

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยเฟอร์ริกและเฟอร์รัสไอออน

9/5



T107846

นางสาวเบญจวรรณ ชาติชนบดี
นางสาวสินีนากุ นอกกระโทก

รพ.
27887
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

T07846

14 พ.ค. 2553

b. 122 11667
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stabilization Chromium in Contaminated Soil by Ferric and Ferrous ion



**A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of
Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อน โครเมียมด้วยเฟอร์ริกและเฟอร์รัสไอออน
นักศึกษา นางสาวเบญจวรรณ ชาติธนบดี
 นางสาวสินีนากู นอกกระโทก
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์	
กรรมการ	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์	
กรรมการ	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
กรรมการ	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การปรับเสถียร โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยเฟอร์ริกและเฟอร์รัสไอออน	
นักศึกษา	นางสาวเบญจวรรณ	ธาดานบดี
	นางสาวสินีนานา	นอกกระโทก
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.พิสมัย	ชัยรัตน์อุทัย

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออน ที่ใช้เพื่อปรับเสถียร โครเมียมที่ปนเปื้อนใน ดิน และรูปแบบต่างๆของ โครเมียมที่พบในดิน ทั้งก่อนและหลังปรับเสถียร ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้เป็ดินที่เก็บรวบรวมมาจากดินตัวอย่างที่เหลือจากงานวิจัยของพรสุดาและคณะ(2545) ซึ่งทำการศึกษาฟื้นฟูดินปนเปื้อน โครเมียมโดยใช้พืชใบเลี้ยงคู่ โดยดินดังกล่าวเป็นดินชุดสมุทรปราการที่ผ่านการเติม โปแทสเซียมไดโครเมต ที่มีระดับความเข้มข้นของโครเมียม 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่างพบว่า ดินตัวอย่างที่ใช้เป็นดินเหนียว มีค่าพีเอช 3.10 ± 0.00 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 9.70 ± 0.05 มิลลิสมมูล/100กรัม ดินแห้ง ค่าความชื้น $4.80 \pm 0.10\%$ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ $2.96 \pm 0.03\%$ ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดเท่ากับ 309.02 ± 4.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดินแห้ง ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในดินเท่ากับ 201.42 ± 19.36 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะทั้งหมดเท่ากับ 79.61 ± 1.08 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง และความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะเท่ากับ 5.30 ± 0.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเฟอร์รัสไอออนและเฟอร์ริกไอออนที่ใช้ในการปรับเสถียรพบว่า เฟอร์ริกซัลเฟตมีแนวโน้มในการปรับเสถียรดีกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต และหลังจากการปรับเสถียรปริมาณของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่พบลดลง ขณะที่ปริมาณไตรวาเลนซ์โครเมียมมีสูงขึ้น สำหรับผลศึกษาปริมาณที่ใช้ในการปรับเสถียรพบว่า สัดส่วน โมลของเหล็กที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียรสำหรับเฟอร์ริกซัลเฟตคือ 1:1 มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียร $82.22 \pm 0.49\%$ และสำหรับเฟอร์รัสซัลเฟตคือ 1:2 มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียร $64.07 \pm 0.84\%$

คำสำคัญ : การปรับเสถียร โครเมียม เฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออน เฮกซะวาเลนซ์โครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Stabilization of Chromium in Contaminated Soil Using Ferric and Ferrous ions	
Name	Benjawan	Thadatanabodee
	Sineenad	Nokkratoke
Department	Chemistry	
Program	Environmental Resource Chemistry	
Academic Year	2006	
Special Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Usarat	Thawornchaiyasit
Special Project co-advisor	Asst. Prof. Pitsamai	Chairat-utai

