) มนุษย์ได้ใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งสิ่งปฏิกูลทั้งมวล โดยดินได้ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง โดยอาศัยสมบัติการมีประจุดูดซับสารที่มีประจุ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเคมีต่างๆในดิน ซึ่งดินที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะกีดกันสารมลพิษไม่ให้ปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ (ศุภมาศ, 2540)

ปัญหาดินเป็นพิษ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มตามกิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าไปเกี่ยวข้อง (สุธีลา และคณะ 2544) คือ

1. ดินเป็นพิษในภาคเกษตรกรรม

การใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิต ถ้าใช้ไม่ถูกต้องแล้วก็จะมีโทษตามมา เพราะปุ๋ยเคมีจะมีผลให้เกิดขบวนการมากมาย เช่น การแปรรูปของธาตุ (transformation), การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange), การดูดซึม (absorption), การตกตะกอน (precipitation), การตรึงธาตุต่างๆ (fixation), การดูดอาหารโดยรากพืช (absorption by plant root), การสูญเสียธาตุอาหารในสภาพก๊าซ (gaseous losses) และขบวนการอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งสารกำจัดศัตรูพืชนี้เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมี และ/หรือ สกัดจากธรรมชาติ ปัญหาดินเป็นพิษเนื่องจากสารกำจัดศัตรูพืชนี้ขึ้นอยู่กับความคงทนในดิน และเป็นพิษที่ทำลายสิ่งมีชีวิตในดิน จุลินทรีย์ดิน รวมทั้งส่งผลทางลบแก่พืชที่จะเจริญเติบโตในบริเวณนั้น

2. ดินเป็นพิษในอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจึงมีหลายประเภท พิษภัยของของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนในดินจึงแตกต่างกันออกไป เช่น โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินทั่วไป ได้แก่ ตะกั่ว, แคดเมียม, ปรอท และโลหะอื่นๆ

จะเห็นได้ว่าจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษ เช่น สารเคมีปราบศัตรูพืช ปุ๋ย จากภาคเกษตรกรรม วัตถุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม หากเกินความสามารถที่ดินจะรับไว้ได้ ดินก็จะปลดปล่อยสารมลพิษเหล่านั้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปสารอินทรีย์ ไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัส หรือธาตุพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมและจะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ในรูปสารละลายหรือสารแขวนลอยในน้ำในดิน ซึ่งน้ำในดินจะเป็นตัวกลางการแพร่กระจายสารมลพิษดังกล่าว

2.2 ธาตุพิษในดิน

ธาตุพิษ (toxic element) โดยทั่วไปมักหมายถึง ธาตุโลหะหนัก และธาตุอื่น ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สำคัญในดิน ธาตุพิษเหล่านี้จะเป็นสารมลพิษได้ เนื่องจากมีการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปสารประกอบและเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ แล้วมีการปนเปื้อนสู่สภาพแวดล้อม

ธาตุโลหะหนัก (heavy metal) หมายถึง โลหะธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไลน์ (alkaline) และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม (atomic number) ในช่วง 23 – 92 อยู่ในคาบที่ 4 – 7

ธาตุพิษและผลกระทบจากการปนเปื้อน

เราสามารถแบ่งธาตุออกได้ตามลักษณะสภาวะมลพิษเป็น 2 พวกคือ

1. สารมลพิษที่เป็นปัญหาระยะยาว

ได้แก่ สารมลพิษซึ่งคงอยู่ในดินได้นาน และพืชสามารถทนต่อสารมลพิษได้ในปริมาณจำกัด ได้แก่ ทองแดง, ตะกั่ว และปรอท แม้ธาตุเหล่านี้จะอยู่ในดินมากแต่พืชก็ไม่สามารถใช้และเก็บสะสมได้มาก โดยเฉพาะทองแดง ซึ่งเป็นธาตุที่พืชไวต่อพิษของมันมาก ดังนั้นในปีแรกๆ ที่ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับสารมลพิษเหล่านี้ จึงอาจมองเห็นปัญหาได้ไม่ชัดเจน เพราะธาตุเหล่านี้แพร่กระจายสู่ห่วงโซ่อาหารได้ในปริมาณน้อยๆ

2. สารมลพิษที่เกิดปัญหาได้ในระยะสั้น

ได้แก่ สารมลพิษที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชดูดซึมได้ทันทีและในปริมาณมาก จึงเกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว ได้แก่ โบรอน, แคดเมียม, นิกเกิล และสังกะสี

2.3 สมบัติของดิน

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

2.3.1.1 เนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดินบอกถึงปริมาณคอลลอยด์อนินทรีย์อย่างหยาบได้ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาณมาก ดินที่มีเนื้อละเอียดขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น (ตารางที่ 2.1) การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้เช่นกัน โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน เมื่อสลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดินได้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพื้นที่ผิวจำเพาะ

เนื้อดิน	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม./ก.)
เหนียว	150 – 250
ร่วนเหนียวปนซิลท์	120 – 200
ร่วนปนซิลท์	50 – 150
ร่วน	50 – 100
ร่วนปนทราย	10 – 40

ที่มา: ศุภมาศ (2540)

2.3.1.2 เนื้อดินกับความพรุนของดิน (soil porosity)

เนื้อดินหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่มาก แต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้ก๊าซถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างรดน้ำจะสูญเสียโครงสร้างดินได้ง่ายซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ช่องผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การรดน้ำเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ช่องบนหน้าดินปิด ทำให้น้ำและก๊าซถ่ายเทได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มอนุภาคของดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก และส่วนใหญ่อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงยากที่จะบ่งบอกขนาดและปริมาณช่องที่มีอยู่ในดินนี้ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวอาจเกาะยึดกันเองเป็นเม็ดดินเสถียร (stable aggregate) ซึ่งในสภาพเช่นนี้ดินเหนียวจะมีความพรุนสูงมาก ในทางตรงข้ามหากอนุภาคไม่เกาะยึดอยู่ในสภาพฟุ้งกระจาย ดินเหนียวลักษณะเช่นนี้จะแน่นทึบมาก น้ำและอากาศไหลถ่ายเทได้ยากมาก

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปช่องขนาดเล็ก (micro pore) ในดิน ก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน โดยที่เนื้อดินละเอียดจะมีช่องขนาดเล็กมากกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งช่องขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมน้ำเอาไว้ได้ ทำให้ดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (available water capacity – AWE) มากกว่า ดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืชและจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ระบบดิน – พืช เป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

2.3.1.3 เนื้อดินกับการดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption)

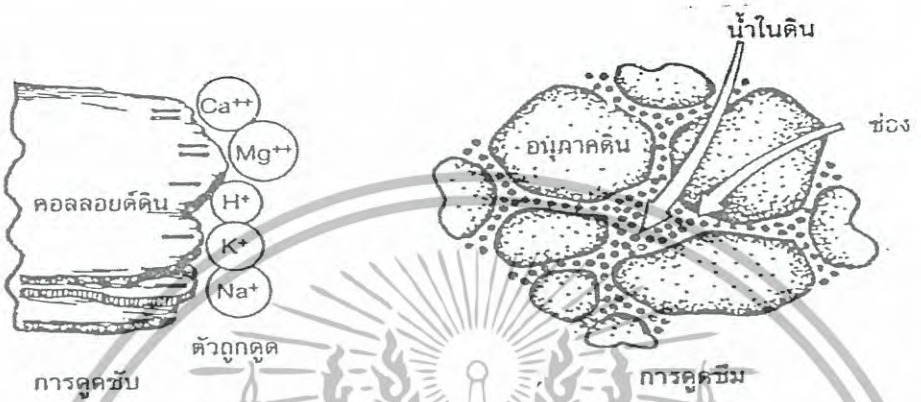
การดูดซับ (adsorption) หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุล ระหว่างสารชนิดที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า กับสารชนิดที่ทำหน้าที่เป็นตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเป็นอย่างมาก ส่วนการดูดซึม (adsorption) หมายถึง กระบวนการที่มีสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเกี่ยวข้องด้วยเช่นเดียวกับการดูดซับ โดยมีสารชนิดหนึ่งเป็นตัวดูดซับ และสารชนิดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังกล่าวเป็นตัวถูกดูดซับ ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้ว ตัวดูดซับจะดึงดูดตัวถูกดูดซับให้ฝังตัวอยู่ภายในโครงร่างของตัวดูดซับ และอาจมีกลไกอื่นๆ นอกเหนือไปจากการดึงดูดในระดับโมเลกุลเกี่ยวข้องด้วย

ความสามารถของสารชนิดหนึ่งในการดูดซับสารอื่นจะขึ้นอยู่กับว่า สารชนิดนั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากน้อยเพียงใด การดูดซับที่สำคัญได้แก่ การดูดซับน้ำ และการดูดซับไอออนในสารละลายดิน ซึ่งในดินตัวดูดซับก็คือ อนุภาคดินเหนียว และอนุภาคอินทรียวัตถุ เพราะมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง นอกจากนั้นอนุภาคทั้งสองยังมีประจุไฟฟ้า ซึ่งมีประจุลบเป็นส่วนใหญ่ จึงสามารถดูดซับไอออนที่มีประจุบวกได้เป็นอย่างดี น้ำส่วนหนึ่งซึ่งเป็นสารประกอบมีขั้ว (polar compound) จึงอาจถูกดูดซับได้ด้วยกระบวนการนี้เช่นกัน

การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือ การดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องระหว่างอนุภาคดิน ช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมจำต้องเอาชนะอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้มีความสัมพันธ์โดยกลับกับขนาดของช่อง ยิ่งช่องมีขนาดเล็กแรงดูดซึมก็ยิ่งมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินที่มีอนุภาคดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียวในปริมาณมาก (เนื้อดินละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มาก ปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มากโดยเหตุผลเดียวกัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สภาพการดูดซับและดูดซึม

2.3.1.4 เนื้อดินกับอินทรียวัตถุในดิน

โดยทั่วไปปริมาณอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์กับเนื้อดินพอสมควร กล่าวคือ ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรียวัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ ความสัมพันธ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำและดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก พืชพรรณที่ขึ้นในดินจึงมีปริมาณอินทรียวัตถุในอัตราที่มากกว่า และดินเนื้อหยาบมีการระบายอากาศที่ดีกว่าดินเนื้อละเอียด อัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุจึงสูงกว่า ทำให้เหลือปริมาณอินทรียวัตถุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

2.3.1.5 เนื้อดินกับสภาพความชื้นและการเคลื่อนย้ายของน้ำ

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดิน เป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับการชะละลาย (leaching) ของดินและการแทรกซึมลง (infiltration) ของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ดังตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพความจุที่ความชื้นปกติ (filed capacity) ในประเภทเนื้อดินต่างๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำและความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับปรุงได้โดย การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน และการปรับปรุงโครงสร้างดิน จึงเป็นการลดอัตราการแทรกซึมลง และเป็นการลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เนื้อดินกับอัตราการแทรกซึมลง และความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ

เนื้อดิน	การแทรกซึมลง (นิ้ว/ชม.)		ปริมาณทั้งหมด (นิ้ว/ฟุตของความลึก)
	ดินพืชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลท์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1.0	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2.0	1.0	1.2

ที่มา: ศุภมาศ (2540)

2.3.1.6 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน

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

สำหรับความพรุนของดินนิยมบอกเป็นค่าความพรุนทั้งหมด (total porosity, E) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของส่วนที่ไม่ใช่ของแข็งในดิน เมื่อคิดเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของดิน

ความสัมพันธ์ของค่าทั้งสามดังกล่าวอาจแสดงโดยสมการที่ 2.1

$$E = (1 - Db/Dp) \times 100 \quad (2.1)$$

เนื่องจากค่าความหนาแน่นรวมคำนวณโดยเทียบน้ำหนักแห้งของดินกับปริมาตรทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นช่องในดิน ดังนั้นดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำจึงหมายความโดยอ้อมได้ว่าดินนั้นมีส่วนที่เป็นช่องมาก เมื่อเนื้อดินละเอียดยิ่งขึ้นความพรุนของดินโดยปกติจะมากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นรวมของดินเนื้อละเอียดจึงมักต่ำกว่าของดินเนื้อหยาบ ดินเหนียวมีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.0 – 1.3 กรัมต่อมิลลิลิตร ดินร่วนเหนียวและร่วนปนซิลท์มีความหนาแน่นรวมประมาณ 1.1 – 1.4 กรัมต่อมิลลิลิตร และดินร่วน ร่วนปนทราย และทรายมีความหนาแน่นรวมโดยเฉลี่ยประมาณ 1.32 กรัมต่อมิลลิลิตร ดินในระดับที่ลึกลงไป ความพรุนของดินจะน้อยลง ทำให้มีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น

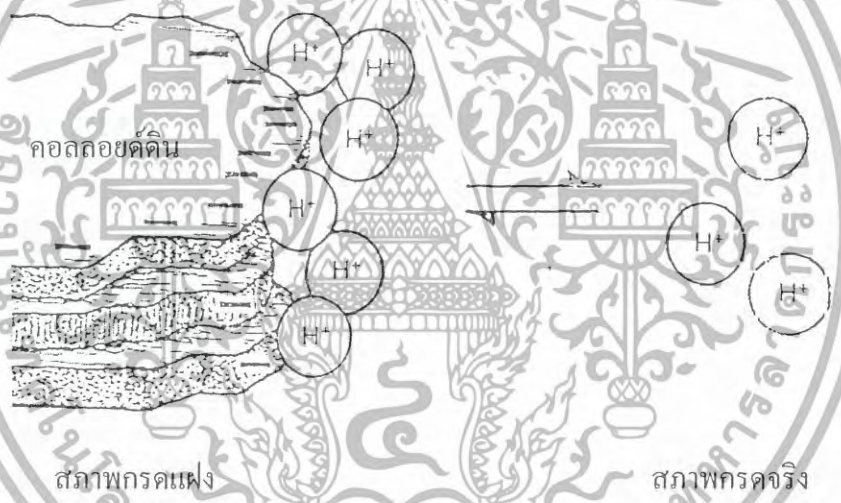
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สมบัติทางเคมี

2.3.2.1 ความเป็นกรด – ด่างของดิน (soil pH)

การวัดค่าความเป็นกรด – ด่างของดิน คล้ายคลึงกับการวัดค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำ คือ การวัดค่าพีเอชของดิน แต่แตกต่างกันเป็นอย่างมากที่ ดินนั้นมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิดคือ กรดจริง และกรดแฝง

ดินเป็นสิ่งที่มีทั้งประจุบวกและลบ แต่มีค่าประจุลบมากกว่า ความมีประจุนี้ นับว่าเป็นประโยชน์อย่างที่สุด เพราะธาตุต่างๆในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารพืชในรูปที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในรูปประจุเช่นกัน ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินดูดซับเอาไว้ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของราก ซึ่งทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้สูญเสียได้ ธาตุอาหารที่ถูกดูดซับไว้นี้ย่อมมีโอกาสให้พืชดึงดูดเอาไปใช้ได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สภาพกรดจริง และกรดแฝง

ไฮโดรเจนไอออนนั้นมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับ จึงเรียกว่า สภาพกรดแฝง (potential acidity) ส่วนของกรดที่มีบทบาทต่อความสามารถในการละลายได้ของธาตุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชนี้ คือสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน (มีค่าสภาพกรดจริงเท่ากัน) จะมีความต้องการปูนในการยกระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับมาก และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ดูดซับออกมาเป็นบางส่วน ลักษณะคล้ายการแตกตัวของกรดอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity – CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุในดิน อนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก เป็นอนุภาคอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยส่วนใหญ่อนุภาคดินเหนียวมีรูปร่างแบนบาง ทำให้โอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปมีได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดมีการสูญเสียอะตอมไปก็จะมีประจุทันที บริเวณขอบของอนุภาคจึงมีประจุ นอกจากนี้อะตอมของธาตุอื่นที่มีขนาดเท่ากันกับธาตุที่เป็นองค์ประกอบในอนุภาคดินเหนียวแต่มีจำนวนประจุไม่เท่ากัน อาจหลุดเข้าไปแทนที่ซึ่งจะทำให้อนุภาคมีประจุได้ในอินทรียวัตถุนั้น การแตกตัวของกลุ่มอนุมูลบางตัวจากสารประกอบอินทรีย์ก็จะทำให้มีประจุได้เช่นกัน ประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินจึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้ และเนื่องจากดินแต่ละชนิดมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวและอินทรียวัตถุไม่เท่ากัน จึงมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคตไอออนที่ถูกดูดซับ (adsorbed cation) กับคอลลอยด์ดินเหล่านี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงกันได้กับแคตไอออนในสารละลายดิน จึงมีชื่อเรียกว่า แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation) มีความหมายถึง ปริมาณแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับเอาไว้ได้ ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น meq/100g ดินแห้ง

กระบวนการแทนที่แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้โดยแคตไอออนในสารละลายดินเรียกว่า การแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange) ซึ่งในดินแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ส่วนใหญ่จะเป็น Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, Al^{3+} และ H^{+} แคตไอออน 4 ตัวแรกมีชื่อเรียกรวมกันว่า เบสแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) ในดินบางสภาพ เช่น ดินน้ำขังจะมี Mn^{2+} หรือ Fe^{2+} ละลายได้มาก และถูกดูดซับเป็นส่วนใหญ่ในสภาพดินเป็นกรด Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}และ Al (Al^{3+} หรือ $Al(OH)^{2+}$) จะเป็นแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้เป็นหลัก ในสภาพดินเป็นด่าง Ca^{2+} และ Mn^{2+} จะยึดพื้นที่ประจุลบของดินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในดินเค็ม Na^{+} จะเป็นแคตไอออนหลักที่ดินดูดยึดไว้

การที่ดินมีแคตไอออนที่ถูกดูดซับสมดุลกับแคตไอออนในสารละลายดิน ทำให้ดินมีสภาพคล้ายสารละลายบัฟเฟอร์ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในดิน เช่น การยกระดับพีเอช การไล่ Na^{+} ออกจากดิน จึงเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป เพราะเมื่อแคตไอออนในสารละลายดินมีปริมาณน้อยลง แคตไอออนส่วนที่แลกเปลี่ยนได้ค่อยๆ ถูกปลดปล่อยจากส่วนที่เป็นของแข็งออกมาสู่ส่วนที่เป็นสารละลายดิน ดินที่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงจึงมีกำลังบัฟเฟอร์ (buffer power) สูงด้วย

เนื้อดินและอินทรียวัตถุในดินเป็นตัวกำหนดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนเป็นอย่างมาก ตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคกลุ่มขนาดทรายไม่มีประจุเลย ขณะที่กลุ่มขนาดดินเหนียวมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงสุดแต่ก็ยังมีค่าต่ำกว่าอินทรียวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมาก ในสภาพดินทั่วไป ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน จึงขึ้นอยู่กับปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุ (ตารางที่ 2.4) จากความสัมพันธ์ดังกล่าว หากทราบปริมาณดินเหนียวและอินทรียวัตถุแล้ว ก็อาจจะประมาณค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้อย่างหยาบๆ โดยทั่วไปดินเหนียว 1 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน แก่ดินประมาณ 0.5 meq และอินทรียวัตถุ 1 เปอร์เซ็นต์ จะให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนแก่ดิน ประมาณ 2 meq

ในดินทั่วไปความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของหน้าดินมีค่าระหว่าง 0.5 – 50 meq/100g ซึ่งการประเมินระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ถ้าระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินต่ำหมายความได้ว่า ดินชนิดนั้นมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวหรืออินทรียวัตถุอยู่น้อย การเพิ่มค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนจึงทำได้โดยการเพิ่มวัตถุดังกล่าวอย่างใดอย่างหนึ่งลงไปในดิน ซึ่งการเพิ่มดินเหนียวให้ได้ 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนนั้น เป็นสิ่งที่ทำได้ยากมากกว่าการพยายามเพิ่มอินทรียวัตถุอีก 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนมากเป็น 4 เท่าของการเพิ่มปริมาณดินเหนียว

ตารางที่ 2.3 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอนุภาคดินในกลุ่มขนาดต่างๆ และในอินทรียวัตถุ

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

ที่มา: ศุภมาศ (2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและอินทรียวัตถุกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

เนื้อดิน	อินทรียวัตถุ (%)	ดินเหนียว (%)	CEC (meq/100g)
ทราย	1.7	7	6
ร่วนปนทราย	3.2	13	13
ร่วน	4.9	17	20
ร่วนปนซิลท์	5.4	18	24
ร่วนเหนียว	5.5	31	27

ที่มา: ศุภมาศ (2540)

ตารางที่ 2.5 ระดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

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

ที่มา: ศุภมาศ (2540)

2.4 โลหะหนัก (ชุติมา, 2543)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่น ตะกั่ว, แคดเมียม, ปรอท, นิกเกิล และโครเมียม เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักมีสภาพเป็นของแข็ง ยกเว้น ปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีแผ่บางๆได้ ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญ คือ สามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่น เป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปแบบและเสถียรกว่าโลหะอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูง ได้แก่ สารหนู (As), ทองคำ (Au), แคดเมียม (Cd), ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb), พลวง (Sb), เทลลูเรียม (Te) และสังกะสี (Zn) และกลุ่มที่แนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ แบเรียม (Ba), บิสมัท (Bi), เหล็ก (Fe), โมลิบดีนัม (Mo), ไทเทเนียม (Ti) และ ยูเรเนียม (U)

ความเป็นพิษของกลุ่มโลหะหนักเหล่านี้ เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณแตกต่างกัน แล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายนั่นเอง แหล่งที่มาที่สำคัญของโลหะหนักเหล่านี้ คือ กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งอุตสาหกรรม จากนั้นจึงเกิดการปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อมในดิน, น้ำ, อากาศ และผลผลิตจากการเกษตร และเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ และมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต

โลหะหนักในดิน

โลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินมีที่มา 2 แหล่ง คือ จากวัตถุต้นกำเนิดดิน และจากแหล่งมลพิษ แร่ธาตุที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินมีโลหะหนักปนอยู่ เมื่อแร่เหล่านั้นสลายตัวจึงทำให้โลหะหนักปนเปื้อนในดินด้วย แต่ในปริมาณเล็กน้อยมาก เมื่อเทียบกับแหล่งมลพิษจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรม หรือจากการคมนาคม

ปัจจัยที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงโลหะหนักในดิน

1. การดูดซับบนพื้นผิวอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัส
2. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับฮิวมัส
3. การถูกดูดซับและตกตะกอนโดย hydrated acid
4. การเกิดสารประกอบที่ไม่ละลายใน redox potential บางสภาวะ หรืออาจตกตะกอนกับคาร์บอน, ฟอสเฟต และไฮดรอกซิล

รูปแบบการแพร่กระจายของโลหะหนักในดิน

รูปที่ 1: ละลายน้ำได้

รูปที่ 2: แลกเปลี่ยนไอออนได้

รูปที่ 3: ละลายได้ในกรด สร้างพันธะกับสารประกอบคาร์บอเนตมีการดูดซึมเฉพาะตัว และ สร้างเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุและอนินทรียวัตถุ โลหะหนักที่มีรูปแบบการแพร่กระจายใน รูปนี้จะมีการเคลื่อนที่ง่าย พืชสามารถดูดซึมไปได้ง่าย

รูปที่ 4: ถูกรีดิวซ์ได้ สร้างพันธะกับเหล็กและแมงกานีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5: ถูกออกซิไดซ์ได้ สร้างพันธะกับอินทรียสาร และ/หรือ สร้างเชิงซ้อนกับสารประกอบซัลไฟด์

รูปที่ 6: กลุ่มที่เหลือ คือ เป็น แร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ

2.4.1 เหล็ก

เหล็กมีอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติและดิน ในน้ำนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเป็นรูปของของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ไอออนของเหล็กสามารถเปลี่ยนรูปได้โดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังสมการ

$$4Fe^{2+} + O_2 + 4H^+ \longrightarrow 4Fe^{3+} + 2H_2O \qquad (2.2)$$

เฟอร์ริกไอออนจะทำปฏิกิริยากับน้ำต่อ ได้ดังสมการ

$$Fe^{3+} + mH_2O \longrightarrow Fe(OH)_m^{(3-m)} + mH^+ \qquad (2.3)$$

เหล็กในดินจะอยู่ในรูปของแร่ไพรอกซีน, แอมฟิโบล, ไพโรค์, ไลมอไนต์ และฮีมาไทต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีในแร่ทุติยภูมิซึ่งเป็นออกไซด์, ซัลไฟด์ และซิลิเกต รวมทั้งสารอินทรีย์ที่จับเหล็กไว้เป็นเหล็กคีเลต สารประกอบอย่างง่ายที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ได้แก่ ไอออนของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้และที่อยู่ในสารละลายของดิน, ferrosoferric hydroxides และเกลือเฟอร์รัสต่าง ๆ

ความเป็นพิษของเหล็ก

เหล็กมีอันตรายเพียงเล็กน้อย เมื่อสัมผัสผิวหนังจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย เมื่อหายใจเข้าไปอาจเกิดอาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นของเหล็กเมื่อเข้าตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง และเมื่อรับประทานเข้าไปมากๆ จะรบกวนระบบการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ เหล็กมีค่า LD_{50} สำหรับการรับทางปากเท่ากับ 30 กรัมต่อกิโลกรัม

ฝุ่นของเหล็กเมื่อได้รับความร้อนหรือถูกเผาไหม้สามารถติดไฟได้ปานกลางและอาจเกิดอันตรายจากการระเบิดได้ มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาต่ำ

2.4.2 ทองแดง (ชุติมา, 2544)

ทองแดงเป็นหนึ่งในโลหะที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก และอาจเป็นโลหะชนิดแรกที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ ทองแดงถูกพบทั้งในรูปอิสระ และในรูปสารประกอบของ ซัลไฟด์ (sulfide), ออกไซด์ (oxide) และคาร์บอเนต (carbonate) สินแร่พื้นฐานของทองแดงคือ ชาโคไพไรต์ (chalcopyrite), $CuFeS_2$, ชาโคไซต์ (chalcocite), CuS_2 และบอร์ไนต์ (bornite), Cu_5FeS_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดงเป็นธาตุจำเป็นต่อพืชด้วย เช่นจำเป็นต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และเอนไซม์ของพืช ซึ่งทองแดงจะปนอยู่ในดินทั้งส่วนที่เป็น soil solid และ soil solution ซึ่งอยู่ในรูป Cu^{2+} ทองแดงถือว่าเป็นธาตุที่มีความเสถียรสูง การเคลื่อนที่ต่ำ การละลายต่ำ ส่งผลให้พืชสามารถดูดซึมได้น้อย ซึ่งการที่ทองแดงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำ เนื่องจาก ถูกดูดซับไว้โดย ออกไซด์ของแมงกานีส, อะลูมิเนียม และเหล็ก โดย silicate clay และฮิวมัส และจะดูดซับมากขึ้นเมื่อพีเอชในดินเพิ่มขึ้น

คุณสมบัติทางเคมี

ตามปกติทองแดงจะไม่ทำปฏิกิริยา ไม่ละลายใน monoxidizing acid เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ค่า oxidation potential ของปฏิกิริยาคือ -0.34 V ที่ 25 °C ทองแดงละลายใน oxidizing acid เช่นกรดไนตริก (HNO_3) หรือในตัวทำละลายเช่น ไทโอยูเรีย (thiourea), $=C(NH_2)_2$ ได้สารละลาย ที่เสถียร คือ Cu^+ ไอออนดังสมการ

$$Cu + 3S=(NH_2) + HCl \longrightarrow Cu[S=C(NH_2)_2]_3Cl + 1/2H_2 \quad (2.4)$$

Cu^{2+} จะเกิดขึ้นเมื่อมีแก๊สออกซิเจน (O_2) และตัวทำละลายเช่น แอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการ

$$Cu + 4NH_3 + 1/2O_2 + H_2O \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^- \quad (2.5)$$

ไอออนของทองแดงที่พบบ่อยๆ มี 2 รูป คือ Cu^+ และ Cu^{2+}

Cu^{2+} ไอออนมีอิเล็กตรอนใน d – shell ไม่เต็ม ทำให้สารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} มีสี และแสดงสมบัติแม่เหล็กเนื่องจากอิเล็กตรอนที่มีอิเลกตรอนเดี่ยวในออร์บิทัล สมบัติแม่เหล็กนี้ทำให้โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของ Cu^{2+} บิดเบี้ยวอย่างเห็นได้ชัด เกลือของ Cu^{2+} ละลายได้ดีในน้ำ และในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วชัด เช่น เมทานอล และ อะซิโตไนไตร์ล

ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อย เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึม ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัมต่อวัน และร่างกายของคนเรามีทองแดงอยู่ 100 – 150 มิลลิกรัม ซึ่งทองแดงจำนวนนี้มีความเข้มข้นสูงสุดที่ตับและกระดูก โลหิตของเรามีทองแดงอยู่ด้วยเป็นที่ทราบกันดีว่าการสร้างฮีโมโกลบินต้องอาศัยทองแดง ถึงแม้ไม่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าทองแดงในปริมาณเล็กน้อยไม่เพียงแต่ไม่เป็นพิษ ยังเป็นสิ่งที่ร่างกายเราต้องการ แต่ถ้ามีในปริมาณสูงก็จะทำให้เกิดโทษและเป็นพิษได้ เช่น $CuSO_4$ 27 กรัม ทำให้ตายได้ ถ้ารับประทานปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน, เหน็บชา และสำลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 แมงกานีส (ชัยวัฒน์, 2525)

แมงกานีสค้นพบโดย Scheele นักเคมีชาวสวีเดน ในปี ค.ศ. 1774 ขณะทำการศึกษาและวิเคราะห์แร่ pyrolusite ซึ่งเป็นแร่ของ MnO_2 ในปีเดียวกัน Gahn ผู้ร่วมงานของ Scheele ก็สามารถสกัดแร่นี้ได้ แร่แมงกานีสมักพบปะปนกับแร่ของเหล็ก และเนื่องจากแร่ของธาตุนี้ คือ pyrolusite มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก จึงตั้งชื่อแร่นี้จากคำลาติน magnes แปลว่าแม่เหล็ก (magnet)

แมงกานีสมีเลขอะตอมเท่ากับ 25 เป็นธาตุแรกของหมู่ VII B จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน เลขออกซิเดชันเท่ากับ +2, +3, +4, +6 และ +7, น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 54.938, จุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,244 ˚C, จุดเดือดที่ 760 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,097 ˚C

แมงกานีสสามารถพบได้ในดินในรูปของแร่ปฐมภูมิและแร่ทุติยภูมิ เช่น สารประกอบออกไซด์, ซิลิเกตและซัลไฟด์, ถูกดูดซับเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียสาร, เกิดการดูดซับทางเคมีกับ silicate clay และออกไซด์ของแมงกานีส และเหล็ก และจะดูดซับมากขึ้นเมื่อพีเอชในดินเพิ่มขึ้น สารประกอบอย่างง่ายที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ ได้แก่ แมงกานีสที่แลกเปลี่ยนได้ และที่อยู่ในสารละลายในดิน

การนำแมงกานีสมาใช้ประโยชน์

นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ ในการเตรียมสารเคมีของแมงกานีสที่มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม, อาหาร, เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยา และในการวิเคราะห์ แมงกานีสส่วนใหญ่ใช้ในการควบคุมปริมาณกำมะถันในกระบวนการผลิตเหล็กกล้า และทำโลหะเจือทั้งที่มีเหล็กและไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ โลหะเจือที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยเรียกว่า เฟอร์โรอัลลอยด์ และโลหะเจือระหว่างแมงกานีสและเหล็ก (และธาตุอื่นๆ เล็กน้อย) เรียกว่า เฟอร์โรแมกเนส ซึ่งมีหลายชนิด ที่สำคัญชนิดหนึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ แมงกานีส 78 – 82 เปอร์เซ็นต์, เหล็ก 12-16 เปอร์เซ็นต์, คาร์บอน 6 – 8 เปอร์เซ็นต์ และ ซิลิกอน 1 เปอร์เซ็นต์ โลหะเจือของแมงกานีสมีสมบัติแข็งแกร่งและสามารถป้องกันการขึ้นสนิมได้เป็นอย่างดี

ความเป็นพิษของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นหนึ่งในจำนวน 5 ธาตุที่พืชชั้นสูงส่วนใหญ่ต้องการเพียงเล็กน้อย (trace elements) อีก 4 ธาตุ ได้แก่ โบรอน (B), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu) และโมลิบดีนัม (Mo) เหตุผลประการหนึ่งที่ธาตุนี้จำเป็นสำหรับพืชเพราะเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จำเป็นสำหรับเอนไซม์บางชนิด พืชที่ขาดแมงกานีสจะเกิดอาการผิดปกติหลายอย่าง ที่สำคัญชนิดหนึ่งเรียกว่า intervenal chlorosis (เพราะขาดคลอโรฟิลล์) ทำให้เกิดรอยเหลืองหรือสีเทาระหว่างเส้น (vein) ของใบ ดังนั้นดินที่ขาดแมงกานีสจึงต้องมีการเติมแมงกานีสพิเศษลงในปุ๋ยที่ใช้ ทั่วไปในรูปของ $MnSO_4$ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

MnO สำหรับคน สารประกอบของแมงกานีสทั่วไปถือว่าไม่เป็นพิษ (ถ้าเข้าสู่ร่างกายหรือมีในร่างกายในปริมาณน้อย) เมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นพิษของไอออนของโลหะอื่น เช่น ปรอท (Hg), แคดเมียม (Cd), แทลเลียม (Tl), และตะกั่ว (Pb) ฯลฯ

2.4.4 โครเมียม (ชัยวัฒน์, 2525)

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron ($FeOCr_2O_3$) มีอยู่ประมาณ 0.037 เปอร์เซ็นต์ ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมากๆ จนถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001 – 0.007 $\mu g/m^3$ เลขออกซิเดชันของโครเมียมมีตั้งแต่ -2 ถึง +6

- โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- hexacarbonylchromium ($Cr(CO)_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดซ์เป็น โครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นแวเลนซ์ที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสภาวะกรด $[Cr(H_2O)_6]^{3-}$ และในสภาวะด่าง $[Cr(OH)(H_2O]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอๆ กับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
  - โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
  - โครเมียมคลอไรด์ (CrO_2Cl)
  - โครเมต (CrO_4^{2-})
  - ไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำจะได้โครเมต ปฏิกิริยาดังนี้

$$Cr_2O_7^{2+} + H_2O \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 2H^+ \qquad (2.6)$$

โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)

$$Cr_2O_7^{2+} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107759

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เป็นเวลากว่า 10 ปี เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก, รงควัตถุ, สีทา, สีย้อม, สารยืดอายุไม้, สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ และการชุบโครเมียมและการฟอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อลื่นเย็น เพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะชุบเพลทโลหะและการประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุด และมีความเป็นไปได้ว่าในระยะยาวจะมีการสะสมและกระจายตัวของโครเมียมในระบบนิเวศเพิ่มมากขึ้น

ธาตุโครเมียม (Cr) จะไม่พบในสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ ($FeOCr_2O_3$) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต เป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่นๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การฟอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารกัดกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานต่างๆ จะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียม (+6) ในสภาวะเป็นกรด และโครเมียม (+6) จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

โครเมียมที่พบในดินมักพบอยู่ในรูป Cr^{3+} และมีบางส่วนที่อยู่ในรูป Cr^{6+} ในรูปของ CrO_4^{2-} ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในดิน อย่างไรก็ตาม Cr^{3+} จะเกิดสารเชิงซ้อนอย่างแรงกับอินทรีวัตถุในดินและการดูดซับทางเคมีกับออกไซด์และซิลิเกตในดินที่สภาวะที่มีพีเอชต่ำ ส่วนในสภาวะที่มีพีเอช สูงจะเกิดการตกตะกอนในรูป $Cr(OH)_3$ จึงมีความเสถียรมากขึ้นและพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการปล่อยโครเมียมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งกำเนิด	ปริมาณโครเมียม (ตัน)	ปริมาณโครเมียม (%)
Asbestos mining	8	0.07
Kraft pulp mill recovery funnace	Neg	Neg
Sulfite pulp mill	Neg	Neg
Primary chromium production	4,200	34.98
Asbestos product	Neg	Neg
Refractory brick prodrution	7	0.06
Installation of asbestos material	Neg	Neg
Spray – on fire proffing	Neg	Neg
Use of insulating cement	Neg	Neg
Power plant boilers		
Pulverized coal	5,571	46.40
Stoker coal	640	5.33
Cyclone coal	192	1.60
All oil	22	0.18
Industrial boilers		
Pulverized coal	247	2.06
Stoker coal	864	7.20
Cyclone coal	123	1.02
All oil	17	0.14
Residential/commercial boilers		
Coal	77	0.64
Oil	38	0.32
Total	12,006	

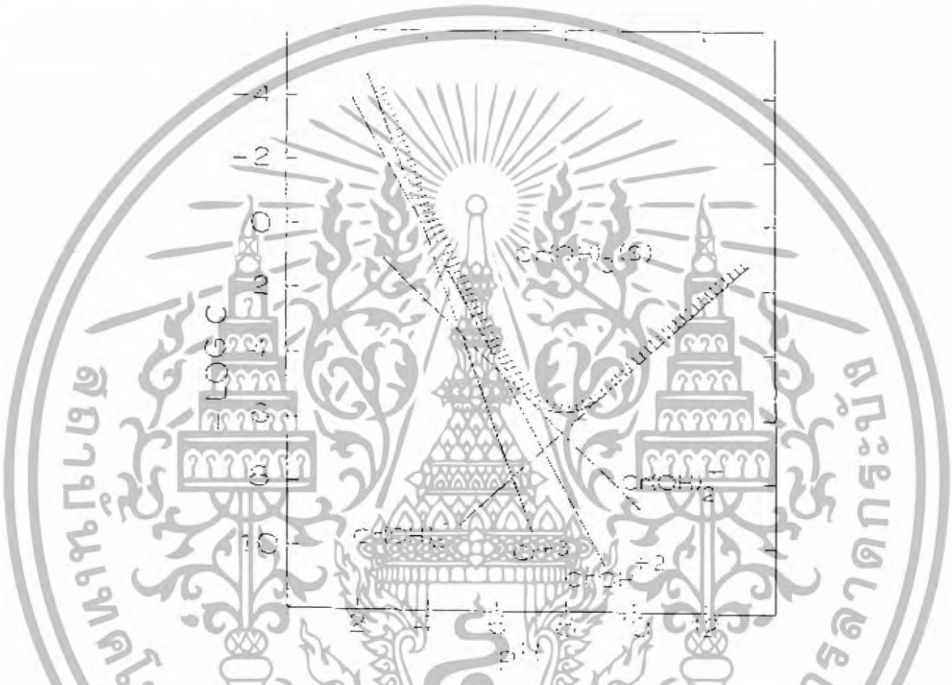
หมายเหตุ: Neg = ไม่มีข้อมูล

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการออกซิไดซ์ของ Cr^{3+} ไปเป็น Cr^{6+} ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และอัตราส่วนที่มีอยู่แต่ละชนิด Cr^{3+} ตามธรรมดาแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติ หรือสภาวะเบสเล็กน้อย และละลายได้เล็กน้อย คือ ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ พีเอช 8.5 โดยประมาณ การละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอช การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอช เนื่องจากสูตรของ $Cr(OH)_4^-$ และชนิดของไฮโดรไลซีสอื่น

การเปลี่ยนเลขออกซิเดชันระหว่าง Cr^{3+} และ Cr^{6+} เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์



รูปที่ 2.3 การละลายของ $Cr(OH)_3$ กับค่าพีเอช

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ Cr^{6+} ปฏิกิริยารีดักชันสามารถถูกแสดงออกมาในสารละลายกรดได้ (พีเอช 2 – 3)

$$Cr_2O_7^{2+} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O \qquad (2.8)$$

ในการมีอยู่ของ Fe^{2+} จะพบ Cr^{6+} ถูกรีดิวส์ที่ พีเอช 6.5 – 8.5

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{2+} + 6Fe^{3+} + H_2O \qquad (2.9)$$

จึงชี้ให้เห็นว่า การลดลงของ Cr^{6+} อาจเกิดขึ้นถึงแม้ว่า จะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งถูกผลิตโดยการเน่าเปื่อยของสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียซัลเฟตรีดักชั่นหรือโดยการปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน การผลิต Cr^{6+} โดยปฏิกิริยานี้ น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซึมโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของ Cr^{6+} ที่พีเอช 6.5 – 8.5

$$2Cr(OH)_2^{+} + 1.5O_2 + H_2 \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 6H^{+} \qquad (2.10)$$

อย่างไรก็ตามโครเมียม อาจจะเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น การดูดซับอนุภาค เป็นต้น

อันตรายที่อาจเกิดจากโครเมียม

โครเมียมที่มีอยู่สถานะทั่วไปในธรรมชาติ คือ โครเมียม (+3) และโครเมียม (+6) กรณีของโครเมียม (+6) จะมีความเป็นพิษมากกว่า โครเมียม (+3) ประมาณ 100 เท่า โลหะโครเมียมบริสุทธิ์จะไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เกลือที่ละลายน้ำของโครเมียม (+3) ทั้งออกไซด์และฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำจะไม่เป็นพิษ

1. แผลจากโครเมียมเกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มเป็นรอยถลอกที่ผิวหนังและจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือตามมือหรือหลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างเรียบ บุ๋มลึกลงไป ปกติมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า ซึ่งจะมองดูคล้ายถูกเจาะด้วยตะปู ถึงแม้ว่าแผลนี้จะไม่เจ็บปวดแต่จะคันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลอาจเกิดการติดเชื้อขึ้น และอาจทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียง ซึ่งอาจทำให้ต้องตัดนิ้วทิ้ง ฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูกซึ่งอาจจะเกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน
2. ผิวหนังอักเสบ บริเวณที่อาจเกิดการอักเสบ ได้แก่ มือ แขน ขา ใบหน้า และหน้าอก อาจเกิดเมื่อมีคนงานมาทำงานแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่รุนแรงใบหน้าจะมีสีแดงเข้มและบวม ส่วนที่อักเสบ จะคันมากและอาจเจ็บแสบด้วย
3. ผนังกั้นในจมูกเจาะทะลุ คนที่ทำงานกับโครเมียมจะได้รับควันกรดโครมิกหรือฝุ่นละอองเป็นประจำจะทำให้ผนังกั้นในรูจมูกถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุนี้คนงานจะไม่รู้สึกเจ็บปวดแต่อย่างใด จะรู้สึกตัวก็ต่อเมื่อมีเสียงอู้อี้ หรือดั้งจมูกแบนลง
4. มะเร็งปอด อาจเกิดกับคนงานที่สูดเอาโครเมียมเข้าสู่ร่างกายเป็นประจำ และเป็นเวลานาน ซึ่งอาจเป็นอันตรายอย่างมากแก่ชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 ตะกั่ว

ตะกั่วมีเลขออกซิเดชัน 0, +2, +4 ตะกั่วมีสถานะออกซิเดชัน +2 ที่เสถียร สมบัติทางกายภาพของตะกั่วประกอบด้วย ความหนาแน่น 11.3 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดหลอมเหลว 327 °C การนำไฟฟ้าดี ออกไซด์ของตะกั่วอยู่ในรูป PbO, PbO_2 และ Pb_2O_4 ซึ่ง Pb^{4+} จะเสถียรกว่า Pb^{2+} ของตะกั่ว +2 โดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำ ยกเว้น อะซิเตตและไนเตรตเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวอย่างอิสระให้ไอออน Pb

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีอยู่ตามธรรมชาติทั้งในอากาศ น้ำ และไบโอสเฟียร์ มนุษย์ได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายโดยการรับประทานอาหาร น้ำดื่ม และจากการหายใจ ในสภาวะตามธรรมชาติคาดว่ามีตะกั่วอยู่ในอาหารประมาณ 0.01 พีพีเอ็ม ในน้ำ 0.005 พีพีเอ็ม และในอากาศ 0.0005 $\mu g/m^3$ สำหรับปริมาณของตะกั่วในอากาศ ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นซิลิเกต และมีเพียงจำนวนน้อยเท่านั้นที่มาจากแก๊สภูเขาไฟและแหล่งอื่นๆ

สารตะกั่วเคยถูกนำมาใช้ในการเพิ่มออกเทนน้ำมันเบนซิน และกันเครื่องยนต์น็อค โดยอยู่ในรูปของเตตระเอทธิเลด (tetraethyl lead) เมื่อถูกออกซิไดซ์ จะให้ตะกั่วออกไซด์ (PbO) ซึ่งจะจับอยู่ที่หัวเทียนและลิ้นของลูกสูบในเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นจึงมักเติมโบรมีนหรือคลอรีนลงไปในน้ำมันเบนซินด้วย เพื่อเปลี่ยนตะกั่วให้อยู่ในรูปของ PbBrCl, $PbBr_2$ และ $Pbcl_2$ ซึ่งสารดังกล่าวจะถูกปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ เข้าสู่มนุษย์และสัตว์โดยการหายใจ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณของตะกั่วในบรรยากาศปัจจุบันจึงได้มีการยกเลิกใช้น้ำมันเบนซินที่ผสมสารตะกั่ว

เราจะพบตะกั่วในดิน ในรูป่ ตะกัว +2 และพบรูป PbS ในหินและมีการละลายน้ำได้น้อยมาก ในดินที่อยู่ในสภาวะเป็นเบส ตะกั่วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียสาร, เกิดการดูดซับทางเคมีกับ silicate clay และออกไซด์ และตกตะกอนในรูปของคาร์บอเนต, ไฮดรอกไซด์ หรือ ฟอสเฟต ส่งผลให้ตะกั่วอยู่ในกลุ่มที่มีการแลกเปลี่ยนน้อยมาก จึงมีผลทำให้ความสามารถในการละลายน้ำเกิดขึ้นน้อย พืชดูดขึ้นไปไม่ได้ ทำให้อนุภาคตะกั่วมีการปนเปื้อนในดินนาน และอนุภาคของตะกั่วจะปนเปื้อนอยู่ในดินชั้นบนเท่านั้น มีการเคลื่อนย้ายไปสู่ดินชั้นล่างน้อยมาก

ความเป็นพิษของตะกั่ว

การได้รับพิษเฉียบพลัน

ผู้ที่ได้รับสารตะกั่วในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น มักจะเกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน และปวดท้องอย่างรุนแรง รวมทั้งมีอาการทางประสาท ได้แก่ ความคิดสับสน การทำงานของร่างกายไม่ประสานงานกัน สูญเสียทักษะที่เคยทำได้บางอย่าง ชัก หมดสติ และมีอาการทางสมอง ซึ่งพบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การได้รับพิษเรื้อรัง

ในผู้ป่วยที่ได้รับสารตะกั่วที่มีปริมาณน้อยกว่าที่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันเป็นเวลานาน มักก่อให้เกิดอาการเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งมีอาการตามระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนรอบ ระบบทางเดินอาหาร ระบบการสร้างเม็ดเลือด

อาการทางระบบประสาทส่วนกลางมักเริ่มด้วยอาการเซื่องซึม ความคิดช้า ปวดศีรษะ มึนศีรษะ เวียนศีรษะ การทรงตัวไม่ดี เซง่าย และหงุดหงิด ถ้าอาการรุนแรงขึ้นมักมีอาการสั่นไหวเวลาเคลื่อนไหว ซึมหลับ ชัก หมดสติ นอกจากนี้อาจพบมีประสาทตาฝ่อ และความผิดปกติในการทำงานของกล่องเสียง

อาการต่อระบบประสาทส่วนรอบและกล้ามเนื้อ มักมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อที่ใช้กระดูกข้อมือทำให้กระดูกข้อมือไม่ได้ ซึ่งอาจเป็นข้างเดียวหรือสองข้างก็ได้ อาการของระบบประสาทส่วนรอบมักเป็นอาการเคลื่อนไหวเป็นหลัก นอกจากนี้อาจมีปลายประสาทอักเสบ ทำให้มีอาการชาได้แต่พบไม่บ่อยนัก

อาการทางระบบทางเดินอาหาร ผู้ป่วยอาจมีอาการเบื่ออาหาร อาเจียน ปวดท้อง แบบลำไส้บิดตัว ซึ่งอาการสับสนกับไส้ติ่งเฉียบพลันได้ นอกจากนี้อาจมีอาการท้องผูกและท้องเดินได้ และส่วนมากมีน้ำหนักลดลง

ในการสร้างเม็ดเลือด มักพบมีอาการซีด โดยทั่วไปมักพบลักษณะเม็ดเลือดมีขนาดเล็กเช่นเดียวกับการขาดธาตุเหล็ก และอาจพบเป็นแบบรูปร่างเม็ดเลือดปกติได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้อาจมีอาการเม็ดเลือดแดงแตกเฉียบพลันได้ การตรวจดูโดยใช้สไลด์เลือกที่เจาะจากปลายนิ้วอาจพบ basophilic stippling ในเม็ดเลือดแดง และพบในสภาวะที่ติดเชื้อในเม็ดเลือดขาวได้

ในผู้ป่วยที่ได้รับตะกั่วนานๆ มักเกิดภาวะกรดยูริกคั่งในร่างกายจึงอาจทำให้เกิดภาวะไตวายเรื้อรัง หรือมีอาการของโรคเก๊าท์ได้ นอกจากนี้ยังมีลักษณะหนึ่งที่พบได้เช่น lead line ซึ่งเป็นเส้นสีน้ำเงินเทาเข้มที่เหงือกเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียในช่องปากกับตะกั่ว อาจพบได้ถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยรอบต่อไปที่ได้รับตะกั่วสะสมมาเป็นเวลานาน แต่ค่อนข้างแยกจากโรคปริทนต์ได้ยาก

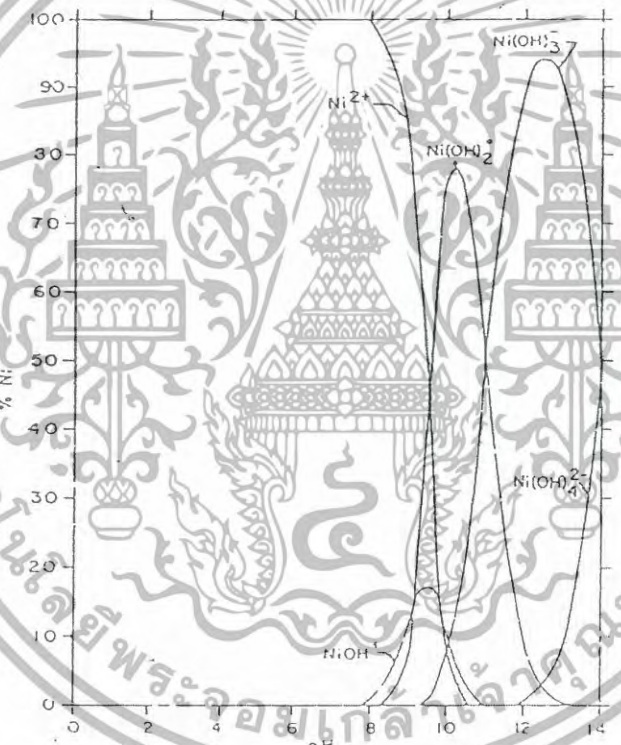
2.4.6 นิกเกิล (สมบูรณ์, 2543)

นิกเกิลเป็นโลหะหนักที่อยู่ในหมู่ 8B ในตารางธาตุ มีเลขอะตอมเท่ากับ 28 มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 58.71 และมีเลขออกซิเดชันหลายค่าคือ 0, I, II, III และ IV นิกเกิลมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3d^8\ 4s^2$ เนื่องจากรูปแบบของการจัดเรียงอิเล็กตรอนวงนอกแบบ $3d^8$ เป็นรูปแบบที่เสถียรมากที่สุด ดังนั้นนิกเกิลที่พบทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะอยู่ในรูปของนิกเกิลที่ประจุ +2 เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนนิกเกิลประจุ +2 เป็นออกตะฮีดรัล โดยเชื่อมต่ออยู่กับโมเลกุลของน้ำ 6 โมเลกุล $Ni(H_2O)_6^{2-}$ ซึ่งเป็นลักษณะที่คล้ายกับไอออนของธาตุอื่นๆ ในทรานซิชันที่ 1 ตามตารางธาตุ (V, Cr, Mn, Fe และ Co) ในรูปที่ 2.4 แสดงการกระจายของสารประกอบนิกเกิลในรูปแบบต่างๆ ในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของพีเอช สำหรับสารละลายที่ไม่อิ่มตัว จะเห็นได้ว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ (พีเอชประมาณ 5 – 9) นิกเกิลอยู่ในรูป Ni^{2+} เป็นส่วนใหญ่

นิกเกิลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยนำไปผสมโลหะอื่นๆ เป็นโลหะอัลลอยด์ ส่วนนิกเกิลบริสุทธิ์จะใช้ในอุตสาหกรรมเคมี ใช้ผสมน้ำมันเบนซิน ใช้ในงานชุบโลหะ และใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก



รูปที่ 2.4 การกระจายของสารประกอบนิกเกิล (พณจิตร, 2539)