Abstract

This special project studied the efficiency of ferrous ion and ferric ion to stabilize chromium in contaminated soil and various forms of chromium in soil before and after stabilization process. Soil using in this study was collected from soil sample which leave from Pornsuda thesis that has been remediate chromium in contaminated soil with Dicotyledon plants. The soil is spiked with Potassium dichromate at chromium concentration of 300 mg/kg. From physical and chemical characterization of soil sample, it was found that soil using in this study was clay texture with pH 3.10 ± 0.00 , Cation Exchange Capacity of 9.70 ± 0.05 meq/100g dry soil, moisture content 4.80 ± 0.10 , organic matter 2.96 ± 0.03 , total chromium concentration of 309.02 ± 4.48 mg/kg dry soil, leachable total chromium concentration of 79.61 ± 1.08 mg/kg dry soil, leachable hexavalent chromium concentration of 5.30 ± 0.35 mg/kg dry soil and hexavalent chromium concentration of 201.42 ± 19.36 mg/kg dry soil. Comparison among ferrous ion and ferric ion, it was found that ferric ion have good efficiency to stabilized than ferrous ion. After stabilization, hexavalent chromium concentration found in contaminated soil showed a decreasing trend but trivalent chromium concentration showed a increasing trend. From the study on the effect of quantity of ferrous ion and ferric ion on chromium stabilization efficiency, the result showed that an optimum ratio of ferric ion was 1:1 and 1:2 for ferrous ion.

Keywords: Stabilization, Chromium, Ferrous ion and ferric ion, hexavalent chromium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีด้วยคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัวและเพื่อนๆ เป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

เบญจวรรณ ชาติารนบดี
สินีนานู นอกกระโทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 สมบัติของดิน	3
2.1.1 สมบัติทางกายภาพ	3
2.1.2 สมบัติทางเคมี	5
2.2 ภาวะมลพิษของดิน	7
2.3 วิธีการบำบัดฟื้นฟูดิน	12
2.4 การปรับเสถียร	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	18
3.1.1 สารเคมี	18
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.2 การเตรียมตัวอย่างดิน	19
3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง	20
3.4 การศึกษาปริมาณเฟอร์ริกและเฟอร์รัสไอออนที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	21
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	21
4.2 ผลของปริมาณเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออนที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	32
ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	45
ภาคผนวก ง	62
ภาคผนวก จ	63

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับ ความจุความชื้นปกติ	5
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง	20
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	21
ตารางที่ ข-1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ โครเมียม	44
ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินตัวอย่างก่อนปรับเสถียร	45
ตารางที่ ค-2 พีเอชของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต	45
ตารางที่ ค-3 พีเอชของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	46
ตารางที่ ค-4 ความเป็นกรด	46
ตารางที่ ค-5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ	47
ตารางที่ ค-6 ความชื้นของดินตัวอย่างก่อนปรับเสถียร	47
ตารางที่ ค-7 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต	48
ตารางที่ ค-8 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	49
ตารางที่ ค-9 การกระจายตัวของอนุภาค	50
ตารางที่ ค-10 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	50
ตารางที่ ค-11 ความเข้มข้น โครเมียมทั้งหมดก่อนปรับเสถียร	51
ตารางที่ ค-12 ความเข้มข้นของ โครเมียมทั้งหมดหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต	52
ตารางที่ ค-13 ความเข้มข้นของ โครเมียมทั้งหมดหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	53
ตารางที่ ค-14 ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมก่อนปรับเสถียร	53
ตารางที่ ค-15 ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต	54
ตารางที่ ค-16 ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	55
ตารางที่ ค-17 ความเข้มข้นของ โครเมียมทั้งหมดชะละลายก่อนปรับเสถียร	56
ตารางที่ ค-18 ความเข้มข้นของ โครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต	57
ตารางที่ ค-19 ความเข้มข้นของ โครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	58
ตารางที่ ค-20 ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลายก่อนปรับเสถียร	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ ค-21 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย หลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	60
ตารางที่ ค-22 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย หลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต	61
ตารางที่ จ-1 ข้อมูลที่ได้ทั้งก่อนและหลังปรับเสถียร	63
ตารางที่ จ-2 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม และไตรวาเลนซ์โครเมียม	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การดูดซับและการดูดซึมของดิน	4
รูปที่ 2.2 ความเป็นกรด-ด่างของดิน	6
รูปที่ 2.3 ละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และ ค่าพีเอช	9
รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของดินตัวอย่างที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	23
รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	24
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	25
รูปที่ 4.4 ค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมของดินตัวอย่างที่ผ่าน การปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	27
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	28
รูปที่ 4.6 ค่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของไตรวาเลนซ์โครเมียมของดินตัวอย่างที่ผ่าน การปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก	29
รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหามลพิษทางดินจากโลหะหนักก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะโลหะหนักประเภทโครเมียมที่เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โครเมียมจะเกิดการเคลื่อนที่ เปลี่ยนรูปและบางสภาวะจะเป็นพิษอย่างเฉียบพลันในสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศได้