นิกเกิลที่พบในดินอยู่ในรูปเลขออกซิเดชัน +2 ในสภาพพีเอช 6.5 ขึ้นไปจะละลายได้น้อย เนื่องจากถูกดูดซับเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียสาร, เกิดการดูดซับทางเคมีกับ silicate clay และออกไซด์ของแมงกานีส และเหล็ก และจะดูดซับมากขึ้นเมื่อพีเอชในดินเพิ่มขึ้น Ni^{2+} จะละลายและเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่สภาพเป็นกรด ความเป็นพิษที่ส่งผลต่อพืชนั้นจะพบในดินที่เป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นพิษของนิกเกิล

เกิดเนื่องจากฝุ่นของนิกเกิลคาร์บอนิลซึ่งเป็นสารประกอบในการทำนิกเกิลบริสุทธิ์ เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เมื่อนิกเกิลเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมตามกระดูกสันหลัง สมอง ปอดและหัวใจ อาการของผู้ได้รับพิษมีดังนี้ คือ ปวดหัว มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน แน่นหน้าอก ไอแห้ง ถ้าหากมีอาการรุนแรงอาจมีเลือดออกในปอดได้

2.5 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (sequential extraction)

การหาปริมาณโลหะหนัก นิยมใช้เทคนิคการสกัดแบบลำดับขั้น เนื่องจากวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณของธาตุแต่ละชนิดได้ โดยศึกษาสมบัติทางเคมีของโลหะและแร่ธาตุในดินตะกอน ซึ่งการศึกษานี้จะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดินหรือกากตะกอน วิธีการสกัดแบบลำดับขั้นจะเกี่ยวข้องกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมในการสกัดแต่ละลำดับของการสกัด (เพ็ญใจ, 2532)

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา นักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจกับการสกัดเป็นลำดับขั้นมากขึ้น ซึ่งมีการสกัดตั้งแต่ 3 ขั้น จนถึง 8 ขั้น ขึ้นอยู่กับรูปแบบของโลหะที่ถูกสกัด หรือตัวอย่างที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 2.8 ซึ่งสมาคม European Communities Bureau of Reference (BCR) ได้เสนอมาตรฐานการวัดและการทดสอบการสกัด ซึ่งมีวัตถุประสงค์คล้ายกับ Ure และคณะ ในการใช้กับดิน แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีมาตรฐานใดที่เป็นที่ยอมรับและนำมาใช้ได้อย่างจริงจัง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น 6 ขั้น มาใช้เพื่อแยกโลหะที่สนใจออกเป็นส่วนๆ ตามการใช้สารละลายสกัด ที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณของโลหะหนักที่ออกมาในแต่ละส่วนสามารถทำนายพฤติกรรมของโลหะที่เป็นพิษในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ การเคลื่อนที่ของโลหะหนักขึ้นกับพีเอช ศักย์รีดอกซ์ และการเกิดสารเชิงซ้อนกับลิแกนด์ ดังนั้นการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นจึงมีความสำคัญในการศึกษาทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งการสกัดที่นำมาใช้นี้คล้ายกับการสกัด 4 ขั้นของ BCR และ Ure และคณะ โดยเพิ่มขั้นที่ละลายได้ และขั้นที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ โดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ได้พิจารณามาจากงานวิจัยหลายท่านซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้ (รัตติกาล, 2542)

ขั้นที่ 1: ส่วนที่ละลายน้ำได้ (deionized H_2O, pH 7)

ปกติน้ำบริสุทธิ์จะไม่ใช่ตัวสกัดที่ใช้กัน แต่มักใช้เป็นสารสกัดในส่วนแรก เพื่อพิจารณาว่าโลหะหนักที่อยู่ในตัวอย่างนั้นสามารถละลายน้ำได้หรือไม่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการดูผลกระทบของสิ่งแวดล้อม เช่น ความเป็นพิษของไอออนโลหะที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้หลังจากเกิดน้ำท่วม โดยใช้อัตราส่วนดินตัวอย่างต่อน้ำ เท่ากับ 1:25 น้ำหนักต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 2: ส่วนที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ (1.0 M NH_4OAc, pH 7)

ส่วนนี้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม ผลของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโลหะที่จับตัวกันอย่างหลวมๆ กับแร่ธาตุ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของดินและตะกอน คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้คือ สามารถละลายไอออนโลหะที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของตัวอย่าง สารสกัดในส่วนนี้นิยมใช้สารที่เป็น neutral salt, neutral electrolytes และ buffered neutral solutions ซึ่ง แมกนีเซียมคลอไรด์ และ แอมโมเนียมอะซิเตต นิยมใช้กันมากในส่วนนี้

จากงานวิจัยของรัตติกาล (2542) ได้กล่าวไว้ว่า Pickering ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัด ที่ใช้เกลือคลอไรด์และเกลืออะซิเตต โดยดูการนำโลหะกลับคืนมา (recovery) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการนำโลหะกลับคืนมาของเกลืออะซิเตตดีกว่าเกลือคลอไรด์ ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากการเกิด metal chloro-complexes ซึ่งมีความแรงของพันธะอ่อนกว่าไอออนอะซิเตต (pK_1 ของ metal chloro-complexes มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.7 – 2 ขณะที่ pK_1 ของ metal acetate-complexes มีช่วงอยู่ระหว่าง 1.6 – 2.2) ดังนั้นแอมโมเนียมอะซิเตต จึงถูกเลือกมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้ โดยที่แอมโมเนียมไอออนจะแทนที่โลหะที่ถูกดูดซับอยู่ และโลหะก็จะถูกละลายอยู่ในรูปสารเชิงซ้อนอะซิเตต โดยใช้อัตราส่วน ดินตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:25 น้ำหนักต่อปริมาตร

ขั้นที่ 3: ส่วนที่ละลายได้ในกรด (0.11 M CH_3COOH, pH 3)

คุณสมบัติของสารสกัดในส่วนนี้ ต้องสามารถละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับคาร์บอเนตได้ ซึ่งสารละลายอะซิเตตถูกนำมาใช้ โดยทำให้เป็นกรดที่ พีเอช 3 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ โดยงานวิจัยนี้ได้นำกรดอะซิติก 0.11 โมลาร์ พีเอช 3 มาใช้ในการสกัด โดยใช้อัตราส่วน ดินตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:25 น้ำหนักต่อปริมาตร

ขั้นที่ 4: ส่วนที่ถูกรีดิวซ์ได้ (0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ ใน CH_3COOH 25% v/v pH 2)

ในโครงงานพิเศษนี้จะใช้การผสมของรีดิวซิ่งเอเจนต์ และกรด ซึ่งปกติใช้สกัดโลหะปริมาณน้อยที่ยึดเกาะอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก หรือ แมงกานีส ในดินและตะกอน ซึ่งรูปของออกไซด์นี้เรียกว่า รีดิวซิ่งเฟส โดยมีช่วงอยู่ระหว่าง amorphous และ crystalline โดยปกตินิยมใช้ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ในกรดอะซิติก 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรต่อปริมาตร กันมากในส่วนนี้ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.8 ค่าพีเอชที่ใช้จะต้องปรับให้มีค่าน้อยกว่า 3 เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของรีดิวซิ่งเอเจนต์ Tessier (1997) ยังได้รายงานไว้อีกว่า ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ในกรดอะซิติก ไม่สามารถรีดิวซ์ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนได้แต่มีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์ ดังนั้นชนิดของสารสกัดนี้ควรมีความเฉพาะเจาะจงกับโลหะออกไซด์และละลายโลหะที่เชื่อมอยู่กับสารตัวอย่างด้วยพันธะที่แข็งแรง ซึ่งในส่วนนี้ปกติจะนิยมใช้ ไฮดรอกไซลามีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคลอไรด์ ในกรดอะซิติกเป็นสารสกัด โดยใช้อัตราส่วน ดินตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:25 น้ำหนักต่อปริมาตร

ขั้นที่ 5: ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ (30% H_2O_2 ใน HNO_3, pH 2 / 1.0 M NH_4OAc, pH 2)

การสกัดโลหะในดินและตะกอนที่เชื่อมอยู่กับสารอินทรีย์ด้วยกลไกหลายแบบ เช่น การดูดซับการเกิดสารเชิงซ้อนและการเกิดคีเลตภายใต้การสกัดเป็นลำดับจะมีสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อใช้ละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถที่จะถูกออกซิไดซ์ได้ เช่น ออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะบางตัวซึ่งทำให้ได้โลหะที่ถูกละลายจากการสกัด ในตารางที่ 2.8 นิยมนำไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ที่ถูกทำให้มีสภาพเป็นกรด มาใช้เป็นสารสกัดกันมากในส่วนนี้ โดยในโครงงานพิเศษนี้ ตัวอย่างที่เหลือจะถูกสกัดด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ ในกรดไนตริก โดยใช้อัตราส่วน ดินตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:20 น้ำหนักต่อปริมาตร แล้วทำการเขย่า 2 ชั่วโมง สาเหตุที่สารสกัดนี้ต้องรักษาสภาพให้เป็นกรดเพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ เพราะอาจเกิดการดูดซับกลับอีกครั้งของโลหะที่ถูกสกัดหากมีสภาวะที่สามารถออกซิไดซ์ได้ ดังนั้น สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ ที่พีเอช 2 โดยใช้อัตราส่วน ดินตัวอย่างต่อสารสกัด เท่ากับ 1:20 น้ำหนักต่อปริมาตร จึงต้องถูกเติมลงไปเป็นลำดับต่อไปหลังจากที่สกัดด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 2 โดยการเขย่าต่ออีก 2 ชั่วโมง ก่อนการแยก ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้ได้สารสกัดและสภาวะที่เหมือน Guy และ Rendell และคณะ โดยใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ ที่ถูกทำให้เป็นกรดด้วยกรดไนตริกให้มีพีเอช 2 และเติม แอมโมเนียมอะซิเตต 1.0 โมลาร์ พีเอช 2 หลังจากทำการสกัดด้วย ไฮโดรเจนเปอร์ไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์

ขั้นที่ 6: ส่วนที่เหลือ (HF/HNO_3, 2:3 v/v)

หลังจากที่สกัดเอาบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความเป็นกรดแรง เพื่อละลายซิลิเกต และส่วนที่เหลืออื่นๆ ที่ไม่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยสารสกัดที่มีความแรงอ่อน โดยปกติจะนำการผสมกันของกรดที่ร้อนมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้ ส่วนที่เหลือจากส่วนที่ 5 สามารถถูกละลายได้โดยการย่อยด้วยไฮโดรเจนฟลูออไรด์และกรดไนตริก ที่อัตราส่วน 2 :3 ปริมาตรต่อปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นสำหรับดิน

ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3	ส่วนที่ 4	ส่วนที่ 5	ส่วนที่ 6	ชนิดตัวอย่าง	สารที่วิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
NH_4Cl	-	-	H_2O_2	Dilution HNO_3	ตะกอน	Cu, Pb	Guy *et al.*(1978)
-	HOAc	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc	$HF/HNO_3/HClO_4$	ตะกอน	Zn, Cd	Filpek และ Owen (1978)
$MgCl_2$	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ /HOAc	H_2O_2/NH_4OAc	$HF/HClO_4$	ตะกอน	Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn	Tessier *et al.*(1979)
$NH_4OAc/MgOAc$	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2	H_2O_2/NH_4OAc	-	ตะกอน	Cu, Zn, Mn	Adri และ Aston (1981)
$BaCl_2$	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ /HOAc	H_2O_2/NH_4OAc	$HF/HNO_3/HClO_4$	ตะกอน	-	Meguellati *et al.*(1983)
$MgCl_2$	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc	-	ตะกอน	Cu	Diks และ Allen (1983)
$MgCl_2$	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc	$HF/HNO_3/HClO_4$	ตะกอน	Cd	Lee และ Kittrisk (1984)
NH_4OAc	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (NH_4Ox/HOx)	H_2O_2/NH_4OAc	HNO_3	ตะกอน	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn	Salomon และ Forstner (1984)
NH_4OAc	NaOAc pH 5	-	H_2O_2/NH_4OAc	$HF/HClO_4$	ตะกอน	-	Hayes (1985)
NH_4OAc	NaOAc pH 5	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2	$HF/HNO_3/HClO_4$	ดิน	-	Gibson และ Farmer (1986)
-	NaOAc/ HOAc	$NH_2OH{\cdot}HCl$ /HOAc	H_2O_2 pH 2	$HF/HNO_3/HClO_4$	ตะกอน	-	เพ็ญใจ (2532)
-	pH 5						
	HOAc	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc	-	ตะกอน/ดิน	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Ure *et al.*(1993)
-	HOAc	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2	H_2O_2/NH_4OAc	-	ตะกอน/ดิน	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	BCR (1993)
NH_4OAc pH 7	HOAc pH 3	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc pH 2	HF/HNO_3	ขยะ	Cd, Cu, Pb, Zn, Mn	รัตติกาล (2542)
NH_4OAc pH 7	HOAc pH 3	$NH_2OH{\cdot}HCl$ pH2 (HOAc)	H_2O_2/NH_4OAc pH 2	HF/HNO_3	ตะกอน/ดิน	Cd	นัทชธีร์ญา (2545)

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก นัทชธีร์ญา, 2545

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Taylor R.W. และคณะ (ค.ศ. 1995)ได้ศึกษาสัดส่วนที่เหลือของแคดเมียม, ทองแดง, นิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสีในดินที่ใช้เป็นแหล่งทิ้งกากตะกอนมาก่อน โดยดินที่ได้รับกากตะกอน 20 มิลลิกรัมต่อเฮคเตอร์ต่อปีเป็นเวลานาน 5 ปี โดยมากจะมีโลหะหนักดังกล่าวในระดับที่สูงมากกว่าดินที่ได้รับในปริมาณเดียวด้วยอัตรา 100 มิลลิกรัมต่อเฮคเตอร์ ในดินที่ปราศจากการประยุกต์ใช้ด้วยกากตะกอนพบว่าเปอร์เซ็นต์ของโลหะหนักทั้งหมดในรูปที่ละลายน้ำได้และและเปลี่ยนได้น้อยมาก (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์) การประยุกต์ใช้กากตะกอนจะลดสัดส่วนที่เหลือและเพิ่มสัดส่วนที่สร้างพันธะกับสารอินทรีย์และคาร์บอเนต โดยทั่วไปรูปโลหะที่พบเด่นชัดในกากตะกอนคือ สัดส่วนที่สร้างพันธะกับคาร์บอเนตของแคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และสังกะสี และสัดส่วนที่สร้างพันธะกับสารอินทรีย์ของทองแดง

Ahnstrom Z.S. และ Parker D.R. (ค.ศ. 1999) ได้ศึกษารูปแบบการกระจายตัวของแคดเมียมในดินด้วยวิธีสกัดแบบลำดับขั้นโดยใช้ดินตัวอย่าง 3 ตัวอย่างและดินมาตรฐาน 2 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์แหล่งกำเนิด คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี และสัดส่วนที่สกัดได้ทั้งหมดของแคดเมียม (Cd_T เพิ่มจาก 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยการนำแคดเมียมมาสกัด 5 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 ส่วนที่ละลายและแลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดด้วยสทรอนเซียมไนเตรต 0.1 โมลาร์, ขั้นที่ 2 ส่วนที่คูดซับกับคาร์บอเนต โดยสกัดด้วยโซเดียมอะซิเตต 1 โมลาร์ พีเอช 5.0, ขั้นที่ 3 ส่วนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ โดยสกัดด้วย NaOCl 5 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 8.5, ขั้นที่ 4 ส่วนที่ถูกรีดิวส์ได้ โดยสกัดด้วยออกซาเลต 0.4 โมลาร์ + แอสคอร์เบท 0.1 โมลาร์ และขั้นที่ 5 ส่วนที่เหลือ โดยสกัดด้วยกรดไนตริกต่อกรดไฮโดรคลอริกในสัดส่วน 3:1 ปริมาตรต่อปริมาตร โดยทำซ้ำอีกครั้งในขั้นที่ 1, 3, 4 และ 5 เพื่อจะได้ปริมาณโลหะที่สกัดได้ในแต่ละขั้นให้มากที่สุด ซึ่งค่าพีเอชที่พื้นผิวดินเป็นตัวกำหนดการละลายคาร์บอเนตในขั้นที่ 2 โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบที่หลากหลายต้องคำนึงถึงการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจงในการสกัดแต่ละลำดับของการสกัด การ redistribution ของแคดเมียมสามารถประเมินได้จากการสกัดด้วยเลดอะซิเตต สารเคมีที่เหมาะสมและเฉพาะเจาะจงในการสกัดแต่ละลำดับของการสกัดทำให้สามารถละลายโลหะในวัฏภาคที่ต้องการได้ดี (เช่น แคลเซียมที่มีมากในขั้นที่ 2) โดยทั่วไปการ redistribution จะเกิดน้อยมาก (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์) แต่มี 12% ในขั้นที่ 3 ของดินที่ถูกปรับปรุงด้วยสลัดจ์ เปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียม (96.5 ±2.1 เปอร์เซ็นต์) หาได้จากค่าเฉลี่ยในแต่ละขั้น คือ 11, 32, 40, 8 และ 6 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนต่างๆที่วิเคราะห์ได้เป็นแนวโน้มในการหาแหล่งกำเนิด คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแคดเมียมในตัวอย่างที่มีแคดเมียมที่มีลักษณะเฉพาะตัวในขั้นที่ 3 ในดินที่มีสารอินทรีย์สูงๆ หรือปนเปื้อนด้วยโลหะซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Geeta และคณะ (ค.ศ. 2003) ได้ศึกษาอิทธิพลของการเติมและการสกัด ตะกั่ว, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง และนิกเกิล ออกจากกากตะกอนน้ำทิ้ง โดยสกัดขั้นที่ 1 ด้วยด้วยสทรอนเซียม ไนเตรต 0.1 โมลาร์, สกัดขั้นที่ 2 ด้วยโซเดียมอะซิเตต 1 โมลาร์ พีเอช 5.0, สกัดขั้นที่ 3 ด้วยด้วย NaOCl 5% พีเอช 8.5 ที่ 90-95 °C, สกัดขั้นที่ 4 ด้วย กรดออกซาลิค 0.2 โมลาร์ + แอมโมเนียมออกซาเลต0.2 โมลาร์ + กรดแอสคอร์บิค 0.1 โมลาร์ พีเอช 3 และสกัดขั้นที่ 5 ด้วย HF-$HClO_4$ และใช้แคลเซียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ และ ดีทีพีเอ 0.005 โมลาร์ เป็นสารชะล้างโลหะหนักออกจากกากตะกอนน้ำทิ้ง การเพิ่มโลหะหนักจะลดค่าพีเอช และสารอินทรีย์ คาร์บอน แต่เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าในกากตะกอนน้ำเสีย ผลการทำลองการสกัดขั้นที่ 1 โลหะหนักทุกชนิดลดลง การสกัดขั้นที่ 2 ของนิกเกิล, ตะกั่ว, ทองแดง และแคดเมียม, การสกัดขั้นที่ 3 ของตะกั่ว, ทองแดง และแคดเมียม, การสกัดขั้นที่ 4 ของนิกเกิล, ทองแดง และแคดเมียม และการสกัดขั้นที่ 5 ของสังกะสี และตะกั่ว มีการแพร่กระจายเพิ่มขึ้น แต่ในการสกัดขั้นที่ 2 ของสังกะสี, สกัดขั้นที่ 3 ของสังกะสี และนิกเกิล, การสกัดขั้นที่ 4 ของสังกะสี และ การสกัดขั้นที่ 5 ของนิกเกิล, ทองแดง และแคดเมียม กลับลดลง ส่วนการชะล้างด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ และ ดีทีพีเอ 0.005 โมลาร์ สามารถชะล้างโลหะหนักทั้งหมดได้ ซึ่งที่ดีทีพีเอ 0.005 โมลาร์ การชะล้างสังกะสี จะแสดงให้เห็นว่าเกือบจะลดลงจากเดิม

Anxiang Lu, Shuzhen Zhang และ Xiao-quan Shan (ค.ศ. 2004) ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาต่อรูปแบบการแพร่กระจายของ ทองแดง, สังกะสี, ตะกั่ว และแคดเมียมในดิน 3 ชนิดของดินในประเทศจีน โดยการเติม ทองแดง, สังกะสี และตะกั่ว 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ แคดเมียม 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในดินในรูปของสารประกอบไนเตรต บ่มตั้งแต่ 3 ชั่วโมง ถึง 8 สัปดาห์ แล้วสกัดแบบต่อเนื่อง แล้วเปรียบเทียบกับดินที่มิได้เติมโลหะหนัก โดยโลหะหนักที่ศึกษามีการแพร่กระจายในรูปแลกเปลี่ยนไอออน, สร้างพันธะกับคาร์บอเนต, สร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส, สร้างพันธะกับอินทรียสาร และส่วนที่เหลือในดิน ผลการทดลองแสดงให้เห็นการแพร่กระจายของ ทองแดง, ตะกั่ว และสังกะสี เป็นไป 2 ระยะ คือแพร่อย่างรวดเร็วในระยะแรก แล้วจึงช้าลง โลหะในรูปแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นใน 3 ชั่วโมงแรก ซึ่งเรียงลำดับได้ดังนี้ ตะกั่ว > ทองแดง > สังกะสี >> แคดเมียม โลหะในรูปสร้างพันธะกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และสร้างพันธะกับอินทรียสาร มีอัตราการแพร่กระจายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ใน 8 สัปดาห์ โลหะในรูปส่วนที่เหลือในดินโลหะส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โลหะแคดเมียมส่วนใหญ่มีการเพิ่มการแพร่กระจายในรูปแลกเปลี่ยนไอออนในช่วงหลังจากบ่ม 3 ชั่วโมง และการแพร่กระจายในแต่ละรูปลดลงใน 8 สัปดาห์ ซึ่งค่าพีเอชเป็นส่วนสำคัญต่อรูปแบบการกระจายของโลหะหนัก โดยดิน Ziangxi มีค่าพีเอชต่ำ การเพิ่มและการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักในแต่ละรูปแบบการแพร่กระจายจึงไม่เด่นชัดเท่ากับดินอีก 2 ประเภทที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sastre J. และคณะ (ค.ศ. 2004) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการดูดซับและการสกัดเพื่อทำนายการเกิดปฏิกิริยาของสารหนู, แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และสังกะสี ในดินที่มีโครงสร้างของดินแตกต่างกัน คือ ดินร่วนปนทราย, ดินร่วน และ ดินเหนียว โดยได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของสารละลายในดินและของแข็ง (K_D) ในดินที่มีการปนเปื้อนเป็นระยะเวลา นาน 3 เดือน ถึง 2 ปี พบว่า ดินที่มีโครงสร้างเป็นดินร่วนปนทราย มีค่า K_D อยู่ในช่วง 0.2 – 25 ลิตรต่อกิโลกรัม ส่วนในดินที่มีโครงสร้างเป็นดินร่วนและดินเหนียว มีค่า K_D สูงกว่าดินร่วนปนทราย คือ มีค่าประมาณ 10^5 ลิตรต่อกิโลกรัม การเคลื่อนตัวของโลหะในดินยังสรุปไม่ได้แน่ชัด เนื่องจากปริมาณโลหะหนักในดินมีเพียงเล็กน้อย จากนั้นทำการสกัดโลหะออกจากดินแบบครั้งด้วยแคลเซียมคลอไรด์ 0.01 และ 1 โมลาร์, ดีทีพีเอ 0.05 โมลาร์ และกรดอะซิตริก 0.43 โมลาร์ พบว่าในดินที่มีโครงสร้างต่างชนิดกันปริมาณโลหะที่สกัดได้จะแตกต่างกัน โดยในดินแต่ละชนิดนั้นแคดเมียมสามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด รองลงมาคือ สังกะสี, ทองแดง, ตะกั่ว และสารหนู ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 ไฮโดรมิเตอร์ มาตรฐาน ASTM No. 1.152H อ่านสเกลในหน่วย กรัมต่อลิตร

3.1.1.2 พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver instrument โมเดล 250

3.1.1.3 เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu โมเดล AA – 680

3.1.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ยี่ห้อ Precisa 205A

3.1.1.5 เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ ยี่ห้อ Bruker axs รุ่น SRS 3400

3.1.1.6 เครื่องออโตซอร์บ-1 ยี่ห้อ Quanta Chrome

3.1.1.7 ตะแกรงร่อนขนาด 12 เมช

3.1.1.8 เครื่องเขย่าแนวนอน (horizental shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1

3.1.1.9 เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด ยี่ห้อ Sanyo รุ่น CENTAUR 2

3.1.1.10 ตู้อบเครื่องแก้วและสารเคมี รุ่น ISOTEMP

3.1.1.11 เครื่องกรองระบบสุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi B-169 vaccum – system

3.1.1.12 เครื่องไมโครเวฟ ไดเจส (Microwave digestion) รุ่น Milestone microwave Laboratory systems โมเดล 1200 Mega

3.1.1.13 กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

3.1.1.14 กระดาษกรองขนาด 1 ไมโครเมตร

3.1.1.15 ขวดพลาสติกใส่สารตัวอย่าง ขนาด 60 และ 120 มิลลิลิตร

3.1.1.16 อุปกรณ์ทดลองที่ทำจากพลาสติก

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Antibioticos S.P.A.)

3.1.2.2 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Antibioticos S.P.A.)

3.1.2.3 แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4 \cdot H_2O$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Merck, USA)

3.1.2.4 โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Merck, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 นิกเกิลซัลเฟต ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Merck, USA)

3.1.2.6 เลดไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Merck, USA)

3.1.2.7 ไนตริก (HNO_3) 65% เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Ajex Chemical, Australia)

3.1.2.8 อะซิติก (CH_3COOH) 100% w/w เกรดวิเคราะห์ (บริษัทBDH Laboratory, England)

3.1.2.9 ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH \cdot HCl$) 9% w/w เกรดการค้า (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.10 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30% w/w เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Merck, USA)

3.1.2.11 แอมโมเนียมอะซิเทรต (NH_4OAc) 98% w/w เกรดวิเคราะห์ (บริษัท J.T.Bake, USA)

3.1.2.12 ไฮโดรเจนฟลูออร์ไรด์ (HF) 50% w/w เกรดการค้า (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.13 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ (บริษัท Carlo Erba reagent, USA)

3.1.2.14 ไฮโดรคลอริก (HCl) 37% w/w เกรดการค้า (บริษัท Fisher chemicals, USA)

3.1.2.15 ดิน

3.2 แหล่งที่มาของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก คือ 0 – 15 เซนติเมตร จาก 3 จังหวัด ดังนี้

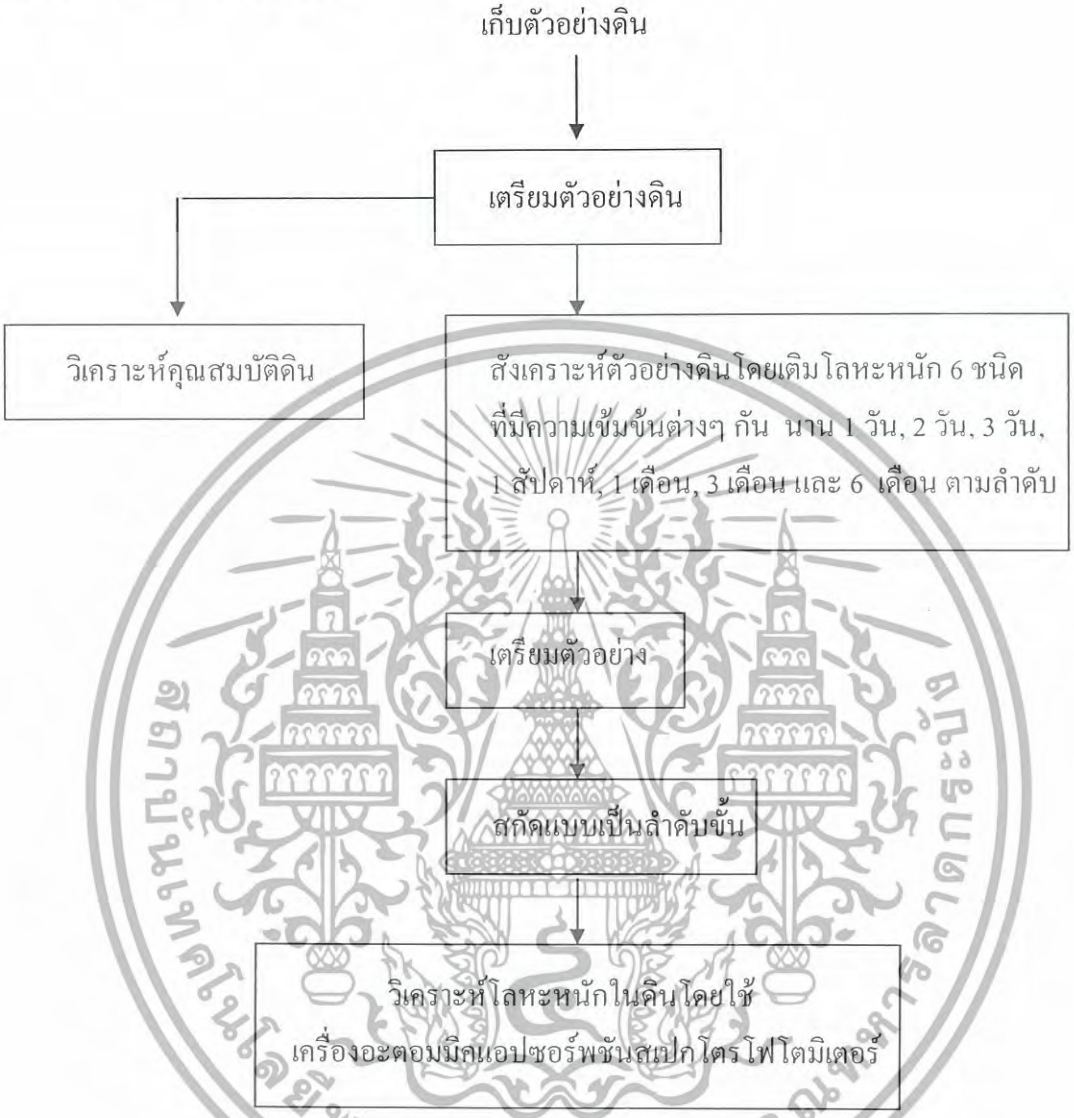
3.2.1 ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

3.2.2 ตำบลกุดนกเปล้า อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

3.2.3 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

นำตัวอย่างดินที่แห้งแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช แล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

พารามิเตอร์	วิธี/เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์
พีเอช	เครื่องวัดพีเอช ดิน:น้ำกลั่น สัดส่วน 1:1
ความหนาแน่นรวม	วิธีแท่งดิน (Core method)
พื้นที่ผิว	เครื่องออโตซอร์ป – 1
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)	วิธีทำให้อิ่มตัวด้วยแอมโมเนีย
ปริมาณอินทรีย์สาร	วิธีการออกซิเดชันแบบเปียก
ปริมาณความชื้น	วิธีกราวิเมตริก
การกระจายตัวของอนุภาค	เครื่องมือไฮโดรมิเตอร์
ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณเหล็กออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณแมงกานีสออกไซด์	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์
ปริมาณของโลหะ	เครื่องอะตอมมิกแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

หมายเหตุ: รายละเอียดของวิธีอยู่ในภาคผนวก ข

3.5 การสังเคราะห์ดิน

นำตัวอย่างดินที่แห้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช แล้ว ไปชั่งให้ได้น้ำหนัก 15 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์พลาสติก เติมสารละลายเฟอรัสซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 75 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และแมงกานีสซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปชนิดละ 7.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และสารละลายโพแทสเซียมโครเมต, เลดไนเตรต และนิกเกิลซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปชนิดละ 3 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง เติมน้ำกลั่นจนท่วมตัวอย่างดินทั้งหมด ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 วันที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 °C ให้แห้ง แล้วแบ่งตัวอย่างดินส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดของโลหะแต่ละชนิด และนำตัวอย่างดินอีกส่วนไปทดลองในข้อ 3.6 ต่อไป ทำการสังเคราะห์ดินเช่นเดิมอีก 6 ครั้ง แต่ตั้ง

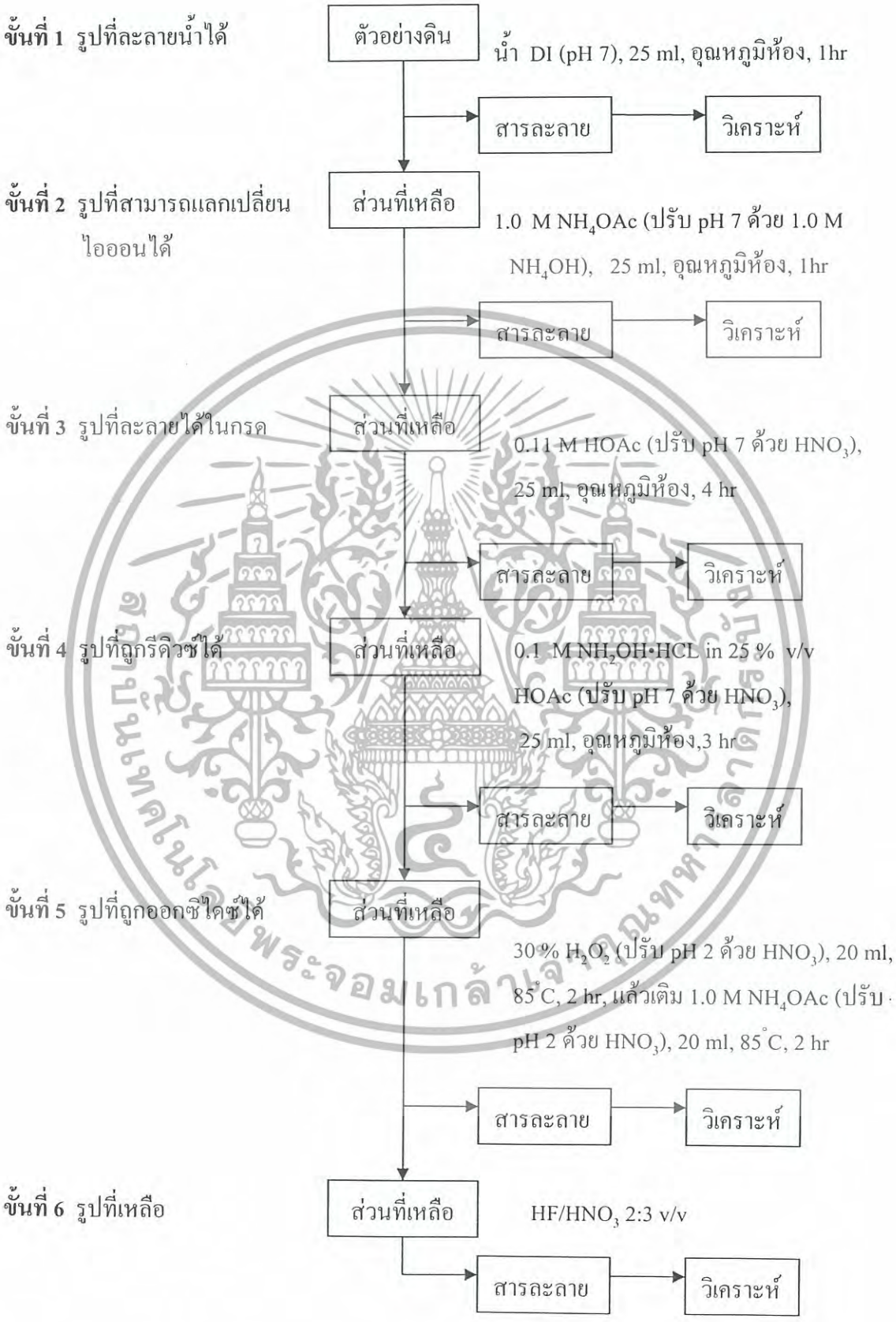
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้ครบกำหนด 2 วัน, 3 วัน, 1 สัปดาห์, 1 เดือน, 3 เดือน และ 6 เดือน ตามลำดับ แทนการตั้งทิ้งไว้เพียง 1 วัน

3.6 การสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

นำตัวอย่างดินสังเคราะห์ที่อบแห้งปริมาณ 1 กรัม มาสกัดแบบเป็นลำดับขั้นเพื่อศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดในรูปแบบต่างๆ ในดิน โดยทำการสกัดเป็นลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วทำการสกัดจำนวน 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การสกัดโลหะหนักในรูปต่างๆ ออกจากดินแบบเป็นลำดับขั้น (ดูวิธีการทดลองในภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

ดินตัวอย่าง (n = 3)		ชลบุรี	สระบุรี	ปทุมธานี
pH (1:1) ในน้ำ		5.41±0.27	4.35±0.05	2.90±0.34
Db (g/cm^3)		1.42±0.00	1.32±0.04	1.35±0.05
พื้นที่ผิว (m^2/g)		11.12±0.02	19.41±0.10	45.26±0.04
CEC (meq/100g)		0.82±0.02	2.99±0.09	20.15±0.05
% อินทรียวัตถุ		0.68±0.03	0.62±0.02	2.18±0.18
% ความชื้น		0.13±0.06	9.55±0.12	8.65±0.10
% การกระจายตัวของอนุภาค	ทราย	92.33±1.15	64.02±0.85	43.99±1.27
	ซิลท์	4.27±1.10	19.31±0.58	20.34±0.88
	ดินเหนียว	3.99±0.02	16.74±0.25	35.82±0.38
เนื้อดิน		ทราย	ร่วนปนทราย	ร่วนเหนียว
% Al_2O_3		3.68±0.15	9.33±0.21	22.09±0.17
% Fe_2O_3		0.46±0.01	1.78±0.01	5.96±0.01
% MnO_2		0.05±0.02	0.02±0.00	0.09±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางจะพบว่า

4.1.1 ดินจังหวัดชลบุรี

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินทราย (sand) มีสีเทา สีน้ำตาลอ่อนหรือสีเหลือง เป็นดินเนื้อหยาบ มีการระบายน้ำค่อนข้างมากเกินไป จึงทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและการดูดซับธาตุของดินมีค่าต่ำ ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ปริมาณสารอินทรีย์และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) จึงมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างดินจังหวัดอื่นๆ โดยพิจารณาความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้จากเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3, Fe_2O_3 และ MnO_2 ที่อยู่ในดิน พบว่าเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 มีปริมาณที่มากที่สุดในดินชนิดนี้ คือ เท่ากับ 3.68 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นปริมาณที่ไม่มากจึงทำให้พีเอชมีค่าเป็นกรดอ่อน และเกิดการแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้น้อยทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงต่ำ

4.1.2 ดินจังหวัดสระบุรี

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) สีดินมีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีน้ำตาลปนเทา เป็นดินเนื้อหยาบคล้ายกับดินจังหวัดชลบุรี จึงทำให้คุณสมบัติต่างๆ คล้ายกัน แต่ดินจังหวัดนี้มีเปอร์เซ็นต์ทรายที่ต่ำกว่า อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ของ Al_2O_3 มีปริมาณที่สูงกว่าคือ เท่ากับ 9.33 เปอร์เซ็นต์จึงทำให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินชนิดนี้มีค่าที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินชลบุรี

4.1.3 ดินจังหวัดปทุมธานี

ลักษณะของเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว (clay loam) มีสีดำหรือเทาแก่ และมีจุดประสีน้ำตาลสีเหลือง หรือสีแดงปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก ดินมีเนื้อละเอียดทำให้ปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าตัวอย่างดินชนิดอื่นๆ ซึ่งลักษณะของเนื้อดินและปริมาณสารอินทรีย์จะเป็นตัวกำหนดค่าความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดิน เนื่องจากดินเหนียวมีอนุภาคที่ขนาดเล็กมากและมีรูปร่างแบน ทำให้โอกาสที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกมีโอกาสหลุดออกไปได้มากขึ้น และเมื่อองค์ประกอบใดเกิดมีการหลุดออกของอะตอมก็จะมีประจุเกิดขึ้นทันที (สรสิทธิ์และคณะ, 2535) นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ Al_2O_3 ยังมีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างดินชนิดอื่นๆ คือ เท่ากับ 22.09 เปอร์เซ็นต์ จากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้ดินจังหวัดปทุมธานีมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าตัวอย่างดินจังหวัดอื่นๆ แต่การมีเปอร์เซ็นต์ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในปริมาณที่มากจึงเป็นเหตุให้ดินมีความเป็นกรดจัดมาก (เทียนชัย, 2539) โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสังเคราะห์ดิน

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดิน พบว่ามีปริมาณโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เหล็ก, ทองแดง, แมงกานีส, โครเมียม, ตะกั่ว และนิกเกิล ในปริมาณที่น้อยมาก (ตารางที่ 4.2) จึงทำการสังเคราะห์ดิน โดยการเติมสารละลายเฟอรัสซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 75 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และแมงกานีสซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปชนิดละ 7.5 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และสารละลายโพแทสเซียมโครเมต, เลดไนเตรต และนิกเกิลซัลเฟต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปชนิดละ 3 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง เติมน้ำกลั่นจนท่วมตัวอย่างดินทั้งหมด ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน, 2 วัน, 3 วัน, 1 สัปดาห์, 1 เดือน, 3 เดือน และ 6 เดือนตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดอีกครั้ง โดยใช้เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าในดินจังหวัดชลบุรี สระบุรี และปทุมธานี มีปริมาณโลหะหนัก ดังแสดงในภาคผนวก จ ที่วิเคราะห์ได้จากดินมีค่าที่ต่ำกว่าปริมาณที่เติมลงไป อาจเนื่องมาจาก

1. องค์ประกอบของเนื้อดินทั้งก่อนและหลังการเติมโลหะลงไปมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างในแต่ละซ้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะทั้ง 6 ชนิด และหาค่าเฉลี่ยจึงมีปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณที่เติมลงไปจริง
2. โลหะแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับอยู่กับอนุภาคของดินได้แตกต่างกัน โลหะบางชนิดดูดซับกับอนุภาคดินได้ไม่ดีเท่าที่ควร และมีบางส่วนไม่เกาะอยู่กับอนุภาคของดิน เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในดินและหาค่าเฉลี่ยจึงได้ความเข้มข้นที่ต่ำ
3. ดินมีขีดความสามารถในการดูดซับโลหะหนักที่จำกัด โดยตัวดูดซับในดินก็คือ อนุภาคดินเหนียวและสารอินทรีย์ ซึ่งมีขนาดเล็กมากทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะในการดูดซับสูง ดังนั้นเมื่อใช้ดินที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกัน การดูดซับโลหะหนักของดินแต่ละชนิดก็ควรมีค่าที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

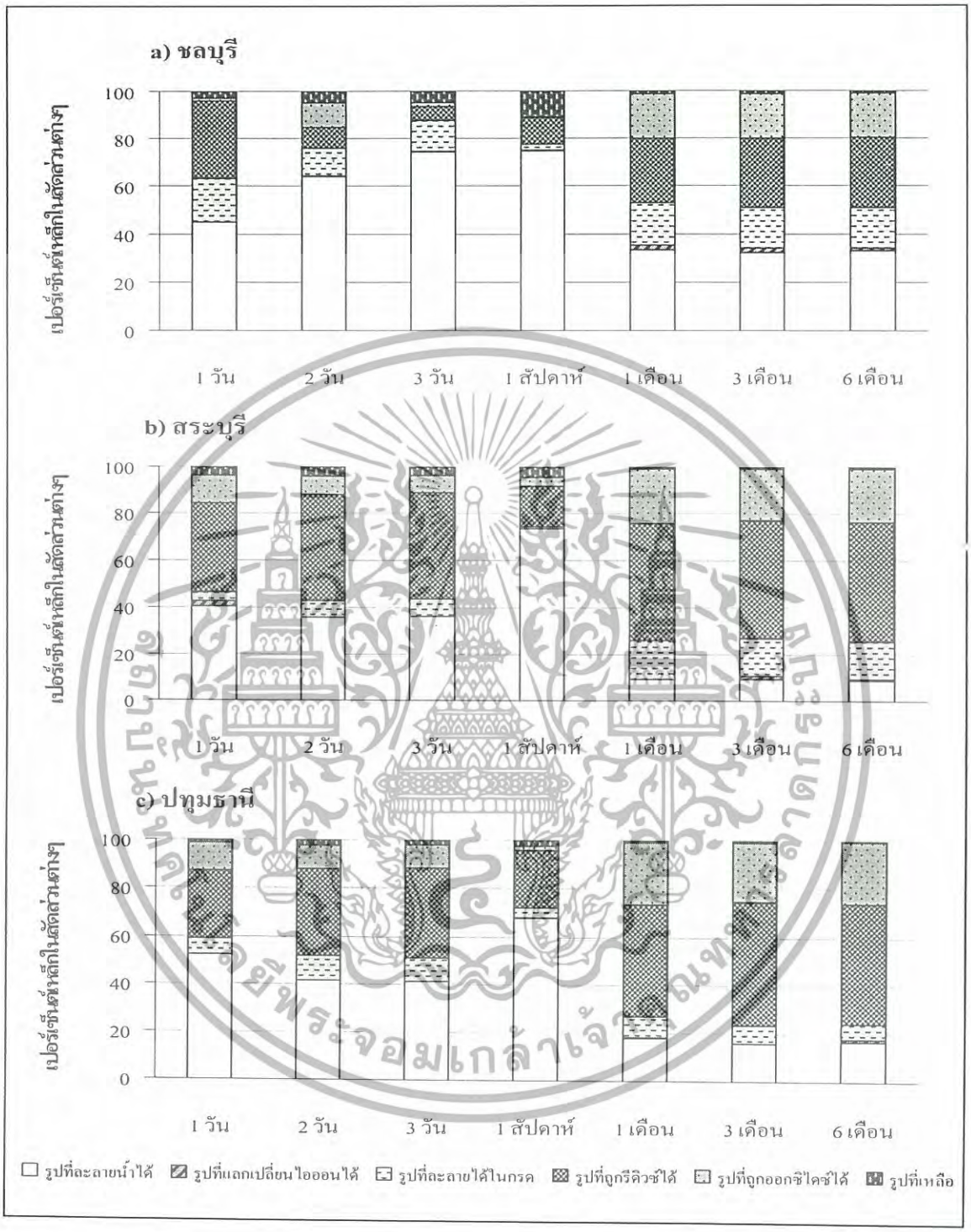
ตารางที่ 4.2 ปริมาณของโลหะหนักที่มีอยู่ในดินธรรมชาติ

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	8.19±0.33	2.03±0.00	188.17±6.54	37.26±2.20	9.97±0.00	9.54±1.27
สระบุรี	10.09±0.33	6.49±0.01	49.36±1.54	3.89±0.00	6.65±0.00	16.36±1.63
ปทุมธานี	30.91±1.98	16.26±0.41	80.25±5.92	21.36±0.49	8.37±1.67	44.80±4.56

4.3 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่างๆ ที่ถูกดูดยึดติดในดินสังเคราะห์โดยการสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction)

กระบวนการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น โดยใช้สารละลายสกัดที่มีความแรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละขั้นจะสามารถใช้ในการทำนายรูปแบบการดูดยึดของโลหะหนักทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ เหล็ก, ทองแดง, แมงกานีส, โครเมียม, ตะกั่ว และนิกเกิล ในดินได้ โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

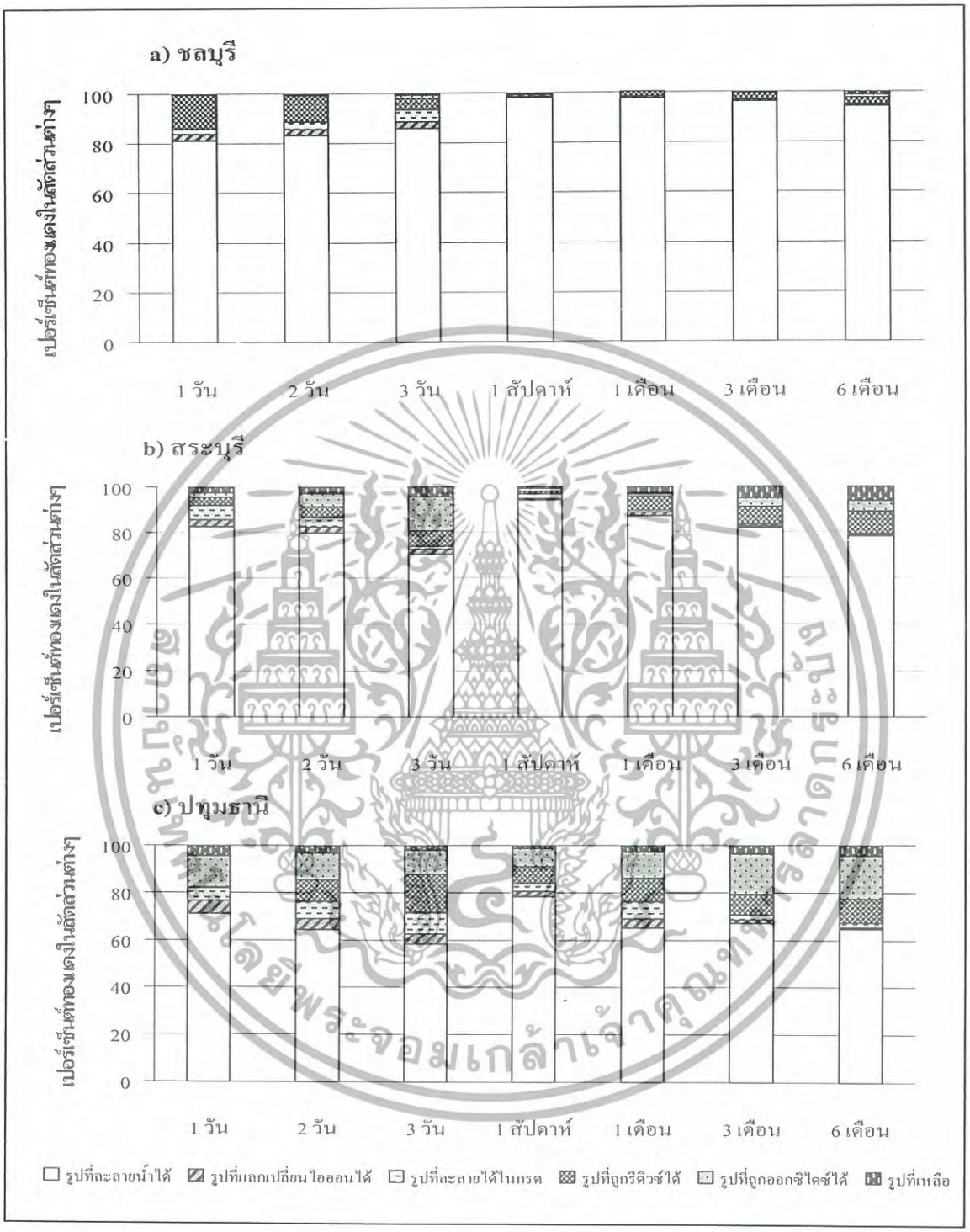
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สัดส่วนเหล็กในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัดส่วนทองแดงในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

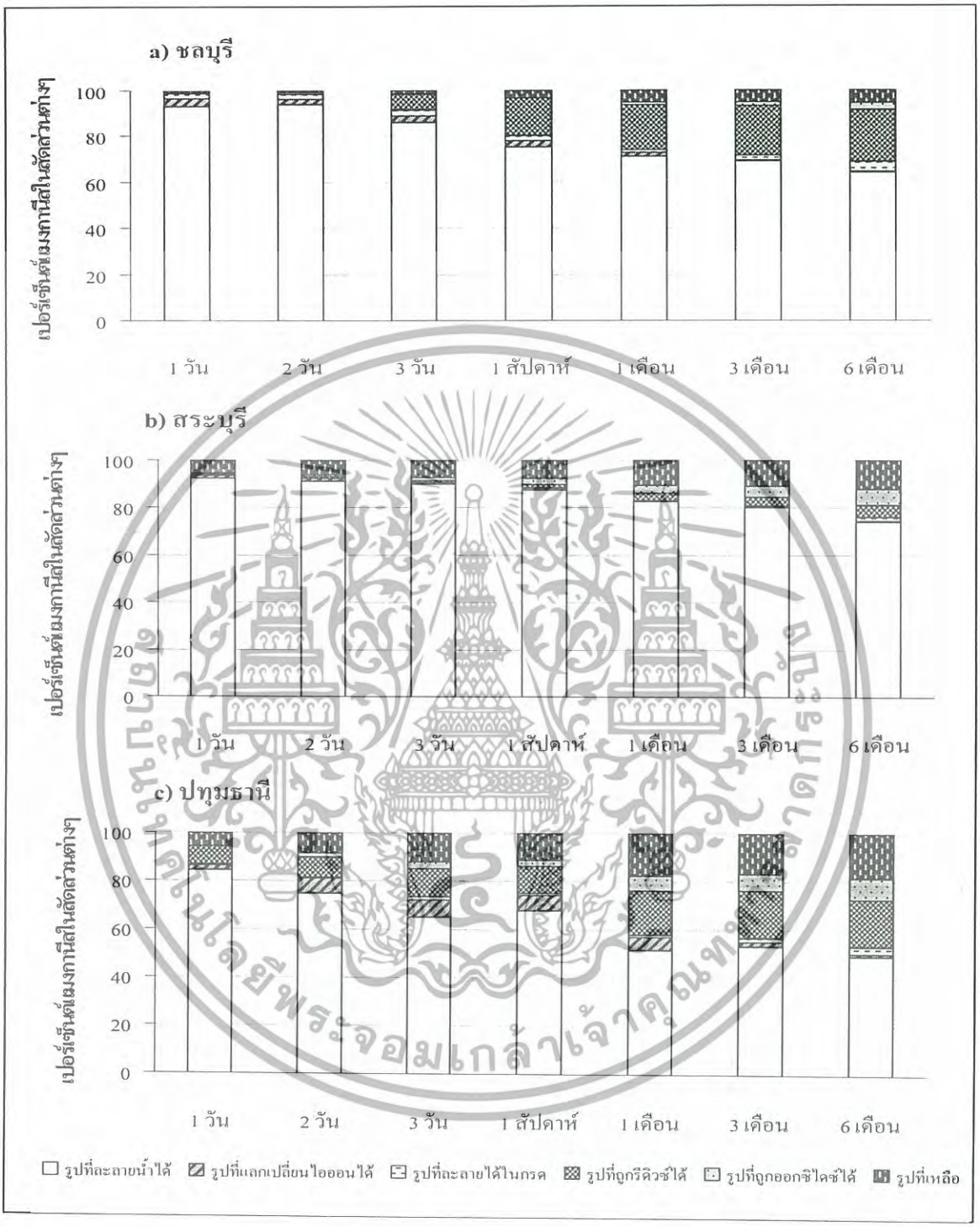
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 4.1 a) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1วันถึง 1 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กในรูปต่างๆ ไม่คงที่ แต่ภายหลังจาก 1 เดือนไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณคงที่มากขึ้น ซึ่งจะแสดงถึงความคงตัวของเหล็กในดินได้ โดยเหล็กอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือ รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้, รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้, รูปที่ละลายได้ในกรด, รูปที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ และรูปที่เหลือ ตามลำดับ ส่วนในดินสังเคราะห์จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 4.1 b) และปทุมธานี (รูปที่ 4.1 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 3 วัน มีปริมาณเหล็กในรูปต่างๆ เกือบคงที่ โดยอยู่ในรูปต่าง ๆ ดังนี้ รูปที่ละลายน้ำได้ > รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ > รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้ > รูปที่ละลายได้ในกรด > รูปที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ > รูปที่เหลือ ส่วนในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีปริมาณเหล็กในรูปต่างๆ ใกล้เคียงกัน และภายหลังจาก 1 เดือนไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณเหล็กคงที่ โดยอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้มากที่สุด รองลงมา คือ รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้