รูปของไอออนของโครเมียมที่พบมากในสิ่งแวดล้อม คือโครเมียมรูป +3 (Trivalent Chromium) และ +6 (Hexavalent Chromium) ซึ่งจะมีความเป็นพิษมากและสามารถเคลื่อนที่ได้ในดิน จึงอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้ โลหะหนักในดินที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ คือรูปที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ได้แก่ รูปที่ละลายได้ในดิน (Soil Solution) และรูปที่ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ของดิน (Colloids Soil) ซึ่งลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของดินที่มีผลต่อการละลายน้ำได้ของโครเมียม ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น การดูดซับโครเมียมขึ้นอยู่กับปริมาณอนุภาคดินเหนียว (Clay minerals หรือ Silicate clays) และอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ในดิน ดังนั้นลักษณะทางเคมีและกายภาพของดินเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักในดิน นอกจากนี้น้ำทิ้งที่มีโครเมียมปนเปื้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ความเป็นพิษที่สำคัญคือทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดของปลาสูงขึ้นและปริมาณเม็ดเลือดลดลง ขณะที่โครเมียมที่อยู่ในรูปละอองไอ (fume) ในอากาศจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์โดยเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง

จากสภาพปัญหาดังกล่าวจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจการศึกษาการปนเปื้อนของโครเมียมในดินและการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนโครเมียม เนื่องจากการที่ดินได้รับสารพิษในปริมาณมากเกินไป และมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องจะทำให้ดินเป็นตัวการสำคัญในการแพร่กระจายสารพิษลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน พืช สัตว์และมนุษย์ ตามห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ ในลักษณะทวีความเป็นพิษ (Biomagnification) ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในดินซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการวางแผนพัฒนาต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน
2. ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของเฟอร์ริสและเฟอร์ริกไอออนต่อการปรับเสถียร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ศึกษา ได้แก่ พีเอช ความเป็นกรด ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ความชื้น ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณโครเมียมทั้งหมด และปริมาณโครเมียมที่ชะละลาย
2. ศึกษาผลของปริมาณเฟอร์ริสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร โดยแปรค่าสัดส่วน โมลเฟอร์ริสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตต่อ โมลโครเมียมเท่ากับ 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์หาปริมาณการชะละลายของโครเมียมในดินหลังปรับเสถียรด้วยวิธี WET (Waste Extraction Test) แล้วนำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อบำบัดพื้นพูนดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สมบัติของดิน (ศุภมาศ, 2538)

2.1.1 สมบัติทางกายภาพ

1. พื้นที่ผิวจำเพาะ

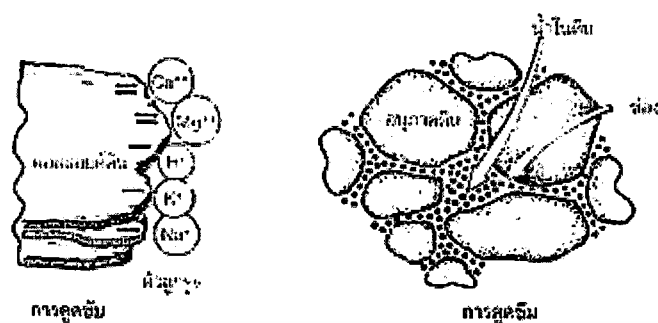
เนื้อดินบอกถึงปริมาณคอลลอยด์อินทรีย์อย่างหยาบได้ ทั้งนี้เพราะอนุภาคดินเหนียวมีขนาดเล็กมาก อยู่ในสภาพคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักปริมาณมาก ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีพื้นที่ผิวสูงขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวให้สูงขึ้นในดินเนื้อหยาบก็สามารถทำได้ โดยการเติมคอลลอยด์อินทรีย์ลงไป ซึ่งได้แก่ ฮิวมัส การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน เมื่อสลายตัวก็จะให้ฮิวมัสแก่ดิน