จากการที่ดินจังหวัดปทุมธานีมีเปอร์เซ็นต์ของสารอินทรีย์สูงกว่าดินชนิดอื่นๆ ทำให้เหล็กสามารถเกิดการดูดซับทางเคมีกับสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียม, ซัลไฟด์ และซิลิเกต รวมทั้งในรูปสารอินทรีย์ที่เป็นเหล็กคีเลตในดิน ได้ในปริมาณที่มากกว่าดินจังหวัดชลบุรี และสระบุรี

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 4.2 a) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 6 เดือน มีปริมาณทองแดงใกล้เคียงกัน โดยทองแดงอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือ รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ ส่วนในรูปอื่นๆ มีน้อยมาก ส่วนในดินสังเคราะห์จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 4.2 b) และปทุมธานี (รูปที่ 4.2 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 6 เดือน มีปริมาณทองแดงไม่คงที่ โดยทองแดงอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด

จากการที่ทองแดงสามารถถูกดูดซับกับออกไซด์ของเหล็ก แมงกานีส และอะลูมิเนียม, เกิดพันธะกับคาร์บอเนตในดิน และเป็นธาตุที่มีความเสถียรสูง จึงจะเห็นได้ว่าดินจังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์สูง ทองแดงจึงสามารถกระจายไปอยู่ในรูปที่ละลายได้ในกรด, รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้, รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้ และรูปที่เหลือ ในปริมาณที่มากกว่าในดินจังหวัดชลบุรีและสระบุรี

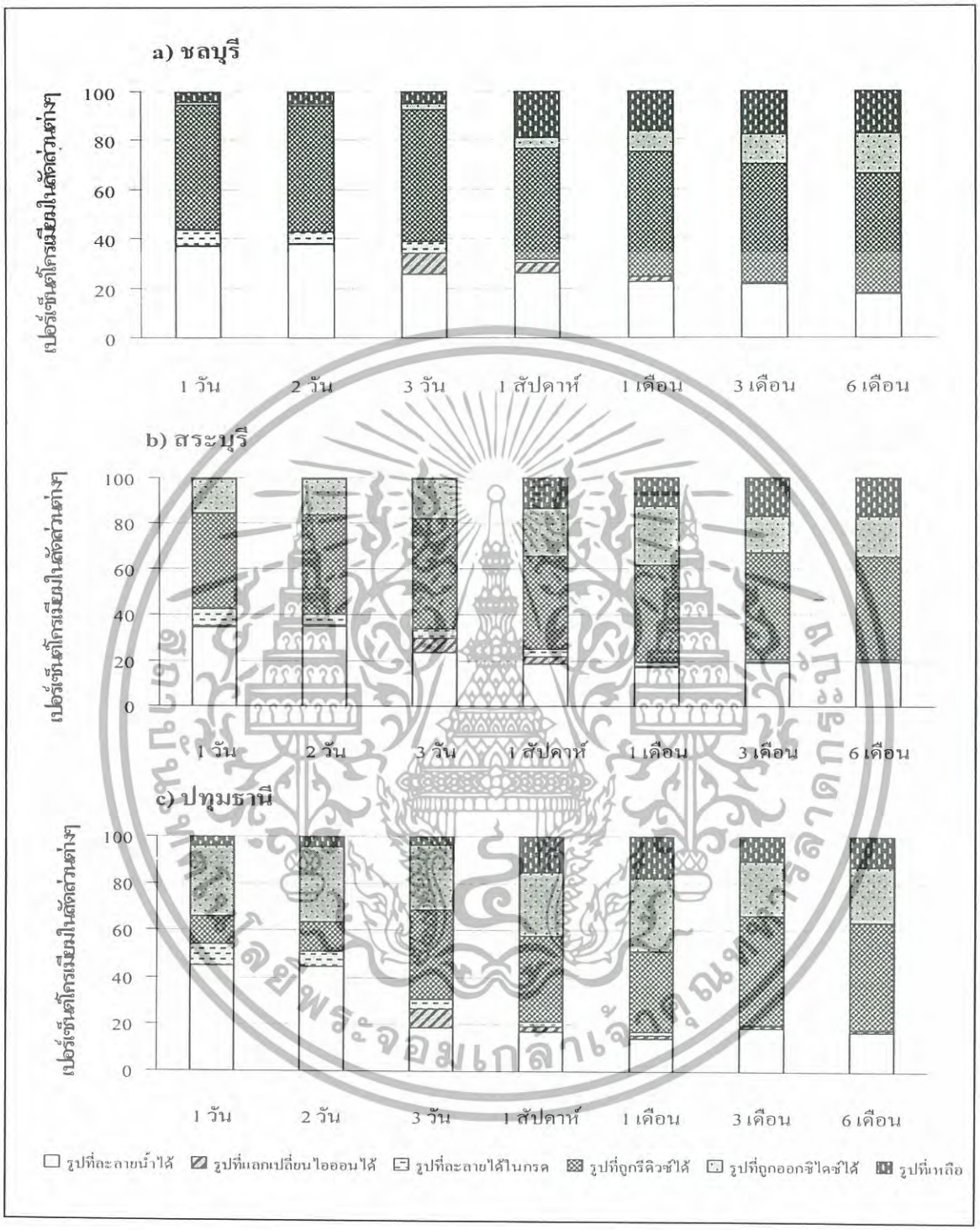
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สัดส่วนแมงกานีสในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัดส่วนโครเมียมในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

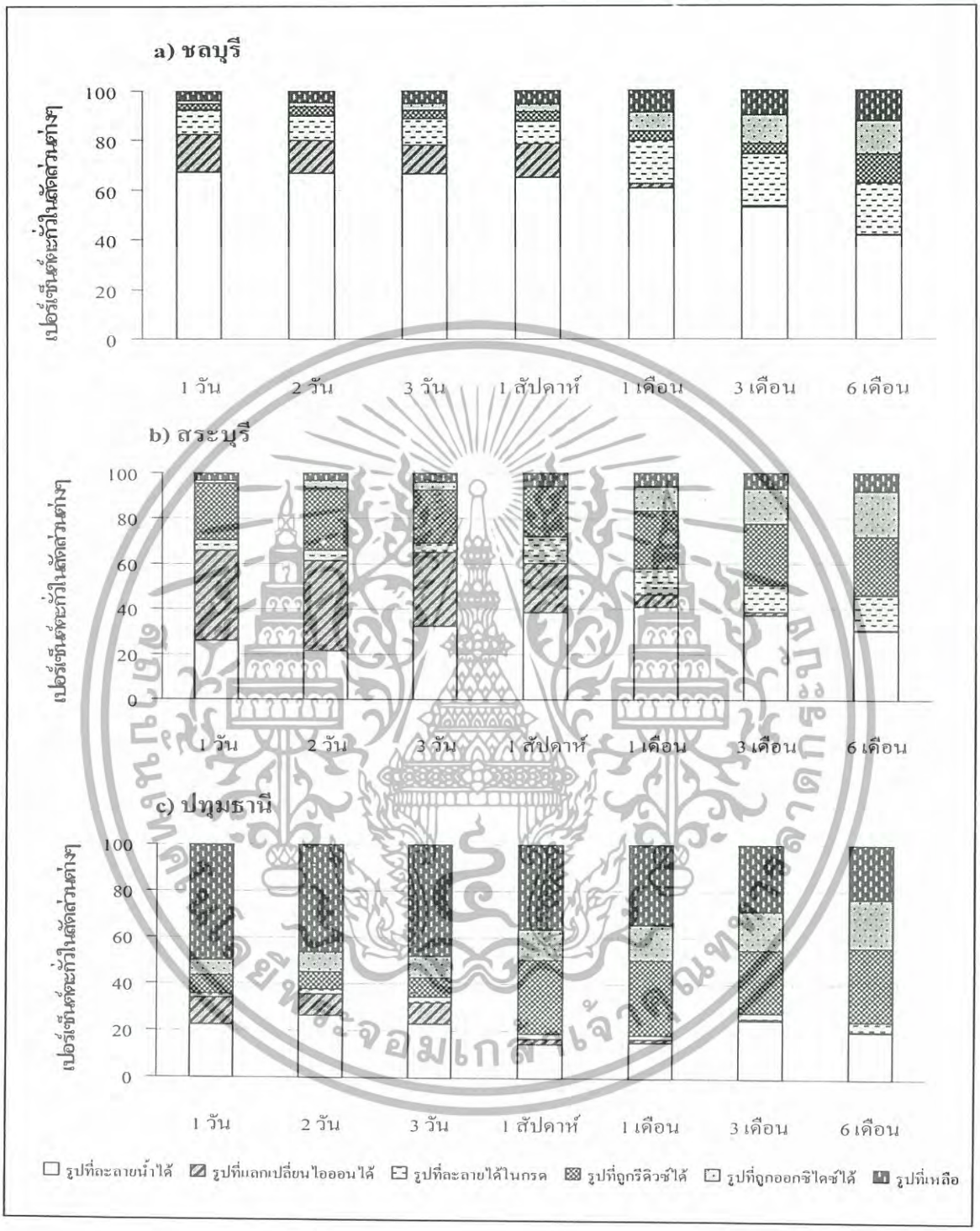
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี, สระบุรี และ ปทุมธานี (รูปที่ 4.3 a, 4.3 b และ 4.3 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 1 สัปดาห์ มีปริมาณแมงกานีสใกล้เคียงกัน และหลังจาก 1 เดือนไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณแมงกานีสในรูปต่างๆ คงที่ โดยแมงกานีสอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด รองลงมาในส่วนของดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรีและปทุมธานี คือ รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ และในส่วนของดินสังเคราะห์จังหวัดสระบุรี คือ รูปที่เหลือ ซึ่งมีปริมาณมากกว่ารูปที่ถูกรีดิวซ์ได้

จากการที่ดินจังหวัดปทุมธานีมีเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ และ ออกไซด์ของเหล็ก, แมงกานีส และอะลูมิเนียม สูงกว่าดินจังหวัดอื่นๆ แมงกานีสจึงมีการดูดซับในรูปสารประกอบออกไซด์, เกิดพันธะกับคาร์บอเนตในดิน, เกิดสารเชิงซ้อนกับอินทรียสาร และมีการดูดซับทางเคมีกับ silicate clay ได้ดี ทำให้ปริมาณแมงกานีสอยู่ในรูปที่ละลายได้ในกรด, รูปที่ถูกรีดิวซ์ได้, รูปที่ถูกออกซิไดซ์ได้ และรูปที่เหลือในปริมาณที่สูงกว่าดินจังหวัดชลบุรีและสระบุรี

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี และสระบุรี (รูปที่ 4.4 a และ 4.4 b) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลาต่างๆ มีปริมาณโครเมียมใกล้เคียงกัน ซึ่งภายหลังจาก 1 เดือนไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณโครเมียมคงที่มากกว่าในช่วงแรกของการสังเคราะห์ โดยโครเมียมอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้มากที่สุด ส่วนในดินสังเคราะห์จังหวัดปทุมธานี (รูปที่ 4.4 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 3 วัน มีปริมาณโครเมียมไม่คงที่ แต่ภายหลังจาก 1 สัปดาห์ไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณโครเมียมในรูปต่างๆ คงที่มากขึ้น โดยโครเมียมอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้มากที่สุดเช่นกัน

เนื่องจากโครเมียมสามารถเกิดสารเชิงซ้อนอย่างแรงกับอินทรียวัตถุ เกิดการดูดซับทางเคมีกับออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส และ silicate clay ในดินที่มีสภาวะพีเอชต่ำอยู่แล้ว ทำให้ปัจจัยอื่นๆ ของดินไม่มีผลมากนัก ซึ่งเมื่อเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โครเมียมจะอยู่ในรูปที่มีความเสถียรเพิ่มขึ้นด้วย

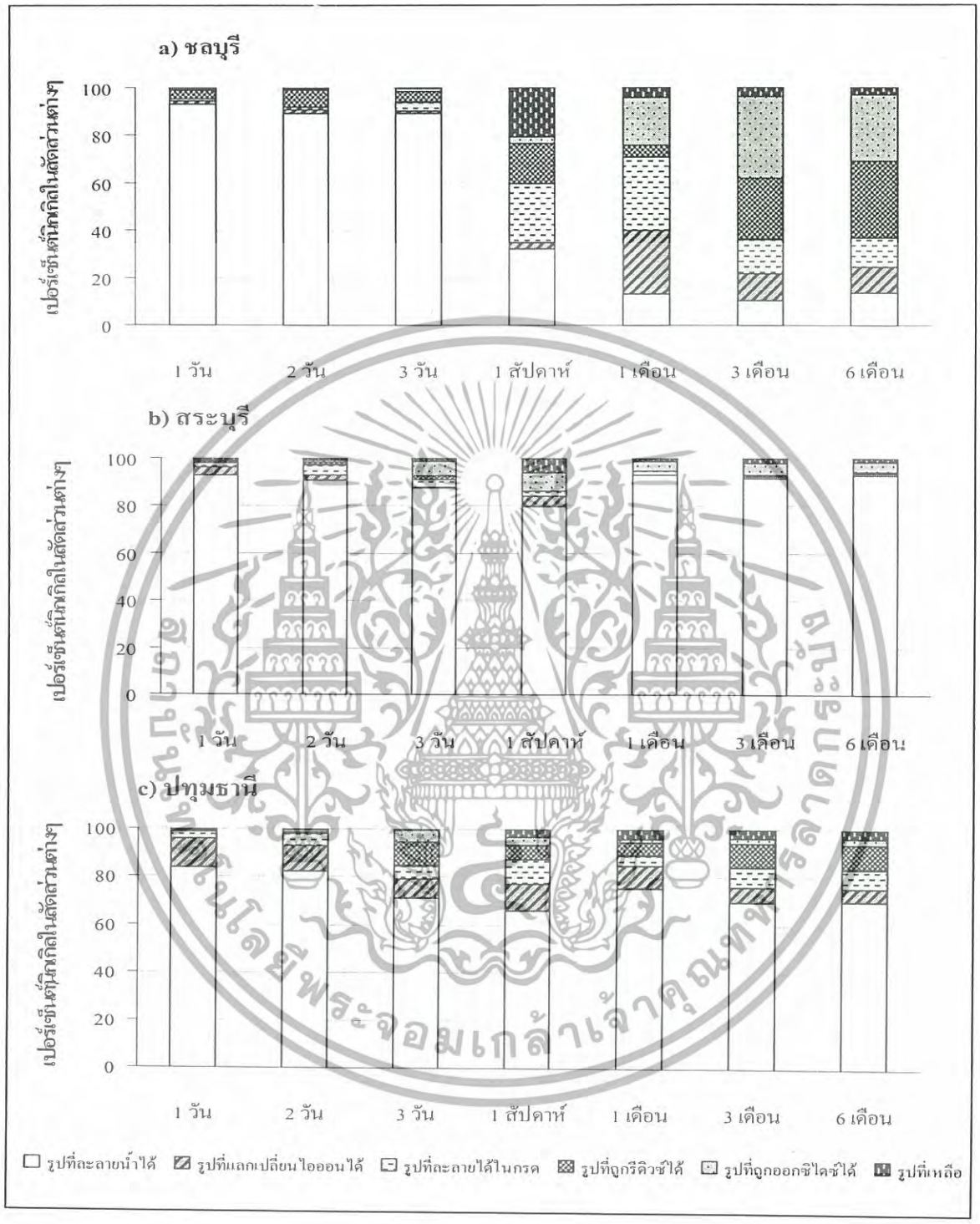
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัดส่วนตะกั่วในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัดส่วนนิกเกิลในดินสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

a) ชลบุรี b) สระบุรี c) ปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 4.5 a) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 1 สัปดาห์ มีปริมาณตะกั่วเกือบคงที่ โดยตะกั่วอยู่ในรูปละลายน้ำได้มากที่สุด รองลงมา คือ รูปที่แลกเปลี่ยนไอออนได้ และปริมาณตะกั่วในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือนถึง 6 เดือน มีปริมาณตะกั่วค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยตะกั่วอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด รองลงมา คือ รูปที่ละลายได้ในกรด ส่วนในดินสังเคราะห์จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 4.5 b) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 3 วัน ตะกั่วอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนไอออนได้มากที่สุด และในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ถึง 6 เดือน ตะกั่วอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด และในดินสังเคราะห์จังหวัดปทุมธานี (รูปที่ 4.5 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 3 วัน ตะกั่วอยู่ในรูปที่เหลือมากที่สุด และในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณตะกั่วอยู่ในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้เพิ่มมากขึ้นจากช่วงแรกของการสังเคราะห์ และมีปริมาณใกล้เคียงกับในรูปที่เหลือ

ตะกั่วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ, เกิดการดูดซับทางเคมีกับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส, silicate clay รวมทั้งเกิดการตกตะกอนในรูปคาร์บอเนตได้ดี โดยเฉพาะในดินจังหวัดปทุมธานี ที่มีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุและออกไซด์ของโลหะสูง ส่วนในดินจังหวัดชลบุรีและสระบุรีนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุและออกไซด์ของโลหะต่ำกว่าดินจังหวัดปทุมธานี จึงทำให้ตะกั่วไปยึดเกาะกับดินด้วยพันธะที่อ่อนแทน จึงสามารถถูกสกัดออกมาได้ง่ายด้วยสารละลายที่มีความแรงไม่มาก

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณนิกเกิลในดินสังเคราะห์จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 4.5 a) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันถึง 3 วัน มีปริมาณนิกเกิลในรูปต่างๆ เกือบคงที่ โดยนิกเกิลอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด ส่วนในรูปอื่นๆ มีน้อยมาก และในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ไปจนถึง 6 เดือน มีปริมาณนิกเกิลในรูปต่างๆ ไม่คงที่ ส่วนในดินสังเคราะห์จังหวัดสระบุรี (รูปที่ 4.6 b) และปทุมธานี (รูปที่ 4.6 c) จะเห็นว่าในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลาต่างๆ มีปริมาณนิกเกิลใกล้เคียงกันมาก โดยนิกเกิลอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากที่สุด ส่วนในรูปอื่นๆ มีน้อยมาก

เนื่องจากนิกเกิลจะสามารถละลายน้ำและเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีสภาวะเป็นกรด ซึ่งจะเห็นได้จากสัดส่วนของนิกเกิลในดินจังหวัดสระบุรีและจังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีค่าพีเอชต่ำกว่าดินจังหวัดชลบุรีโดยจะอยู่ในรูปละลายน้ำได้มากกว่าดินจังหวัดชลบุรี ส่วนในดินจังหวัดชลบุรีนิกเกิลสามารถถูกดูดซับเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ, เกิดการดูดซับทางเคมีกับ silicate clay และออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสได้ดีกว่าในดินจังหวัดสระบุรีและปทุมธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

ดินที่ใช้ในการวิจัยแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามลักษณะของเนื้อดิน ดังนี้

5.1.1.1 ดินจังหวัดชลบุรี ลักษณะเนื้อดินเป็นดินทราย มีเปอร์เซ็นต์ของซิลท์และความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่ำ จึงมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นและสารอินทรีย์ที่ต่ำ

5.1.1.2 ดินจังหวัดสระบุรี ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งคล้ายกับดินชลบุรี เปอร์เซ็นต์ความชื้นจึงค่อนข้างต่ำ แต่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับดินชลบุรี และมีเปอร์เซ็นต์ของซิลท์ที่สูงกว่าดินชลบุรี

5.1.1.3 ดินจังหวัดปทุมธานี ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ทำให้เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์สูงกว่าดินชนิดอื่นๆ เป็นเหตุให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงตามไปด้วย และการที่มีสารอินทรีย์สูงจึงทำให้ดินนี้สามารถเก็บความชื้นไว้ได้ดีทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสูง มีเปอร์เซ็นต์ของซิลท์ที่สูง และมีพีเอชที่ต่ำมาก

5.1.2 การศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่างๆ ที่ถูกยึดติดในดินสังเคราะห์โดยการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (sequential extraction)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โลหะหนักที่ดูดยึดติดในดินสังเคราะห์จะอยู่ในรูปที่มีความคงตัวมากขึ้น โดยดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน, 2 วัน และ 3 วัน โลหะจะมีความคงตัวต่ำ เนื่องจากมีความสามารถดูดยึดกับอนุภาคดินต่ำ เมื่อสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ โลหะหนักมีความคงตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ส่วนดินที่สังเคราะห์ด้วยเวลานานขึ้นคือ 1 เดือน, 3 เดือน และ 6 เดือน จะมีความคงตัวมาก โดยที่แต่ละช่วงเวลามีปริมาณโลหะหนักในรูปต่างๆ ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากโลหะหนักสามารถยึดเกาะกับดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นมากขึ้นภายหลังจากเวลา 1 เดือนขึ้นไป นอกจากนี้ โลหะหนักต่างชนิดกันยังมีผลต่อการดูดยึดของโลหะหนักในดินด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของโลหะหนักแต่ละชนิด โดยเหล็ก (Fe^{2+}) ซึ่งถูกเติมลงไปในดินในปริมาณมากที่สุดจะเข้าไปยึดติดกับดินในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้ในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับโลหะหนักชนิดอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหล็กสามารถเข้าไปยึดติดกับดินได้ดีกว่าโลหะหนักชนิดอื่น ทำให้โอกาสที่โลหะหนักชนิดอื่นจะแทรกเข้าไปยึดติดกับดินได้ยากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโลหะหนัก 3 ชนิด ทองแดง (Cu^{2+}), แมงกานีส (Mn^{2+}) และนิกเกิล (Ni^{2+}) ที่มีปริมาณในรูปที่ถูกรีดิวซ์ได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาโลหะหนักเป็นสารประกอบเดี่ยวๆ แล้วจึงผสมโลหะทีละสองตัว หรือสามตัว และนำมาแยกศึกษาถึงลักษณะโลหะหนักที่ถูกสกัดออกมา เนื่องจากถ้าผสมโลหะหนักพร้อมกันหมดจะศึกษาคุณสมบัติโลหะหนักแต่ละตัวได้ยาก

5.2.2 ควรศึกษาโดยนำดินจากแหล่งที่มาที่หลากหลายนอกเหนือจากในโครงงานพิเศษนี้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เพื่อหาปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่มีผลต่อการดูดยึดโลหะหนักในดิน

5.2.3 ควรศึกษาถึงสภาวะต่างๆ ที่อาจมีผลต่อการดูดยึดของโลหะในดินในช่วงเวลาการสังเคราะห์ เช่น อุณหภูมิ, ปริมาณแสงแดด, ความดัน และ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. **คู่มือการจัดการทรัพยากรที่ดินเบื้องต้น จังหวัดสระบุรี.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2534. **รายงานแผนที่ความเหมาะสมของดินกับพืชเศรษฐกิจเบื้องต้น จังหวัดปทุมธานี.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2534. **รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัด ชลบุรี.** เอกสารวิชาการ เล่มที่ 193. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

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

กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2534. **การบำบัดตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ชุติมา เสพย์ธรรม. 2543. **การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งอุตสาหกรรมด้วยเถ้าลอยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. 2525. **สารานุกรมธาตุ.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

เทียนชัย สุวรรณเวช. **เคมีของดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539.

พณจิตร ธนสิน. 2539. **การกำจัดสังกะสีและนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยตัวกลางทรายเคลือบออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2532. **การวิเคราะห์รูปแบบของโลหะปริมาณน้อยในตะกอนใกล้ฝั่งโดยวิธีการสกัดล้างตามลำดับขั้น.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รัตติกาล จันทิวาสน์. 2542. **การปรับเสถียรภาพของโลหะมีพิษในกากตะกอนจากโรงงานถลุงสังกะสี.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีวิเคราะห์และเคมีอินทรีย์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

สมบูรณ์ ประยามศรีเมฆ. 2543. **การบำบัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้คอลัมน์เศษเหล็ก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน และคณะ. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2535.

สุธีลา ตุลยะเสถียร และคณะ. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: บริษัทรวมสาส์น (1977) จำกัด.

อภิชาติ โพธิ์สุ. 2536. **ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในน้ำ และดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำเลย.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahstrom, Z.S., Parker, D.R., 1999. **Development and Assessment of Sequential Extraction Procedure for the Fractionation of Soil Cadmium.** Soil Sci. Soc. Am. J. 63, 1650 – 1658.

Alloway, B.J., **Heavy Metal in Soils,** 2nd ed., Blackie academic&professional, UK, 1995.

Allen, H.E., Huang, C.P., Bailey, G.W., Bowers, A.R. **Metal Speciation and Contamination of Soil.** 1st ed., USA, Lewis publishers, 1995.

Anxiang, L., Shuzhen, Z., Xiao-quan, S. **Time Effect on the Fractionation of Heavy Metals in Soils**. Geoderma. 125, 225 – 234, 2004.

Carter, M.R. **Soil Sampling and Methods of Analysis.** USA, Lewis publishers, Florida,1993.

Cline, S.R., Reed, B.E. **Lead Removal from Soils Via Bench-scale Soil Washing Techniques.** J.Environ Eng., ASCE. 121 (10), 700 – 705, 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Geeta, K.p., Bali, R. **Effect of Metal Spiking on Different Chemical Pools and Chemically Extraction Fractions of Heavy Metals in Sewage Sludge.** J. Harzard Mat. 106B ,133 – 137, 2004

Sastre, J., Hernández, E., Rodríguez, R., Alcodbé, X.,Vidal, M., Rauret, G. **Use of Sorption and Extraction Test to Predict the Dynamics of the Interaction of Trace Elements in Agricultural Soils Contaminated by a Mine Tailing Accident.** Sci Total Environ. 329, 261 – 281, 2004

Taylor, R.W., Xiu, H., Mchadi, A.A., Shuford, J.W., Tadesse, W. **Fractionation of Residual Cadmium, Copper, Nickel, Lead and Zince in Previously Sludge Amended Soil.** Commun. Sci. Plant Anal. 26 (13 – 14), 2193 – 2204, 1995

Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M. **Sequential Extraction Procedure for Speciation of Particulate Trace Metals.** Anal.Chem., 51, 844 – 851, 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
วิธีการเตรียมสารละลายโลหะหนัก

ก.1 วิธีการเตรียมสารละลายสต็อคโลหะหนัก

- ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำหนักโมเลกุลของ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เท่ากับ 277.91 โดยมี

Fe 1 อะตอม = 55.85

S 1 อะตอม = 32.06

O 11 อะตอม = 11×16 = 176

H 14 อะตอม = 14

Fe 55.8 กรัม อยู่ใน $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 277.91 กรัม

Fe 1 กรัม อยู่ใน $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ $\frac{(277.91 \times 1)}{55.85}$ = 4.9760 กรัม

ต้องชั่ง $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 4.9760 กรัม ละลายลงในน้ำ 1 ลิตร จึงจะได้สารละลายสต็อคเฟอรัสซัลเฟตเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ก.2 วิธีการคำนวณหาปริมาตรสารละลายสต็อคโลหะหนักเพื่อให้ได้สารละลายโลหะหนักในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

- ตัวอย่างวิธีการคำนวณหาปริมาตรสารละลายสต็อคเฟอรัสซัลเฟต 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ได้สารละลายเฟอรัสซัลเฟต 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่เติมลงในตัวอย่างดิน 15 กรัม

จากดิน 1,000 กรัม ต้องการให้มี Fe 5,000 มิลลิกรัม

ถ้าดิน 15 กรัม ต้องการให้มี Fe $\frac{(5,000 \times 15)}{1,000}$ = 75 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารละลายสต็อค $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ที่เตรียมมี Fe 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ต้องการ Fe 1,000 มิลลิกรัม ต้องใช้ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1,000 มิลลิลิตร

ต้องการ Fe 75 มิลลิกรัม ต้องใช้ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ $\frac{(1,000 \times 75)}{1,000} = 75$ มิลลิลิตร

ต้องปิเปตสารละลายสต็อค $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ มา 75 มิลลิลิตร เติมลงในดินตัวอย่าง 15 กรัม จึงจะได้สารละลายเฟอรัสซัลเฟตความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ก.3 วิธีคำนวณหาปริมาณโลหะหนักที่ได้จากการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างและแบลงค์ด้วยเครื่อง AAS จากนั้นนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน
3. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างและแบลงค์มาเทียบกับกราฟมาตรฐานจะได้ความเข้มข้นในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร
4. คำนวณหาปริมาณโลหะหนักในดินตัวอย่างดังนี้

- ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณโลหะหนักในดินที่ได้จากการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น ในขั้นที่ 1 ซึ่งใช้น้ำ DI 25 มิลลิลิตร ในการสกัดดิน 1 กรัม

กำหนดให้ X คือความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

สารตัวอย่างปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะหนัก X มิลลิกรัม

สารตัวอย่างปริมาตร 25 มิลลิลิตร มีปริมาณโลหะหนัก $\frac{(X \times 25)}{1,000}$ มิลลิกรัม

จากการสกัดดิน 1 กรัมด้วยน้ำ DI 25 มิลลิลิตร จะได้ว่าในดิน 1 กรัม มีปริมาณโลหะหนักเท่ากับ $\frac{25X}{1,000}$ มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คำนวณหาปริมาณโลหะหนักในดินในหน่วย มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ดินตัวอย่าง 1 กรัม มีปริมาณโลหะหนัก $\frac{25X}{1,000}$ มิลลิกรัม

ดินตัวอย่าง 1,000 กรัม มีปริมาณโลหะหนัก $\frac{(25X)\times 1,000}{1,000}$ มิลลิกรัม

จะได้ปริมาณโลหะหนักในดิน 25X มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

หมายเหตุ คำนวณปริมาณโลหะหนักในแบลงค์เช่นเดียวกันกับดินตัวอย่าง

6. คำนวณหาปริมาณโลหะหนักที่เติมลงไปในดินที่สกัดได้

ปริมาณโลหะหนักที่เติมลงไปในดิน = ปริมาณโลหะหนักในดินตัวอย่าง – ปริมาณโลหะหนักที่ได้จากแบลงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์ดิน

ข.1 การวัดค่าพีเอช (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งกากตะกอนแห้ง 5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 มิลลิลิตร
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเลคโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวนโดยใช้การหมุนอิเล็คโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเล็คโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

ข.2 การหาความหนาแน่นรวม โดยวิธี Core method (Carter, 1993)

1. ชั่งน้ำหนัก core และบันทึกน้ำหนัก
2. เตรียมพื้นที่ที่จะขุดเอาตัวอย่าง
3. กดแท่งทรงกระบอก (cylindrical cores) ลงไปตามระดับที่ต้องการให้ดินเต็ม core แล้วขุดรอบๆ cylindrical cores เพื่อนำขึ้นมา
4. ใช้มีดตัดดินส่วนที่เกิน cylindrical cores ออก แล้ววางบนกระจกนาฬิกาที่ทราบน้ำหนักแล้ว
5. นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ well soil + core (กรัม)
6. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้ dry soil + core (กรัม)
7. นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวม (bluk density)

การคำนวณ

$$D_b = m/v \qquad \text{(ข.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

D_b = ความหนาแน่นรวม (bluk density)

m = น้ำหนักดินแห้ง

v = ปริมาตรของ cylindrical core ($v = \pi d^2 h/4000$)

ข.3 การหาประจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเทต 1 N ลงไป 20 มิลลิลิตร ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ค้างคืน
2. เขย่าสารละลายดิน 30 นาที โดยใช้เครื่องเขย่า จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงนาน 20 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง
3. ล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเทต 1 N ครั้งละ 30 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสออกจนไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบดูโดยนำส่วนใสที่ได้จากการล้างแต่ละครั้ง ≈10 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง หยดแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 M แอมโมเนียมออกซาเลต 10 เปอร์เซ็นต์ และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างละ 2 – 3 หยด นำไปต้มให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนและสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)
4. ล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้งและล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 7 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร โดยในการล้างแต่ละครั้งให้นำไปปั่นเหวี่ยงนานประมาณ 3 – 5 นาที เพื่อแยกส่วนใสออก จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเทรต 0.1 N 2 – 3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ แสดงว่ามีคลอไรด์เหลืออยู่)
5. นำสารละลายจากข้างต้นทิ้งไปนำตัวอย่างดินที่ได้มาล้างต่อด้วยโซเดียมคลอไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไล่ แอมโมเนียมในดิน โดยล้างครั้งละ 30 มิลลิลิตร ซ้ำ 3 ครั้ง นำไปปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนใสไว้
6. นำขวดใสที่ได้จากสารละลายดินมาใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรรวมจนมีปริมาณ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
7. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่แอมโมเนียออกมา โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 25 มิลลิลิตร ใส่ใน Kjeldahl flask ที่ปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) จุ่มอยู่ในสารละลายกรดบอริกซึ่งใส่อินดิเคเตอร์ผสมไว้ 2 – 3 หยด กลั่นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น ไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
9. กลั่นแบลงค์และไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$CEC = (A - B)N \times 100 \quad \text{มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม} \qquad (ข.2)$$

โดยที่

A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไตเตรตกับแบลงค์

N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (N)

X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

ข.4 การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สารโดยวิธี Walkley and Black (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1 – 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตและเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ

การคำนวณ

$$\%\ \text{Organic carbon} = \frac{(B - T)}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{3}{10^{3}} \times \frac{100}{X} \times 10 \qquad (ข.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรตกับแบลงค์

T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรตกับตัวอย่างดิน

X = น้ำหนักดิน (กรัม)

ข.5 การหาความชื้นในดิน (Carter, 1993)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่ทำความสะอาดแล้ว
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 – 110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\%\text{ ความชื้น} = (\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้}) \times 100 \qquad \text{(ข.4)}$$

6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย

ข.6 การหาเปอร์เซ็นต์ทราย ซิลท์ เคลย์ (กองวิเคราะห์ดิน, 2535)

การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

1. เทสารละลายคัลกอน จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 0.1 ลิตร ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ plungler ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20 – 25 °C)
2. ค่อยๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านค่าจากสารแขวนลอย

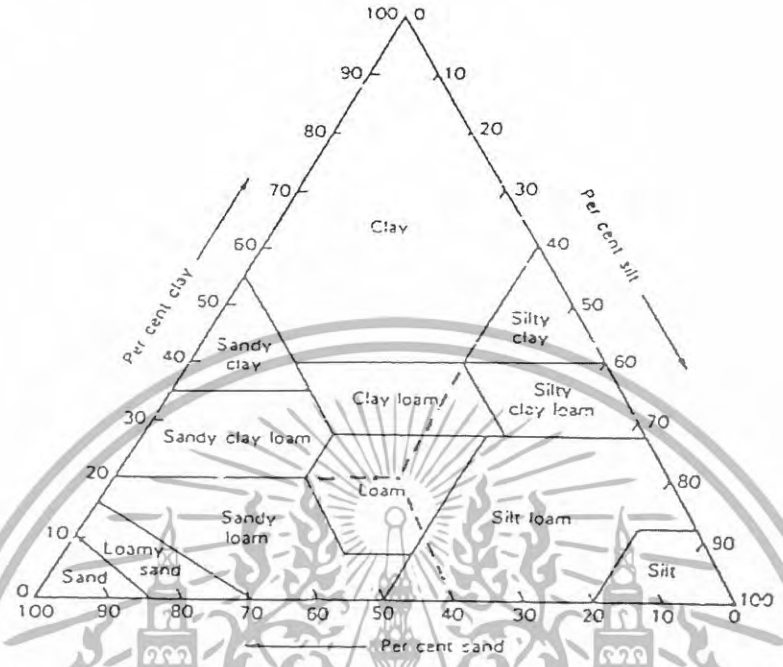
1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 กรัม (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 กรัม) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมสารละลายคัลกอน 100 มิลลิลิตร และน้ำประมาณ 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 กรัม เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มากวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กประมาณ 5 นาทีแล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 ลิตร ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ plunger แบบขึ้น – ลง เบาๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2 – 3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เติม 1 หยดของเอธิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการกวนผสมค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อยๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งโดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ



$$\% \text{ Sand} = \frac{(W - R)40S}{W} \times 100 \quad \text{(ข.5)}$$

$$\% \text{ Clay} = \frac{(R_{2hr})}{W} \times 100 \quad \text{(ข.6)}$$

$$\% \text{ Silt} = 100 - (\% \text{ Sand} + \% \text{ Clay}) \quad \text{(ข.7)}$$

ข.7 การหาความเข้มข้นของโลหะหนักโดย Microwave digester (Milestone application lab, 1996)

1. เลือกโปรแกรมย่อยให้เหมาะสมกับตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินลงใน vessel ของ rotor type ที่กำหนดให้ใช้ได้ในโปรแกรม
3. ใส่กรดที่มีความเข้มข้นและปริมาณตามที่ระบุไว้ในโปรแกรม
4. ใส่ vessel ใน protective shield ปิดฝา adapter plate และ special spring นำไปใส่ใน polypropyiene rotor body

หมายเหตุ

ถ้าตัวอย่างไม่ครบทุก vessel ให้วาง vessel ที่มีสารให้สมดุลหรือใช้ vessel เปล่าวางแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไขให้แน่นด้วย tension wrench (ด้ามสีดำ) เมื่อแน่นจะได้ยินเสียง “คลิก”
6. วาง polypropyiene rotor body ใน microwave unit โดยสวมให้ตรงกับแกน
7. กำหนดค่าของ time, power, pressure และ temp ตามที่กำหนดในโปรแกรมที่เลือกไว้
8. กด start เครื่องจะเช็คและทำตามโปรแกรม
9. เมื่อสิ้นสุดการย่อยตามโปรแกรมเครื่องจะแสดง 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. นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น

วิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (sequential extraction)

ขั้นที่ 1 : ละลายน้ำได้ (water soluble)

1. นำตัวอย่าง 1 กรัม ผสมกับน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
5. นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 2 : แลกเปลี่ยนไอออนได้ (exchangeable)

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 1 มาเติม 1.0 M NH_4OAc, pH 7 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 : ละลายได้ในกรด (acid soluble)

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 2 มาเติม 0.11 M HOAc, pH 3 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 : ถูกรีดิวซ์ได้ (reducible)

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 3 มาเติม 0.1 M $NH_2OH{\cdot}HCl$ pH 2 (ใน 25% v/v HOAc) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใส นาน 5 นาที
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
5. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร แล้วนำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที 5 : ถูกออกซิไดซ์ได้ (oxidizable)

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 4 มาเติม 30 % H_2O_2 pH 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดพลาสติก
2. นำไปเขย่า 2 ชั่วโมง จากนั้นเติม 1.0 M NH_4OAc pH 2 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. นำไปเขย่าต่ออีก 2 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนใสนาน 5 นาที
4. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร นำของแข็งที่เหลือไปทำต่อในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 6 ส่วนที่เหลือ (residual)

1. นำของแข็งที่เหลือจากขั้นที่ 5 ไปทำให้แห้ง โดยนำไปอบที่ 103 – 105 °C นาน 30 นาที
2. นำไปย่อยด้วย HF/HNO_3 ในเครื่องไมโครเวฟจนได้สารละลายใส
3. นำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน
5. เก็บส่วนใสใส่ขวดพลาสติก แล้วนำไปเก็บไว้ที่ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิคแอปซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินธรรมชาติ

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองหาค่าพีเอช

ดินตัวอย่าง (n = 3)	พีเอช				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	5.16	5.37	5.70	5.41	±0.27
สระบุรี	4.33	4.31	4.40	4.35	±0.05
ปทุมธานี	3.22	2.92	2.55	2.90	±0.34

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองหาความหนาแน่นรวม

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ความหนาแน่นรวม (g/m^3)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	1.42	1.42	1.42	1.42	±0.00
สระบุรี	1.27	1.34	1.34	1.32	±0.04
ปทุมธานี	1.31	1.41	1.34	1.35	±0.05

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองหาพื้นที่ผิว

ดินตัวอย่าง (n = 3)	พื้นที่ผิว (m^2/g)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	11.11	11.10	11.14	11.12	±0.02
สระบุรี	19.40	19.51	19.32	19.41	±0.10
ปทุมธานี	45.22	45.26	45.30	45.26	±0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองหาค่าความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	CEC (meq/100g)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	0.80	0.83	0.83	0.82	±0.02
สระบุรี	2.93	3.10	2.95	2.99	±0.09
ปทุมธานี	20.09	20.17	20.19	20.15	±0.05

ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองหาปริมาณอินทรียวัตถุ

ดินตัวอย่าง (n = 3)	% อินทรียวัตถุ				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	0.71	0.65	0.69	0.68	±0.03
สระบุรี	0.63	0.60	0.63	0.62	±0.02
ปทุมธานี	1.99	2.34	2.20	2.18	±0.18

ตารางที่ ง.6 ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ดินตัวอย่าง (n = 3)	% ความชื้น				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	0.20	0.10	0.11	0.13	±0.06
สระบุรี	9.48	9.68	9.48	9.55	±0.12
ปทุมธานี	8.76	8.59	8.60	8.65	±0.10

ตารางที่ ง.7 ผลการทดลองหาปริมาณเหล็ก

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณเหล็ก (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	8.509	7.853	8.192	8.185	±0.33
สระบุรี	10.468	9.825	9.988	10.094	±0.33
ปทุมธานี	28.791	32.714	31.214	30.906	±1.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ผลการทดลองหาปริมาณทองแดง

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณทองแดง (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	2.027	2.027	2.025	2.026	±0.00
สระบุรี	6.485	6.492	6.481	6.486	±0.01
ปทุมธานี	15.809	16.618	16.341	16.256	±0.41

ตารางที่ ง.9 ผลการทดลองหาปริมาณแมงกานีส

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณแมงกานีส (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	194.901	181.851	187.745	188.166	±6.54
สระบุรี	47.798	50.879	49.411	49.363	±1.54
ปทุมธานี	85.924	74.118	80.715	80.252	±5.92

ตารางที่ ง.10 ผลการทดลองหาปริมาณ โครเมียม

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณโครเมียม (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	39.375	34.993	37.415	37.261	±2.20
สระบุรี	3.887	3.892	3.895	3.891	±0.00
ปทุมธานี	21.869	20.895	21.382	21.364	±0.49

ตารางที่ ง.11 ผลการทดลองหาปริมาณตะกั่ว

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณตะกั่ว (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	9.975	9.973	9.974	9.974	±0.00
สระบุรี	6.647	6.655	6.652	6.651	±0.00
ปทุมธานี	9.972	6.647	8.475	8.365	±1.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 ผลการทดลองหาปริมาณนิกเกิล

ดินตัวอย่าง (n = 3)	ปริมาณนิกเกิล (mg/kg)				SD.
	1	2	3	เฉลี่ย	
ชลบุรี	8.123	10.558	9.951	9.544	±1.27
สระบุรี	17.864	14.632	16.588	16.361	±1.63
ปทุมธานี	39.791	48.719	45.889	44.800	±4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 ผลของการกระจายตัวของอนุภาค

ดินตัวอย่าง (n = 3)	% sand				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	91.00	93.00	93.00	92.33	±1.15
สระบุรี	63.04	64.53	64.50	64.02	±0.85
ปทุมธานี	45.08	42.59	44.31	43.99	±1.27
ดินตัวอย่าง (n = 3)	% silt				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	5.00	3.00	4.80	4.27	±1.10
สระบุรี	19.98	18.99	18.97	19.31	±0.58
ปทุมธานี	19.47	21.22	20.34	20.34	±0.88
ดินตัวอย่าง (n = 3)	% clay				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	4.00	4.00	3.97	3.99	±0.02
สระบุรี	16.98	16.49	16.75	16.74	±0.25
ปทุมธานี	35.45	36.20	35.82	35.82	±0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.14 ผลของโลหะออกไซด์

ดินตัวอย่าง (n = 3)	% Al_2O_3				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	3.77	3.51	3.76	3.68	±0.15
สระบุรี	9.32	9.54	9.13	9.33	±0.21
ปทุมธานี	22.2	21.90	22.17	22.09	±0.17
ดินตัวอย่าง (n = 3)	% Fe_2O_3				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	0.47	0.45	0.46	0.46	±0.01
สระบุรี	1.79	1.77	1.78	1.78	±0.01
ปทุมธานี	5.97	5.96	5.96	5.96	±0.01
ดินตัวอย่าง (n = 3)	% MnO_2				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	0.05	0.02	0.06	0.05	±0.02
สระบุรี	0.02	0.02	0.02	0.02	±0.00
ปทุมธานี	0.09	0.09	0.09	0.09	±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินสังเคราะห์ในช่วงเวลาต่างๆ

ตารางที่ จ.1 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	905.99 ± 7.91	385.95 ±1.57	355.55 ±0.07	102.55 ±0.13	132.41 ±1.83	137.41 ±1.43
สระบุรี	1,153.82 ± 0.25	427.63 ±0.99	375.07 ±1.28	148.72 ±0.93	120.61 ±25.86	170.63 ±0.40
ปทุมธานี	918.74 ±13.25	404.99 ±1.75	468.52 ±0.15	121.22 ±0.31	99.30 ±0.16	199.30 ±0.49

ตารางที่ จ.2 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	834.05 ±5.23	309.49 ±1.18	341.71 ±0.06	104.94 ±0.66	127.38 ±0.85	131.74 ±1.03
สระบุรี	1423.10 ±17.55	365.77 ±0.89	369.76 ±0.16	142.66 ±1.76	151.77 ±0.11	155.88 ±0.94
ปทุมธานี	1094.48 ±9.69	419.51 ±1.06	469.23 ±0.67	118.92 ±1.03	107.39 ±0.35	193.20 ±0.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	725.23 ±4.38	232.52 ±1.03	369.99 ±0.36	120.15 ±0.10	136.50 ±0.54	128.54 ±1.48
สระบุรี	1,328.83 ±0.84	300.08 ±0.33	377.37 ±0.13	169.74 ±0.65	175.67 ±1.17	146.49 ±0.08
ปทุมธานี	1,042.26 ±2.71	415.50 ±0.22	354.89 ±0.21	184.49 ±0.05	108.67 ±0.77	184.53 ±1.02

ตารางที่ จ.4 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	927.88 ±2.46	319.81 ±0.51	333.35 ±0.34	117.62 ±0.85	149.06 ±1.09	17.14 ±0.02
สระบุรี	1,072.90 ±2.91	372.78 ±1.59	327.57 ±0.30	170.87 ±1.08	145.65 ±1.76	146.47 ±0.03
ปทุมธานี	1,063.85 ±3.48	417.85 ±2.00	467.12 ±5.73	197.48 ±0.95	132.61 ±10.56	195.15 ±0.26

ตารางที่ จ.5 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	773.10 ±5.28	363.17 ±1.55	350.93 ±0.08	147.88 ±0.05	140.77 ±1.59	16.12 ±0.13
สระบุรี	780.34 ±5.34	454.18 ±0.52	300.58 ±0.19	196.48 ±0.74	139.96 ±2.31	173.28 ±5.41
ปทุมธานี	527.19 ±13.08	376.58 ±0.59	342.78 ±0.46	217.69 ±0.56	159.92 ±0.56	188.95 ±7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	711.87 ±1.36	355.26 ±1.79	378.23 ±0.17	168.35 ±1.15	152.94 ±1.96	18.84 ±0.87
สระบุรี	727.17 ±2.00	432.03 ±0.53	319.65 ±0.01	164.07 ±1.51	184.02 ±1.70	176.24 ±5.06
ปทุมธานี	484.82 ±2.10	483.56 ±1.56	377.96 ±0.03	186.42 ±0.36	199.54 ±0.39	190.01 ±5.87

ตารางที่ จ.7 ปริมาณของโลหะหนักในดินที่สังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน

ดินตัวอย่าง (n = 3)	เหล็ก (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	โครเมียม (mg/kg)	ตะกั่ว (mg/kg)	นิกเกิล (mg/kg)
ชลบุรี	677.01 ±3.14	366.98 ±1.00	383.23 ±6.09	186.34 ±1.42	194.60 ±0.26	19.66 ±0.47
สระบุรี	669.56 ±3.73	449.14 ±0.79	315.40 ±0.17	180.61 ±0.86	198.49 ±0.77	180.37 ±1.57
ปทุมธานี	470.91 ±2.02	499.01 ±1.32	401.94 ±0.29	194.38 ±0.56	199.05 ±0.59	194.86 ±0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ฉ.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	409.280	406.083	409.417	408.260	±1.887
สระบุรี	468.281	466.915	467.512	467.569	±0.685
ปทุมธานี	485.913	474.780	484.655	481.783	±6.097
Fraction 2					
ชลบุรี	0.682	0.656	0.620	0.653	±0.031
สระบุรี	26.020	26.655	28.811	27.162	±1.463
ปทุมธานี	0.654	0.678	0.654	0.654	±0.014
Fraction 3					
ชลบุรี	167.874	169.021	167.769	168.221	±0.695
สระบุรี	39.988	40.595	39.940	40.174	±0.365
ปทุมธานี	61.562	63.225	64.190	62.992	±1.329
Fraction 4					
ชลบุรี	293.965	294.871	298.675	295.837	±2.499
สระบุรี	442.096	442.974	440.176	441.749	±1.431
ปทุมธานี	250.817	261.949	266.112	259.626	±7.908
Fraction 5					
ชลบุรี	10.573	-	10.480	10.527	±0.066
สระบุรี	136.234	136.709	135.758	136.234	±0.476
ปทุมธานี	104.902	105.949	104.884	105.245	±0.610
Fraction 6					
ชลบุรี	25.160	26.797	26.059	26.006	±0.820
สระบุรี	41.334	40.118	41.332	40.928	±0.701
ปทุมธานี	12.923	-	12.359	12.641	±0.399

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	533.471	538.224	530.122	533.939	±4.071
สระบุรี	509.633	510.287	508.441	509.454	±0.936
ปทุมธานี	456.289	460.212	455.389	457.297	±2.565
Fraction 2					
ชลบุรี	3.874	3.669	3.747	3.763	±0.103
สระบุรี	0.874	0.876	0.981	0.910	±0.061
ปทุมธานี	0.774	0.841	0.759	0.791	±0.044
Fraction 3					
ชลบุรี	95.287	98.214	95.332	96.278	±1.677
สระบุรี	101.004	102.398	100.874	101.425	±0.845
ปทุมธานี	109.258	110.647	111.852	110.586	±1.298
Fraction 4					
ชลบุรี	75.951	73.876	76.332	75.386	±1.322
สระบุรี	630.120	654.300	-	642.210	±17.098
ปทุมธานี	401.253	398.568	385.781	395.201	±8.267
Fraction 5					
ชลบุรี	84.231	85.741	83.556	84.509	±1.119
สระบุรี	110.698	112.175	114.832	112.570	±2.095
ปทุมธานี	104.000	106.501	104.956	105.152	±1.262
Fraction 6					
ชลบุรี	39.452	40.217	40.854	40.174	±0.702
สระบุรี	58.365	55.471	56.275	56.704	±1.494
ปทุมธานี	26.145	25.365	24.856	25.455	±0.649