2. ความพรุนของดิน

เนื้อดินหยาบจะมีช่อง (pore) ขนาดใหญ่อยู่มาก แต่จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เมื่อดินแห้งลงจะอุ้มน้ำได้น้อยทำให้ก๊าซถ่ายเทได้ดี ส่วนในดินที่มีปริมาณซิลท์สูง เมื่อฝนตกหรือระหว่างรดน้ำจะสูญเสียโครงสร้างดินได้ง่ายซิลท์จะไหลลงอุดตันช่องทำให้ช่องผิวหน้าดินปิด ดังนั้นแม้การรดน้ำเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ช่องบนหน้าผิวดินปิด ทำให้น้ำและก๊าซถ่ายเทได้น้อยลง โดยทั่วไปแล้วช่องขนาดเล็ก (micropore) ในดิน ก็ยังมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน คือ เนื้อดินละเอียดจะมีช่องขนาดเล็กมากกว่าดินเนื้อหยาบ ซึ่งช่องขนาดเล็กจะสามารถดูดซึมน้ำเอาไว้ได้ ทำให้ดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (available water capacity-AWE) มากกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความสำคัญต่อพืช และจุลินทรีย์ในดินเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ และต้องการให้ระบบดิน-พืช เป็นตัวการกำจัดสารมลพิษและวัสดุเหลือใช้ดังกล่าว

3. การดูดซับ (adsorption) และการดูดซึม (absorption)

การดูดซึมที่สำคัญในดินก็คือ การดูดซึมน้ำ น้ำจะถูกดินดูดไว้ในช่องระหว่างอนุภาคดินช่องในดินไม่อาจดูดซึมน้ำไว้ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะแรงดูดซึมต้องเอาชนะอิทธิพลแรงดึงดูดของโลกให้ได้ แรงดูดซึมนี้อาศัยความสัมพันธ์โดยกลับกับขนาดของช่อง ยิ่งช่องมีขนาดเล็กแรงดูดซึมนี้อาศัยมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ดูดซึมไว้จึงมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดิน ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวในปริมาณมาก (เนื้อดินละเอียด) จะดูดซึมน้ำได้มาก ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่สูงก็จะอุ้มน้ำไว้ได้มาก แสดงดังรูปที่ 2.1 (ศุภมาศ, 2540)



รูปที่ 2.1 แสดงการดูดซับ และดูดซึม

4. อินทรีย์วัตถุในดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับเนื้อดิน กล่าวคือ ดินเนื้อละเอียดจะมีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ ความสัมพันธ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากดินเนื้อละเอียดอุ้มน้ำและดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก พืชที่ขึ้นในดินเนื้อละเอียดจึงมีปริมาณมากกว่าที่ขึ้นในดินเนื้อหยาบ เมื่อซากพืชเหล่านี้ทับถมในดิน จึงทำให้ดินเนื้อละเอียดมีการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในอัตราที่มากกว่า ขณะที่ดินเนื้อหยาบมีการระเหยอากาศที่ดีกว่าดินเนื้อละเอียด ทำให้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุสูง จึงเหลือปริมาณอินทรีย์ภูตุน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด

5. สภาพความชื้นดินและการเคลื่อนย้ายของน้ำ

ความแตกต่างในด้านความสามารถอุ้มน้ำ ของดินเป็นผลมาจากความแตกต่างของเนื้อดิน ดังนั้นเนื้อดินจึงเป็นปัจจัยควบคุมระดับการชะละลายของดิน และการแทรกซึมลง ของน้ำจากบนดินเข้าสู่ผิวดิน ในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินที่สภาพความจุที่ความชื้นปกติ ในประเภทเนื้อดินต่าง ๆ ซึ่งทั้งอัตราการแทรกซึมลงของน้ำ และความสามารถอุ้มน้ำของดินสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และการปรับปรุงโครงสร้างดินจึงเป็นการลดอัตราการแทรกซึมลง และเป็นการลดความจุในการอุ้มน้ำของดิน

ตารางที่ 2.1 อัตราการแทรกซึมลงและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่ระดับความจุความชื้นปกติ