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	537.937	541.236	544.387	541.187	±3.225
สระบุรี	483.408	481.714	482.579	482.567	±0.847
ปทุมธานี	428.951	431.569	433.645	431.388	±2.352
Fraction 2					
ชลบุรี	2.910	3.022	3.145	3.026	±0.118
สระบุรี	0.741	0.877	0.898	0.839	±0.085
ปทุมธานี	0.744	0.709	0.711	0.731	±0.020
Fraction 3					
ชลบุรี	90.377	92.662	91.574	91.538	±1.143
สระบุรี	97.463	97.001	96.895	97.120	±0.302
ปทุมธานี	103.212	103.412	103.144	103.256	±0.139
Fraction 4					
ชลบุรี	43.769	43.248	43.687	43.568	±0.280
สระบุรี	600.754	600.641	600.598	600.664	±0.081
ปทุมธานี	385.166	386.023	385.991	385.727	±0.486
Fraction 5					
ชลบุรี	11.653	11.801	11.774	11.743	±0.079
สระบุรี	96.479	96.840	96.557	96.625	±0.190
ปทุมธานี	99.802	99.768	98.984	99.518	±0.463
Fraction 6					
ชลบุรี	33.847	34.102	34.561	34.170	±0.362
สระบุรี	50.951	51.235	50.844	51.010	±0.202
ปทุมธานี	21.281	22.004	21.669	21.651	±0.362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	696.750	696.874	696.352	696.659	±0.273
สระบุรี	785.224	786.587	788.994	786.935	±1.909
ปทุมธานี	723.528	723.871	723.985	723.795	±0.238
Fraction 2					
ชลบุรี	1.300	1.300	-	1.300	±0.000
สระบุรี	0.715	0.650	0.650	0.672	±0.038
ปทุมธานี	-	0.836	0.711	0.774	±0.088
Fraction 3					
ชลบุรี	24.050	24.251	24.05	24.117	±0.116
สระบุรี	9.098	8.796	8.446	8.780	±0.326
ปทุมธานี	43.464	43.777	43.516	43.586	±0.168
Fraction 4					
ชลบุรี	101.551	100.755	101.838	101.381	±0.561
สระบุรี	189.885	189.232	189.759	189.625	±0.346
ปทุมธานี	254.411	256.370	250.515	253.765	±2.980
Fraction 5					
ชลบุรี	6.243	6.203	6.361	6.269	±0.082
สระบุรี	38.271	39.141	38.495	38.636	±0.452
ปทุมธานี	18.223	18.364	18.428	18.338	±0.105
Fraction 6					
ชลบุรี	100.799	96.708	98.266	98.591	±2.065
สระบุรี	49.080	45.942	49.721	48.248	±2.022
ปทุมธานี	21.166	24.424	25.955	23.848	±2.446

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	257.360	260.320	259.417	259.032	±1.517
สระบุรี	72.275	72.663	72.441	72.460	±0.195
ปทุมธานี	88.420	89.714	90.021	89.385	±0.850
Fraction 2					
ชลบุรี	13.078	16.228	14.957	14.754	±1.585
สระบุรี	1.247	1.350	1.410	1.336	±0.082
ปทุมธานี	0.623	0.687	0.774	0.695	±0.076
Fraction 3					
ชลบุรี	135.084	135.784	135.998	135.622	±0.478
สระบุรี	128.140	131.023	130.808	129.990	±1.606
ปทุมธานี	40.935	45.130	43.766	43.277	±2.140
Fraction 4					
ชลบุรี	208.178	213.222	210.697	210.699	±2.522
สระบุรี	387.366	391.255	390.581	389.734	±2.078
ปทุมธานี	222.479	250.497	247.119	240.032	±15.295
Fraction 5					
ชลบุรี	145.485	144.627	140.556	143.556	±2.633
สระบุรี	188.659	174.216	175.110	179.328	±8.093
ปทุมธานี	154.981	141.936	150.744	149.220	±6.655
Fraction 6					
ชลบุรี	10.568	9.003	8.748	9.440	±0.985
สระบุรี	8.818	6.958	6.714	7.497	±1.151
ปทุมธานี	4.796	4.847	4.100	4.581	±0.417

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	230.856	230.610	231.365	230.944	±0.385
สระบุรี	67.852	69.325	69.008	68.728	±0.775
ปทุมธานี	83.641	82.382	82.054	82.692	±0.838
Fraction 2					
ชลบุรี	12.009	13.587	12.302	12.633	±0.839
สระบุรี	10.321	10.963	10.214	10.499	±0.405
ปทุมธานี	0.502	0.621	0.678	0.600	±0.090
Fraction 3					
ชลบุรี	120.362	120.690	120.365	120.472	±0.189
สระบุรี	115.230	116.520	117.523	116.424	±1.149
ปทุมธานี	40.326	39.526	39.157	39.670	±0.598
Fraction 4					
ชลบุรี	206.256	204.021	206.120	205.466	±1.253
สระบุรี	365.215	366.215	365.142	365.524	±0.600
ปทุมธานี	230.510	231.023	234.012	231.848	±1.891
Fraction 5					
ชลบุรี	136.205	135.985	132.854	135.015	±1.874
สระบุรี	160.324	160.023	159.652	160.000	±0.337
ปทุมธานี	126.235	125.036	126.925	126.065	±0.956
Fraction 6					
ชลบุรี	7.326	7.345	7.365	7.345	±0.020
สระบุรี	6.102	5.963	5.914	5.993	±0.098
ปทุมธานี	4.030	3.958	3.851	3.946	±0.090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของเหล็กในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	223.012	221.030	222.958	222.333	±1.129
สระบุรี	60.125	59.033	58.032	59.063	±1.047
ปทุมธานี	79.021	78.332	79.895	79.083	±0.783
Fraction 2					
ชลบุรี	9.326	8.032	8.041	8.466	±0.745
สระบุรี	7.532	7.986	8.005	7.841	±0.268
ปทุมธานี	4.302	4.056	4.144	4.167	±0.125
Fraction 3					
ชลบุรี	115.320	115.365	113.256	114.647	±1.205
สระบุรี	109.320	105.023	105.479	106.607	±2.360
ปทุมธานี	31.026	30.265	29.032	30.108	±1.006
Fraction 4					
ชลบุรี	199.123	198.325	198.320	198.589	±0.462
สระบุรี	337.021	336.021	340.326	337.789	±2.253
ปทุมธานี	236.215	235.125	236.265	235.868	±0.644
Fraction 5					
ชลบุรี	128.326	126.023	128.036	127.462	±1.254
สระบุรี	155.300	154.000	152.362	153.887	±1.472
ปทุมธานี	120.002	119.030	118.026	119.019	±0.988
Fraction 6					
ชลบุรี	5.214	5.302	6.012	5.509	±0.438
สระบุรี	4.230	4.069	4.803	4.367	±0.386
ปทุมธานี	2.659	2.721	2.603	2.661	±0.059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ช.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1วันFraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	313.600	315.269	313.011	313.960	±1.171
สระบุรี	352.988	352.740	351.700	352.476	±0.683
ปทุมธานี	289.693	286.362	286.853	287.636	±1.798
Fraction 2					
ชลบุรี	9.948	9.741	9.933	9.874	±0.115
สระบุรี	14.606	14.798	15.820	15.075	±0.653
ปทุมธานี	22.313	22.313	22.315	22.314	±0.001
Fraction 3					
ชลบุรี	7.302	8.147	7.710	7.720	±0.423
สระบุรี	25.156	24.745	24.716	24.872	±0.246
ปทุมธานี	23.530	21.096	22.373	22.333	±1.217
Fraction 4					
ชลบุรี	53.145	53.091	53.217	53.151	±0.063
สระบุรี	17.041	16.226	16.415	16.561	±0.427
ปทุมธานี	1.406	1.517	1.623	1.515	±0.109
Fraction 5					
ชลบุรี	0.649	0.645	-	0.647	±0.003
สระบุรี	7.790	7.638	8.011	7.813	±0.188
ปทุมธานี	52.579	54.527	55.077	54.061	±1.313
Fraction 6					
ชลบุรี	0.811	0.812	0.812	0.812	±0.001
สระบุรี	11.061	10.518	10.924	10.834	±0.282
ปทุมธานี	16.961	17.252	17.193	17.135	±0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	257.445	256.633	257.486	257.188	±0.481
สระบุรี	290.238	291.557	290.418	290.738	±0.715
ปทุมธานี	269.883	268.447	269.742	269.357	±0.792
Fraction 2					
ชลบุรี	8.426	8.336	8.527	8.430	±0.096
สระบุรี	11.569	11.853	11.529	11.650	±0.177
ปทุมธานี	20.876	20.854	20.744	20.825	±0.071
Fraction 3					
ชลบุรี	8.417	8.527	8.556	8.500	±0.073
สระบุรี	14.679	14.638	14.599	14.639	±0.040
ปทุมธานี	29.458	32.882	29.657	30.666	±1.922
Fraction 4					
ชลบุรี	33.963	32.852	30.776	32.530	±1.618
สระบุรี	18.452	18.464	17.298	18.071	±0.670
ปทุมธานี	38.544	38.177	38.767	38.496	±0.298
Fraction 5					
ชลบุรี	1.116	1.248	1.859	1.408	±0.396
สระบุรี	20.411	20.021	20.527	20.320	±0.265
ปทุมธานี	46.559	46.764	46.650	46.658	±0.103
Fraction 6					
ชลบุรี	1.460	1.457	1.400	1.439	±0.034
สระบุรี	10.015	10.263	10.787	10.355	±0.394
ปทุมธานี	13.470	13.599	13.452	13.507	±0.080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	200.906	199.622	199.005	199.844	±0.970
สระบุรี	210.699	210.845	210.059	210.534	±0.418
ปทุมธานี	242.619	242.512	242.344	242.492	±0.139
Fraction 2					
ชลบุรี	6.201	6.226	6.251	6.226	±0.025
สระบุรี	7.604	7.618	7.725	7.649	±0.066
ปทุมธานี	17.490	17.517	17.536	17.514	±0.023
Fraction 3					
ชลบุรี	10.678	10.754	10.452	10.628	±0.157
สระบุรี	4.182	4.192	4.206	4.193	±0.012
ปทุมธานี	37.265	37.345	37.289	37.300	±0.041
Fraction 4					
ชลบุรี	11.440	11.486	11.425	11.450	±0.032
สระบุรี	20.533	20.561	20.552	20.549	±0.014
ปทุมธานี	68.443	68.423	68.568	68.478	±0.079
Fraction 5					
ชลบุรี	2.446	2.416	2.477	2.446	±0.031
สระบุรี	43.687	43.659	43.581	43.642	±0.055
ปทุมธานี	41.352	41.378	41.885	41.538	±0.301
Fraction 6					
ชลบุรี	1.914	1.929	1.922	1.922	±0.008
สระบุรี	13.447	13.481	13.596	13.508	±0.078
ปทุมธานี	8.145	8.274	8.116	8.178	±0.084

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	313.445	312.633	313.486	313.188	±0.481
สระบุรี	350.238	351.557	350.418	350.738	±0.715
ปทุมธานี	329.883	328.447	329.742	329.357	±0.792
Fraction 2					
ชลบุรี	1.188	1.188	1.184	1.187	±0.002
สระบุรี	2.376	2.376	3.368	2.707	±0.573
ปทุมธานี	10.288	9.971	10.096	10.118	±0.160
Fraction 3					
ชลบุรี	3.169	2.981	2.778	2.976	±0.196
สระบุรี	7.921	7.828	7.524	7.758	±0.208
ปทุมธานี	13.847	13.632	13.755	13.745	±0.108
Fraction 4					
ชลบุรี	0.797	0.793	0.793	0.794	±0.002
สระบุรี	5.546	5.544	5.544	5.545	±0.001
ปทุมธานี	30.632	30.382	30.466	30.493	±0.127
Fraction 5					
ชลบุรี	1.268	1.270	1.264	1.267	±0.003
สระบุรี	3.797	3.764	3.797	3.786	±0.019
ปทุมธานี	-	32.171	32.375	32.273	±0.144
Fraction 6					
ชลบุรี	0.396	0.392	0.396	0.395	±0.002
สระบุรี	3.171	-	3.565	3.368	±0.279
ปทุมธานี	4.429	4.662	-	4.546	±0.165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	356.297	353.221	355.763	355.094	±1.644
สระบุรี	395.921	395.609	396.500	396.010	±0.452
ปทุมธานี	245.002	245.912	245.676	245.530	±0.472
Fraction 2					
ชลบุรี	2.636	2.688	2.602	2.642	±0.043
สระบุรี	5.530	5.676	5.550	5.585	±0.079
ปทุมธานี	13.969	13.877	14.031	13.959	±0.077
Fraction 3					
ชลบุรี	0.535	0.610	0.552	0.566	±0.039
สระบุรี	4.323	4.278	4.310	4.304	±0.023
ปทุมธานี	27.471	27.450	27.881	27.601	±0.243
Fraction 4					
ชลบุรี	2.769	2.755	2.744	2.756	±0.013
สระบุรี	28.510	28.411	28.576	28.499	±0.083
ปทุมธานี	38.361	38.296	38.451	38.369	±0.078
Fraction 5					
ชลบุรี	1.334	1.360	1.332	1.342	±0.016
สระบุรี	5.226	5.108	5.128	5.154	±0.063
ปทุมธานี	40.529	40.557	40.768	40.618	±0.131
Fraction 6					
ชลบุรี	0.769	0.780	0.756	0.768	±0.012
สระบุรี	14.457	14.709	14.707	14.624	±0.145
ปทุมธานี	10.692	10.429	10.388	10.503	±0.165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	340.257	343.566	340.905	341.576	±1.754
สระบุรี	352.218	352.066	353.459	352.581	±0.764
ปทุมธานี	326.499	324.850	323.842	325.064	±1.341
Fraction 2					
ชลบุรี	2.397	2.456	2.463	2.439	±0.036
สระบุรี	4.280	4.220	4.265	4.255	±0.031
ปทุมธานี	6.503	6.875	6.611	6.663	±0.191
Fraction 3					
ชลบุรี	0.501	0.520	0.504	0.508	±0.010
สระบุรี	3.222	3.144	3.059	3.142	±0.082
ปทุมธานี	10.005	9.882	10.055	9.981	±0.089
Fraction 4					
ชลบุรี	5.860	5.866	5.842	5.856	±0.012
สระบุรี	34.528	34.367	33.888	34.261	±0.333
ปทุมธานี	42.511	42.422	42.561	42.498	±0.070
Fraction 5					
ชลบุรี	1.322	1.326	1.333	1.327	±0.006
สระบุรี	15.841	15.766	15.470	15.692	±0.196
ปทุมธานี	82.878	82.528	82.440	82.615	±0.232
Fraction 6					
ชลบุรี	3.550	3.548	3.562	3.553	±0.008
สระบุรี	22.086	21.877	22.321	22.095	±0.222
ปทุมธานี	16.754	16.963	16.513	16.743	±0.225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของทองแดงในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	345.646	343.823	345.872	345.114	±1.123
สระบุรี	350.316	350.236	349.113	349.888	±0.673
ปทุมธานี	320.801	321.487	323.102	321.797	±1.181
Fraction 2					
ชลบุรี	2.415	2.445	2.430	2.430	±0.015
สระบุรี	3.783	3.779	3.751	3.771	±0.017
ปทุมธานี	5.555	5.518	5.428	5.500	±0.065
Fraction 3					
ชลบุรี	0.388	0.390	0.401	0.393	±0.007
สระบุรี	2.845	2.844	2.842	2.844	±0.002
ปทุมธานี	8.755	8.820	8.994	8.856	±0.124
Fraction 4					
ชลบุรี	10.602	10.856	10.570	10.676	±0.157
สระบุรี	43.080	42.756	42.890	42.909	±0.163
ปทุมธานี	50.707	50.681	50.906	50.765	±0.123
Fraction 5					
ชลบุรี	3.780	3.622	3.647	3.683	±0.085
สระบุรี	20.869	20.887	20.891	20.882	±0.012
ปทุมธานี	89.680	89.665	89.511	89.619	±0.094
Fraction 6					
ชลบุรี	4.670	4.690	4.682	4.681	±0.010
สระบุรี	29.107	28.458	28.966	28.844	±0.341
ปทุมธานี	22.288	22.645	22.474	22.469	±0.179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ซ.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	330.689	330.936	330.819	330.815	±0.124
สระบุรี	347.943	345.433	346.241	346.539	±1.281
ปทุมธานี	393.678	393.871	393.534	393.694	±0.169
Fraction 2					
ชลบุรี	-	12.803	12.793	12.798	±0.007
สระบุรี	3.608	3.628	3.636	3.624	±0.014
ปทุมธานี	9.573	9.589	9.578	9.580	±0.008
Fraction 3					
ชลบุรี	8.089	8.089	8.089	8.089	±0.000
สระบุรี	1.816	1.823	1.819	1.819	±0.004
ปทุมธานี	2.348	2.344	2.345	2.346	±0.002
Fraction 4					
ชลบุรี	0.927	0.927	0.927	0.927	±0.000
สระบุรี	2.422	2.420	2.425	2.422	±0.003
ปทุมธานี	34.936	34.930	34.933	34.933	±0.003
Fraction 5					
ชลบุรี	0.350	0.350	0.350	0.350	±0.000
สระบุรี	0.969	0.984	0.953	0.969	±0.016
ปทุมธานี	0.391	0.399	0.399	0.396	±0.005
Fraction 6					
ชลบุรี	2.488	2.497	2.525	2.503	±0.019
สระบุรี	19.685	19.614	19.797	19.699	±0.092
ปทุมธานี	27.678	27.473	27.564	27.572	±0.103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	320.853	320.766	320.814	320.811	±0.044
สระบุรี	337.560	337.510	337.513	337.528	±0.028
ปทุมธานี	351.424	352.159	351.557	351.713	±0.392
Fraction 2					
ชลบุรี	8.127	7.950	7.964	8.014	±0.098
สระบุรี	3.520	3.399	3.278	3.399	±0.121
ปทุมธานี	28.45	28.703	28.120	28.424	±0.292
Fraction 3					
ชลบุรี	6.695	6.968	6.990	6.884	±0.164
สระบุรี	1.112	1.115	1.105	1.111	±0.005
ปทุมธานี	2.946	2.964	2.914	2.941	±0.025
Fraction 4					
ชลบุรี	0.859	0.854	0.861	0.858	±0.004
สระบุรี	2.812	2.846	2.830	2.829	±0.017
ปทุมธานี	38.438	38.451	38.421	38.437	±0.015
Fraction 5					
ชลบุรี	1.890	1.895	1.887	1.891	±0.004
สระบุรี	2.661	2.780	2.725	2.722	±0.060
ปทุมธานี	8.766	8.754	8.720	8.747	±0.024
Fraction 6					
ชลบุรี	3.280	3.221	3.254	3.252	±0.030
สระบุรี	22.255	22.107	22.154	22.172	±0.076
ปทุมธานี	38.965	38.956	38.979	38.967	±0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	317.861	317.856	317.626	317.781	±0.134
สระบุรี	338.778	338.885	338.779	338.814	±0.061
ปทุมธานี	230.724	230.755	230.734	230.738	±0.016
Fraction 2					
ชลบุรี	10.548	11.037	10.786	10.790	±0.245
สระบุรี	3.149	3.181	3.158	3.163	±0.017
ปทุมธานี	26.335	26.347	26.230	26.304	±0.064
Fraction 3					
ชลบุรี	9.055	9.048	9.045	9.049	±0.005
สระบุรี	0.592	0.589	0.586	0.589	±0.003
ปทุมธานี	4.560	4.275	4.610	4.482	±0.181
Fraction 4					
ชลบุรี	25.959	26.170	26.162	26.097	±0.120
สระบุรี	3.392	3.389	3.386	3.389	±0.003
ปทุมธานี	41.434	41.290	41.183	41.302	±0.126
Fraction 5					
ชลบุรี	2.147	2.147	2.144	2.146	±0.002
สระบุรี	4.477	4.475	4.473	4.475	±0.002
ปทุมธานี	9.509	9.477	9.514	9.500	±0.020
Fraction 6					
ชลบุรี	4.108	4.119	4.153	4.127	±0.023
สระบุรี	26.878	26.994	26.950	26.941	±0.059
ปทุมธานี	42.570	42.579	42.557	42.569	±0.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	250.836	251.243	250.930	251.003	±0.213
สระบุรี	287.169	286.992	287.163	287.108	±0.101
ปทุมธานี	319.902	319.587	319.275	319.588	±0.314
Fraction 2					
ชลบุรี	9.548	9.710	9.405	9.554	±0.153
สระบุรี	2.008	1.950	1.941	1.966	±0.036
ปทุมธานี	31.450	31.480	31.475	31.468	±0.016
Fraction 3					
ชลบุรี	6.253	6.252	6.253	6.253	±0.001
สระบุรี	0.271	0.269	0.272	0.271	±0.002
ปทุมธานี	1.932	1.913	1.892	1.912	±0.020
Fraction 4					
ชลบุรี	55.608	55.328	55.689	55.542	±0.189
สระบุรี	5.554	5.585	5.585	5.575	±0.018
ปทุมธานี	54.103	54.101	54.081	54.095	±0.012
Fraction 5					
ชลบุรี	-	0.562	0.562	0.562	±0.000
สระบุรี	7.998	7.998	7.999	7.998	±0.001
ปทุมธานี	-	10.486	10.505	10.496	±0.013
Fraction 6					
ชลบุรี	10.813	10.622	10.423	10.619	±0.195
สระบุรี	24.357	24.981	-	24.669	±0.441
ปทุมธานี	53.142	53.289	52.751	53.061	±0.278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	250.168	250.115	250.139	250.141	±0.027
สระบุรี	248.310	248.103	248.746	248.386	±0.328
ปทุมธานี	176.783	176.854	176.428	176.688	±0.228
Fraction 2					
ชลบุรี	4.890	4.885	4.880	4.885	±0.005
สระบุรี	1.157	1.168	1.191	1.172	±0.017
ปทุมธานี	19.432	19.422	19.430	19.428	±0.005
Fraction 3					
ชลบุรี	4.271	4.270	4.279	4.273	±0.005
สระบุรี	0.125	0.124	0.122	0.124	±0.002
ปทุมธานี	3.272	3.278	3.280	3.277	±0.004
Fraction 4					
ชลบุรี	68.726	68.715	68.747	68.729	±0.016
สระบุรี	9.506	9.597	9.540	9.548	±0.046
ปทุมธานี	63.144	63.118	62.801	63.021	±0.191
Fraction 5					
ชลบุรี	4.494	4.419	4.454	4.456	±0.038
สระบุรี	10.223	10.235	10.207	10.222	±0.014
ปทุมธานี	20.246	20.229	20.153	20.209	±0.050
Fraction 6					
ชลบุรี	18.449	18.440	18.462	18.450	±0.011
สระบุรี	31.169	31.228	30.995	31.131	±0.121
ปทุมธานี	60.152	60.156	60.153	60.154	±0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	260.228	260.458	260.150	260.279	±0.160
สระบุรี	256.415	256.404	256.408	256.409	±0.006
ปทุมธานี	200.452	200.459	200.454	200.455	±0.004
Fraction 2					
ชลบุรี	2.450	2.454	2.453	2.452	±0.002
สระบุรี	0.953	0.955	0.955	0.954	±0.001
ปทุมธานี	8.089	8.114	8.045	8.083	±0.035
Fraction 3					
ชลบุรี	7.862	7.995	8.041	7.966	±0.093
สระบุรี	2.085	2.117	2.104	2.102	±0.016
ปทุมธานี	6.704	6.702	6.706	6.704	±0.002
Fraction 4					
ชลบุรี	80.432	80.415	80.446	80.431	±0.016
สระบุรี	11.285	11.271	11.259	11.272	±0.013
ปทุมธานี	74.157	74.117	74.105	74.126	±0.027
Fraction 5					
ชลบุรี	6.665	6.662	6.664	6.664	±0.002
สระบุรี	13.455	13.458	13.451	13.455	±0.004
ปทุมธานี	24.451	24.463	24.484	24.466	±0.017
Fraction 6					
ชลบุรี	20.455	20.436	20.428	20.440	±0.014
สระบุรี	35.460	35.459	35.465	35.461	±0.003
ปทุมธานี	64.124	64.119	64.121	64.121	±0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของแมงกานีสในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	248.114	248.106	248.107	248.109	±0.004
สระบุรี	234.180	234.186	234.185	234.184	±0.003
ปทุมธานี	198.425	198.472	198.474	198.457	±0.028
Fraction 2					
ชลบุรี	1.758	1.756	1.754	1.756	±0.002
สระบุรี	0.446	0.482	0.421	0.450	±0.031
ปทุมธานี	4.119	4.115	4.123	4.119	±0.004
Fraction 3					
ชลบุรี	15.424	15.406	15.433	15.421	±0.014
สระบุรี	5.556	5.558	5.556	5.557	±0.001
ปทุมธานี	10.206	10.451	10.752	10.470	±0.273
Fraction 4					
ชลบุรี	88.482	88.445	88.420	88.449	±0.031
สระบุรี	16.450	16.041	16.244	16.245	±0.205
ปทุมธานี	80.451	80.115	80.428	80.331	±0.188
Fraction 5					
ชลบุรี	-	10.284	10.457	10.371	±0.122
สระบุรี	20.451	20.463	20.420	20.445	±0.022
ปทุมธานี	35.184	35.412	35.255	35.284	±0.117
Fraction 6					
ชลบุรี	22.451	22.150	23.145	22.582	±0.510
สระบุรี	38.251	38.856	38.446	38.518	±0.309
ปทุมธานี	73.229	73.451	73.154	73.278	±0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฌ
ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ฌ.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วันFraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	37.932	38.487	37.749	38.056	±0.384
สระบุรี	51.510	50.866	51.014	51.130	±0.337
ปทุมธานี	54.472	54.040	54.964	54.492	±0.462
Fraction 2					
ชลบุรี	0.486	0.480	0.477	0.481	±0.005
สระบุรี	1.362	1.362	1.362	1.362	±0.000
ปทุมธานี	0.146	0.147	0.146	0.146	±0.001
Fraction 3					
ชลบุรี	6.404	6.446	6.452	6.434	±0.026
สระบุรี	10.783	10.808	10.734	10.775	±0.038
ปทุมธานี	11.046	11.223	11.213	11.161	±0.099
Fraction 4					
ชลบุรี	52.469	52.387	52.451	52.436	±0.043
สระบุรี	62.866	62.117	62.185	62.389	±0.414
ปทุมธานี	14.228	14.523	14.078	14.276	±0.226
Fraction 5					
ชลบุรี	0.906	-	0.896	0.901	±0.007
สระบุรี	22.779	22.451	22.505	22.578	±0.176
ปทุมธานี	36.015	36.448	36.108	36.190	±0.228
Fraction 6					
ชลบุรี	4.378	4.864	4.378	4.540	±0.281
สระบุรี	0.487	0.486	0.486	0.486	±0.001
ปทุมธานี	4.968	4.922	4.970	4.953	±0.027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	40.112	38.452	40.012	39.525	±0.931
สระบุรี	50.785	50.183	48.155	49.708	±1.378
ปทุมธานี	53.010	53.471	53.158	53.213	±0.235
Fraction 2					
ชลบุรี	0.341	0.365	0.322	0.343	±0.022
สระบุรี	1.204	1.230	1.253	1.229	±0.025
ปทุมธานี	0.128	0.144	-	0.136	±0.011
Fraction 3					
ชลบุรี	5.179	5.100	5.143	5.141	±0.040
สระบุรี	7.148	5.114	5.772	6.011	±1.038
ปทุมธานี	7.015	7.241	6.974	7.077	±0.144
Fraction 4					
ชลบุรี	53.228	54.170	53.488	53.629	±0.486
สระบุรี	62.771	62.418	62.741	62.643	±0.196
ปทุมธานี	15.804	15.247	15.022	15.358	±0.403
Fraction 5					
ชลบุรี	0.858	0.950	0.941	0.916	±0.051
สระบุรี	22.116	22.101	23.007	22.408	±0.519
ปทุมธานี	38.173	38.158	37.144	37.825	±0.590
Fraction 6					
ชลบุรี	5.578	5.142	5.443	5.388	±0.223
สระบุรี	0.670	0.678	0.648	0.665	±0.016
ปทุมธานี	5.116	5.480	5.471	5.356	±0.208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	31.040	31.003	31.034	31.026	±0.020
สระบุรี	39.675	39.541	39.712	39.643	±0.090
ปทุมธานี	34.186	33.977	34.201	34.121	±0.125
Fraction 2					
ชลบุรี	10.202	10.203	10.202	10.202	±0.001
สระบุรี	11.209	11.211	11.202	11.207	±0.005
ปทุมธานี	15.183	15.179	15.087	15.150	±0.054
Fraction 3					
ชลบุรี	5.669	5.746	5.652	5.689	±0.050
สระบุรี	7.421	6.422	6.419	6.754	±0.578
ปทุมธานี	7.415	7.412	7.418	7.415	±0.003
Fraction 4					
ชลบุรี	64.251	64.189	64.258	64.233	±0.038
สระบุรี	81.937	81.845	81.936	81.906	±0.053
ปทุมธานี	70.336	70.345	70.423	70.368	±0.048
Fraction 5					
ชลบุรี	3.107	3.101	3.106	3.105	±0.003
สระบุรี	29.417	29.415	29.419	29.417	±0.002
ปทุมธานี	51.084	51.088	51.075	51.082	±0.007
Fraction 6					
ชลบุรี	5.774	5.963	5.96	5.899	±0.108
สระบุรี	0.822	0.814	0.816	0.817	±0.004
ปทุมธานี	6.231	6.520	6.309	6.353	±0.150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์

Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	30.683	30.67	30.791	30.715	±0.066
สระบุรี	32.063	32.062	32.031	32.052	±0.018
ปทุมธานี	33.686	33.649	33.995	33.777	±0.190
Fraction 2					
ชลบุรี	5.252	5.252	5.252	5.252	±0.000
สระบุรี	-	5.104	5.104	5.104	±0.000
ปทุมธานี	4.318	4.379	4.421	4.373	±0.052
Fraction 3					
ชลบุรี	1.219	1.219	-	1.219	±0.000
สระบุรี	5.671	6.391	5.979	6.014	±0.361
ปทุมธานี	4.430	4.418	4.223	4.357	±0.116
Fraction 4					
ชลบุรี	53.654	53.045	53.106	53.268	±0.335
สระบุรี	68.826	68.764	68.723	68.771	±0.052
ปทุมธานี	70.351	71.086	72.231	71.223	±0.947
Fraction 5					
ชลบุรี	5.242	5.145	5.339	5.242	±0.097
สระบุรี	36.232	36.133	36.036	36.134	±0.098
ปทุมธานี	53.461	53.571	53.442	53.491	±0.070
Fraction 6					
ชลบุรี	22.119	22.727	22.158	22.335	±0.340
สระบุรี	22.786	21.651	23.754	22.730	±1.053
ปทุมธานี	30.334	30.286	30.164	30.261	±0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
ชลบุรี	33.213	33.176	33.195	33.195	±0.019
สระบุรี	33.052	33.023	32.997	33.024	±0.028
ปทุมธานี	31.296	31.284	31.294	31.291	±0.006
Fraction 2					
ชลบุรี	2.968	2.974	2.972	2.971	±0.003
สระบุรี	1.967	1.966	1.965	1.966	±0.001
ปทุมธานี	2.971	2.974	2.969	2.971	±0.003
Fraction 3					
ชลบุรี	0.479	0.445	0.452	0.459	±0.018
สระบุรี	3.662	3.597	3.491	3.583	±0.086
ปทุมธานี	2.427	2.432	2.435	2.431	±0.004
Fraction 4					
ชลบุรี	74.508	74.499	74.513	74.507	±0.007
สระบุรี	82.823	82.469	82.616	82.636	±0.178
ปทุมธานี	75.219	75.332	76.207	75.586	±0.541
Fraction 5					
ชลบุรี	12.719	12.863	12.844	12.809	±0.078
สระบุรี	50.113	51.312	49.845	50.423 .	±0.781
ปทุมธานี	66.633	66.589	66.641	66.621	±0.028
Fraction 6					
ชลบุรี	23.942	23.934	23.941	23.939	±0.004
สระบุรี	24.840	24.871	24.838	24.850	±0.019
ปทุมธานี	38.799	38.787	38.794	38.793	±0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	35.128	35.558	36.981	35.889	±0.970
สระบุรี	30.112	30.417	32.662	31.064	±1.393
ปทุมธานี	34.177	34.050	34.745	34.324	±0.370
Fraction 2					
ชลบุรี	1.333	1.587	1.460	1.460	±0.127
สระบุรี	1.284	1.257	1.240	1.260	±0.022
ปทุมธานี	2.401	2.007	2.044	2.151	±0.218
Fraction 3					
ชลบุรี	0.248	0.213	0.264	0.242	±0.026
สระบุรี	1.805	1.840	1.855	1.833	±0.026
ปทุมธานี	1.233	1.200	1.240	1.224	±0.021
Fraction 4					
ชลบุรี	80.223	80.121	79.985	80.110	±0.119
สระบุรี	76.352	76.215	76.409	76.325	±0.100
ปทุมธานี	86.122	86.751	86.003	86.292	±0.402
Fraction 5					
ชลบุรี	20.450	20.118	20.459	20.342	±0.194
สระบุรี	25.133	25.751	25.484	25.456	±0.310
ปทุมธานี	42.745	42.013	42.125	42.294	±0.394
Fraction 6					
ชลบุรี	30.281	30.114	30.522	30.306	±0.205
สระบุรี	28.145	28.155	28.100	28.133	±0.029
ปทุมธานี	20.150	20.147	20.106	20.134	±0.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของโครเมียมในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	32.004	32.520	32.517	32.347	±0.297
สระบุรี	35.012	35.874	35.184	35.357	±0.456
ปทุมธานี	33.110	33.415	33.168	33.231	±0.162
Fraction 2					
ชลบุรี	0.870	0.851	0.865	0.862	±0.010
สระบุรี	0.708	0.713	0.744	0.722	±0.020
ปทุมธานี	1.805	1.865	1.899	1.856	±0.048
Fraction 3					
ชลบุรี	0.114	0.154	0.121	0.130	±0.021
สระบุรี	1.066	1.024	1.073	1.054	±0.027
ปทุมธานี	0.612	0.643	0.245	0.500	±0.221
Fraction 4					
ชลบุรี	89.012	90.650	90.113	89.925	±0.835
สระบุรี	80.112	80.140	80.542	80.265	±0.241
ปทุมธานี	88.155	88.451	88.025	88.210	±0.218
Fraction 5					
ชลบุรี	30.129	30.080	31.101	30.437	±0.576
สระบุรี	32.711	32.746	32.775	32.744	±0.032
ปทุมธานี	45.446	45.485	45.485	45.472	±0.023
Fraction 6					
ชลบุรี	32.618	32.550	32.762	32.643	±0.108
สระบุรี	30.074	30.890	30.456	30.473	±0.408
ปทุมธานี	25.086	25.146	25.106	25.113	±0.031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ
ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ญ.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	89.488	89.523	90.160	89.724	±0.378
สระบุรี	36.444	36.601	-	36.523	±0.111
ปทุมธานี	22.327	22.329	22.329	22.328	±0.001
Fraction 2					
ชลบุรี	19.979	19.969	19.982	19.977	±0.007
สระบุรี	-	56.556	56.556	56.556	±0.000
ปทุมธานี	11.632	11.331	11.664	11.542	±0.184
Fraction 3					
ชลบุรี	-	13.297	13.309	13.303	±0.008
สระบุรี	6.003	6.023	6.050	6.025	±0.024
ปทุมธานี	1.664	1.663	1.659	1.662	±0.003
Fraction 4					
ชลบุรี	3.325	3.329	3.327	3.327	±0.002
สระบุรี	39.925	33.262	33.262	35.483	±3.847
ปทุมธานี	7.658	7.984	7.320	7.654	±0.332
Fraction 5					
ชลบุรี	1.597	-	1.597	1.597	±0.000
สระบุรี	-	2.129	2.129	2.129	±0.000
ปทุมธานี	6.852	6.390	6.583	6.608	±0.232
Fraction 6					
ชลบุรี	5.324	4.991	5.327	5.214	±0.193
สระบุรี	4.324	4.326	4.326	4.325	±0.001
ปทุมธานี	49.329	49.610	49.578	49.506	±0.154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	85.402	84.993	85.761	85.385	±0.384
สระบุรี	31.590	31.528	31.779	31.632	±0.131
ปทุมธานี	28.110	28.155	28.156	28.140	±0.026
Fraction 2					
ชลบุรี	16.966	16.001	16.725	16.564	±0.502
สระบุรี	61.526	61.418	61.428	61.457	±0.060
ปทุมธานี	10.452	10.026	10.243	10.240	0.213
Fraction 3					
ชลบุรี	12.480	12.452	12.408	12.447	±0.036
สระบุรี	6.872	6.890	6.859	6.874	±0.016
ปทุมธานี	1.850	1.806	1.819	1.825	±0.023
Fraction 4					
ชลบุรี	4.927	4.891	5.008	4.942	±0.060
สระบุรี	41.857	42.010	41.990	41.952	±0.083
ปทุมธานี	8.507	8.501	8.502	8.503	±0.003
Fraction 5					
ชลบุรี	2.070	2.084	2.050	2.068	±0.017
สระบุรี	4.748	4.769	4.778	4.765	±0.015
ปทุมธานี	8.916	8.956	8.962	8.945	±0.025
Fraction 6					
ชลบุรี	5.960	5.976	5.982	5.973	±0.011
สระบุรี	5.119	5.085	5.060	5.088	±0.030
ปทุมธานี	49.857	49.567	49.778	49.734	±0.150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	90.846	90.775	91.042	90.888	±0.138
สระบุรี	56.998	56.936	56.967	56.967	±0.031
ปทุมธานี	24.715	24.780	24.751	24.749	±0.033
Fraction 2					
ชลบุรี	15.588	15.640	15.610	15.613	±0.026
สระบุรี	57.776	57.352	57.760	57.629	±0.240
ปทุมธานี	9.864	9.922	9.908	9.898	±0.030
Fraction 3					
ชลบุรี	14.855	14.408	14.623	14.629	±0.224
สระบุรี	7.645	7.360	7.010	7.338	±0.318
ปทุมธานี	2.808	2.458	2.761	2.676	±0.190
Fraction 4					
ชลบุรี	4.690	4.701	4.682	4.691	±0.010
สระบุรี	40.855	40.753	40.995	40.868	±0.121
ปทุมธานี	8.766	8.950	9.652	9.123	±0.468
Fraction 5					
ชลบุรี	3.660	3.740	4.019	3.806	±0.188
สระบุรี	5.864	5.708	5.114	5.562	±0.396
ปทุมธานี	9.992	10.170	9.918	10.027	±0.130
Fraction 6					
ชลบุรี	6.712	6.780	7.118	6.870	±0.217
สระบุรี	7.882	6.904	7.141	7.309	±0.510
ปทุมธานี	51.785	52.339	52.481	52.202	±0.368

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Faction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	97.029	97.029	97.091	97.050	±0.036
สระบุรี	55.383	56.025	57.315	56.241	±0.984
ปทุมธานี	20.293	20.293	20.293	20.293	±0.000
Fraction 2					
ชลบุรี	20.322	20.258	20.256	20.279	±0.038
สระบุรี	31.702	31.992	31.696	31.797	±0.169
ปทุมธานี	3.226	3.238	3.293	3.252	±0.036
Fraction 3					
ชลบุรี	12.300	15.694	12.279	13.424	±1.966
สระบุรี	17.027	17.088	17.023	17.046	±0.036
ปทุมธานี	2.927	2.912	-	2.920	±0.011
Fraction 4					
ชลบุรี	5.578	5.578	5.578	5.578	±0.000
สระบุรี	31.999	31.992	32.057	32.016	±0.036
ปทุมธานี	43.982	43.853	43.949	43.928	±0.067
Fraction 5					
ชลบุรี	4.698	4.689	4.697	4.695	±0.005
สระบุรี	-	0.470	0.470	0.470	±0.000
ปทุมธานี	-	18.678	18.751	18.715	±0.052
Fraction 6					
ชลบุรี	8.298	7.051	8.758	8.036	±0.883
สระบุรี	7.881	7.881	8.935	8.232	±0.609
ปทุมธานี	50.176	51.515	50.447	50.713	±0.708

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	86.569	83.225	86.58	85.458	±1.934
สระบุรี	57.672	58.405	55.014	57.030	±1.784
ปทุมธานี	23.605	25.686	24.050	24.447	±1.096
Fraction 2					
ชลบุรี	2.763	2.863	2.001	2.542	±0.471
สระบุรี	8.279	8.045	7.996	8.107	±0.151
ปทุมธานี	2.547	2.551	2.548	2.549	±0.002
Fraction 3					
ชลบุรี	24.168	24.113	24.147	24.143	±0.028
สระบุรี	15.834	15.658	15.423	15.638	±0.206
ปทุมธานี	2.787	2.471	2.675	2.644	±0.160
Fraction 4					
ชลบุรี	5.516	5.462	5.543	5.507	±0.041
สระบุรี	35.496	36.772	35.121	35.796	±0.866
ปทุมธานี	50.794	50.808	50.716	50.773	±0.050
Fraction 5					
ชลบุรี	10.310	10.554	10.238	10.367	±0.166
สระบุรี	15.164	14.759	15.055	14.993	±0.210
ปทุมธานี	24.875	24.058	24.151	24.361	±0.447
Fraction 6					
ชลบุรี	12.743	12.780	12.736	12.753	±0.024
สระบุรี	8.297	8.145	8.754	8.399	±0.317
ปทุมธานี	55.501	54.785	55.153	55.146	±0.358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	80.149	81.526	80.885	80.853	±0.689
สระบุรี	67.450	68.996	68.703	68.383	±0.821
ปทุมธานี	50.632	49.115	49.562	49.770	±0.780
Fraction 2					
ชลบุรี	1.254	1.118	1.145	1.172	±0.072
สระบุรี	3.569	3.447	3.412	3.476	±0.082
ปทุมธานี	1.492	1.425	1.387	1.435	±0.053
Fraction 3					
ชลบุรี	30.506	33.554	30.106	31.389	±1.886
สระบุรี	20.222	20.803	22.158	21.061	±0.993
ปทุมธานี	4.440	4.626	4.827	4.631	±0.194
Fraction 4					
ชลบุรี	6.917	6.893	6.882	6.897	±0.018
สระบุรี	50.074	50.085	50.085	50.081	±0.006
ปทุมธานี	53.223	53.152	53.113	53.163	±0.056
Fraction 5					
ชลบุรี	17.736	16.850	17.102	17.229	±0.457
สระบุรี	27.854	28.006	28.143	28.001	±0.145
ปทุมธานี	34.060	34.051	33.900	34.004	±0.090
Fraction 6					
ชลบุรี	15.458	15.250	15.491	15.400	±0.131
สระบุรี	13.021	12.993	13.044	13.019	±0.026
ปทุมธานี	56.039	56.75	56.823	56.537	±0.433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของตะกั่วในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	80.856	80.651	80.599	80.702	±0.136
สระบุรี	59.874	60.114	60.576	60.188	±0.357
ปทุมธานี	39.582	39.754	39.535	39.624	±0.115
Fraction 2					
ชลบุรี	0.845	0.799	0.763	0.802	±0.041
สระบุรี	1.188	1.205	1.203	1.199	±0.009
ปทุมธานี	0.645	0.647	0.640	0.644	±0.004
Fraction 3					
ชลบุรี	40.045	40.030	40.027	40.034	±0.010
สระบุรี	30.106	30.45	29.884	30.147	±0.285
ปทุมธานี	8.232	8.256	8.233	8.240	±0.014
Fraction 4					
ชลบุรี	22.754	22.766	22.797	22.772	±0.022
สระบุรี	51.582	51.85	51.111	51.514	±0.374
ปทุมธานี	63.048	63.884	63.120	63.351	±0.463
Fraction 5					
ชลบุรี	26.051	26.339	26.016	26.135	±0.177
สระบุรี	39.602	39.624	39.661	39.629	±0.030
ปทุมธานี	41.145	41.044	40.846	41.012	±0.152
Fraction 6					
ชลบุรี	24.334	23.946	24.180	24.153	±0.195
สระบุรี	16.775	15.452	15.200	15.809	±0.846
ปทุมธานี	45.902	46.117	46.533	46.184	±0.321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฎ
ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์

ตารางที่ ฎ.1 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	126.386	127.832	129.308	127.842	±1.461
สระบุรี	157.695	158.406	158.065	158.055	±0.356
ปทุมธานี	167.179	167.147	167.196	167.174	±0.025
Fraction 2					
ชลบุรี	1.899	1.901	1.867	1.889	±0.019
สระบุรี	6.033	6.065	5.965	6.021	±0.051
ปทุมธานี	24.570	23.937	24.673	24.393	±0.399
Fraction 3					
ชลบุรี	1.289	1.268	1.267	1.275	±0.012
สระบุรี	3.080	3.140	3.072	3.097	±0.037
ปทุมธานี	5.700	5.666	5.734	5.700	±0.034
Fraction 4					
ชลบุรี	5.467	5.469	5.467	5.468	±0.001
สระบุรี	1.267	1.266	1.263	1.265	±0.002
ปทุมธานี	0.260	0.254	0.264	0.259	±0.005
Fraction 5					
ชลบุรี	0.811	0.811	0.811	0.811	±0.000
สระบุรี	0.925	0.922	0.925	0.924	±0.002
ปทุมธานี	1.067	1.058	1.065	1.063	±0.005
Fraction 6					
ชลบุรี	0.127	0.130	0.127	0.128	±0.002
สระบุรี	1.267	1.266	1.266	1.266	±0.001
ปทุมธานี	0.678	0.693	0.770	0.714	±0.049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.2 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 2 วัน Fraction 1 - 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	116.386	117.832	118.308	117.509	±1.001
สระบุรี	140.258	141.956	142.124	141.446	±1.032
ปทุมธานี	159.965	158.784	158.54	159.096	±0.762
Fraction 2					
ชลบุรี	1.847	1.845	1.845	1.846	±0.001
สระบุรี	3.987	3.924	3.987	3.966	±0.036
ปทุมธานี	20.657	20.645	21.674	20.992	±0.591
Fraction 3					
ชลบุรี	1.784	1.788	1.788	1.787	±0.002
สระบุรี	5.804	5.714	5.677	5.732	±0.065
ปทุมธานี	8.971	8.795	8.854	8.873	±0.090
Fraction 4					
ชลบุรี	9.448	9.641	9.365	9.485	±0.142
สระบุรี	2.460	2.471	2.467	2.466	±0.006
ปทุมธานี	2.250	2.245	2.245	2.247	±0.003
Fraction 5					
ชลบุรี	0.664	0.685	0.684	0.678	±0.012
สระบุรี	0.925	0.912	0.914	0.917	±0.007
ปทุมธานี	1.100	0.998	0.994	1.031	±0.060
Fraction 6					
ชลบุรี	0.427	0.419	0.457	0.434	±0.020
สระบุรี	1.357	1.346	1.346	1.350	±0.006
ปทุมธานี	0.937	0.963	0.972	0.957	±0.018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.3 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 วัน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	113.010	115.960	114.477	114.482	±1.475
สระบุรี	128.248	128.248	128.366	128.287	±0.068
ปทุมธานี	131.783	130.783	132.663	131.743	±0.941
Fraction 2					
ชลบุรี	1.450	1.456	1.456	1.454	±0.003
สระบุรี	0.678	0.670	0.685	0.678	±0.008
ปทุมธานี	14.732	14.655	14.730	14.706	±0.044
Fraction 3					
ชลบุรี	4.333	4.352	4.330	4.338	±0.012
สระบุรี	4.200	4.210	4.214	4.208	±0.007
ปทุมธานี	9.620	9.620	9.617	9.619	±0.002
Fraction 4					
ชลบุรี	6.447	6.445	6.448	6.447	±0.002
สระบุรี	2.533	2.560	2.546	2.546	±0.014
ปทุมธานี	18.669	18.623	18.663	18.652	±0.025
Fraction 5					
ชลบุรี	1.164	1.168	1.164	1.165	±0.002
สระบุรี	8.951	8.956	8.951	8.953	±0.003
ปทุมธานี	8.942	8.887	8.921	8.917	±0.028
Fraction 6					
ชลบุรี	0.655	0.641	0.653	0.650	±0.008
สระบุรี	1.817	1.821	1.817	1.818	±0.002
ปทุมธานี	0.889	0.891	0.887	0.889	±0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.4 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	5.546	5.546	5.544	5.545	±0.001
สระบุรี	117.52	116.055	117.513	117.029	±0.844
ปทุมธานี	126.116	126.120	126.118	126.118	±0.002
Fraction 2					
ชลบุรี	0.440	0.438	0.446	0.441	±0.004
สระบุรี	6.388	6.384	6.386	6.386	±0.002
ปทุมธานี	-	21.805	21.866	21.836	±0.043
Fraction 3					
ชลบุรี	-	4.232	4.232	4.232	±0.000
สระบุรี	2.772	-	2.772	2.772	±0.000
ปทุมธานี	18.950	18.943	18.948	18.947	±0.004
Fraction 4					
ชลบุรี	2.918	2.920	2.920	2.919	±0.001
สระบุรี	0.292	0.294	0.292	0.293	±0.001
ปทุมธานี	11.639	11.624	11.623	11.629	±0.009
Fraction 5					
ชลบุรี	0.470	0.470	0.470	0.470	±0.000
สระบุรี	11.207	11.204	11.204	11.205	±0.002
ปทุมธานี	6.159	6.165	6.136	6.153	±0.015
Fraction 6					
ชลบุรี	3.561	3.521	3.539	3.540	±0.020
สระบุรี	8.767	8.844	8.820	8.810	±0.039
ปทุมธานี	10.809	10.302	10.640	6.153	±0.258

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.5 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 1 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	2.150	2.244	2.091	2.162	±0.077
สระบุรี	165.207	155.155	163.296	161.219	±5.338
ปทุมธานี	146.538	134.123	146.23	142.297	±7.081
Fraction 2					
ชลบุรี	4.202	4.320	4.424	4.315	±0.111
สระบุรี	0.321	0.404	0.350	0.358	±0.042
ปทุมธานี	18.346	18.473	18.220	18.346	±0.127
Fraction 3					
ชลบุรี	4.897	4.996	4.870	4.921	±0.066
สระบุรี	2.129	2.321	2.540	2.330	±0.206
ปทุมธานี	7.772	7.950	8.021	7.914	±0.128
Fraction 4					
ชลบุรี	0.685	0.874	0.801	0.787	±0.095
สระบุรี	0.423	0.411	0.480	0.438	±0.037
ปทุมธานี	10.597	10.368	10.674	10.546	±0.159
Fraction 5					
ชลบุรี	3.368	3.142	3.222	3.244	±0.115
สระบุรี	6.855	6.796	6.831	6.827	±0.030
ปทุมธานี	2.301	2.650	2.582	2.511	±0.185
Fraction 6					
ชลบุรี	0.682	0.670	0.720	0.691	±0.026
สระบุรี	2.137	2.006	2.187	2.110	±0.093
ปทุมธานี	7.104	7.314	7.579	7.332	±0.238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.6 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 3 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	2.05	1.944	2.091	2.028	±0.076
สระบุรี	165.207	155.155	163.296	161.219	±5.338
ปทุมธานี	126.538	134.123	136.23	132.297	±5.097
Fraction 2					
ชลบุรี	2.150	2.123	2.114	2.129	±0.019
สระบุรี	0.302	0.294	0.302	0.299	±0.005
ปทุมธานี	12.741	11.529	11.885	12.052	±0.623
Fraction 3					
ชลบุรี	2.633	2.701	2.656	2.663	±0.035
สระบุรี	1.032	1.136	0.935	1.034	±0.101
ปทุมธานี	14.987	15.663	15.758	15.469	±0.420
Fraction 4					
ชลบุรี	4.583	4.286	5.690	4.853	±0.740
สระบุรี	1.984	1.536	1.487	1.669	±0.274
ปทุมธานี	19.267	19.636	20.147	19.683	±0.442
Fraction 5					
ชลบุรี	6.587	6.221	6.401	6.403	±0.183
สระบุรี	8.551	9.012	8.632	8.732	±0.246
ปทุมธานี	3.142	4.825	3.774	3.914	±0.850
Fraction 6					
ชลบุรี	0.745	0.740	0.800	0.762	±0.033
สระบุรี	3.120	3.401	3.325	3.282	±0.145
ปทุมธานี	6.669	6.450	6.652	6.590	±0.122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.7 ผลการสกัดแบบเป็นลำดับขั้นของนิกเกิลในดินสังเคราะห์เป็นเวลา 6 เดือน Fraction 1 – 6

ชุดของดิน	ความเข้มข้น (mg/kg)				SD.
	1	2	3	Avg.	
Fraction 1					
ชลบุรี	2.711	2.744	2.752	2.736	±0.022
สระบุรี	168.447	167.441	165.321	167.070	±1.596
ปทุมธานี	136.538	137.123	136.23	136.630	±0.454
Fraction 2					
ชลบุรี	2.098	2.097	2.079	2.091	±0.011
สระบุรี	0.447	0.454	0.487	0.463	±0.021
ปทุมธานี	11.021	10.852	10.997	10.957	±0.091
Fraction 3					
ชลบุรี	2.404	2.405	2.405	2.405	±0.001
สระบุรี	0.994	0.997	1.004	0.998	±0.005
ปทุมธานี	14.687	14.654	14.758	14.700	±0.053
Fraction 4					
ชลบุรี	6.325	6.291	6.328	6.315	±0.021
สระบุรี	1.885	1.746	1.862	1.831	±0.075
ปทุมธานี	20.600	20.589	20.601	20.597	±0.007
Fraction 5					
ชลบุรี	6.004	5.114	5.254	5.457	±0.479
สระบุรี	7.017	7.015	7.019	7.017	±0.002
ปทุมธานี	4.741	4.985	4.816	4.847	±0.125
Fraction 6					
ชลบุรี	0.650	0.655	0.652	0.652	±0.003
สระบุรี	3.004	2.974	2.992	2.990	±0.015
ปทุมธานี	7.123	7.154	7.098	7.125	±0.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้