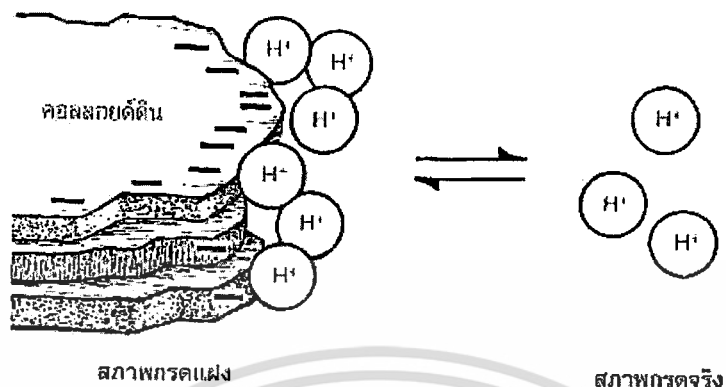
เนื้อดิน	การแทรกซึมลง (นิ้ว/ชม.)		
	ดินพีชปกคลุม	ดินว่าง	
ร่วนเหนียว	0.2	0.1	4.8
ร่วนปนซิลต์	0.6	0.3	4.2
ร่วน	1.0	0.5	3.8
ร่วนปนทราย	2.0	1.0	1.2

ที่มา : ศุภมาศ ; 2540

2.1.2 สมบัติทางเคมี

1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน คล้ายคลึงกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ คือ การวัดพีเอชของดิน แต่แตกต่างกันที่ดินนั้นมีความเป็นกรดอยู่ 2 ชนิดคือ กรดจริง และกรดแฝง ดินมีทั้งประจุบวกและลบแต่มีค่าประจุลบมากกว่า ความมีประจุนี้ นับว่าเป็นประโยชน์มาก เพราะธาตุต่างๆในสารละลายดินรวมทั้งธาตุอาหารของพืชในรูปที่พืชดูดกินได้จะต้องอยู่ในรูปประจุเช่นกัน ธาตุอาหารพืชโดยส่วนใหญ่มีประจุเป็นบวก ดังนั้นจึงถูกดินดูดซับไว้ไม่ไหลตามน้ำลงไปจนเลยระดับความลึกของราก ทำให้ธาตุอาหารที่ถูกดินดูดซับเอาไว้นี้ย่อมมีโอกาสให้พืชดึงดูดเอาไปใช้ได้ ดังรูปที่ 2.2 (ศุภมาศ, 2540)



รูปที่ 2.2 ความเป็นกรด-ด่างของดิน

ไฮโดรเจนไอออนนั้นมีประจุบวก ดังนั้นส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดินดูดซับ จึงเรียกว่าสภาพกรดแฝง (potential acidity) ส่วนของกรดที่มีบทบาทต่อความสามารถในการละลายได้ของธาตุและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชนี้ คือส่วนสภาพกรดจริง ดังนั้นดินเหนียวและดินทรายที่มีค่าพีเอชเท่ากัน จะมีความต้องการปุ๋ยในการยกระดับพีเอชไม่เท่ากันได้ เพราะดินทั้งสองชนิดมีค่าเป็นกรดแฝงไม่เท่ากัน เนื่องจากดินเหนียวมีค่าประจุลบมากกว่าจึงมีสภาพกรดแฝงมากกว่า ส่วนของไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับจะมีปริมาณมากกว่าส่วนที่ไม่ถูกดูดซับ และจะปลดปล่อยจากส่วนที่ถูกดูดซับออกมาเป็นบางส่วน ลักษณะคล้ายการแตกตัวของกรดอ่อน

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (cation exchange capacity-CEC)

การที่ดินมีประจุไฟฟ้าเป็นผลเนื่องจากอนุภาคดินเหนียวและอินทรีย์วัตถุในดิน โดยส่วนใหญ่อนุภาคของดินเหนียวมีรูปร่างแบนบางทำให้มีโอกาที่อะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่รอบนอกจะหลุดออกไปได้มากขึ้น เมื่อสารประกอบใดเกิดมีการสูญหายของอะตอมก็จะมีประจุทันทีประจุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นประจุลบ ดินมีความสามารถในการดึงดูดแคตไอออนไว้ไม่เท่ากัน แคตไอออนที่ถูกดูดซับ(adsorbed cation) กับคอลลอยด์ดินจะสามารถเปลี่ยนแปลงกันได้กับแคตไอออนในสารละลายดิน จึงมีชื่อเรียกว่า แคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable cation)

2.2 ภาวะมลพิษของดิน

ภาวะมลพิษของดิน (soil pollution) หมายถึง การปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (soil pollutant) ที่มากเกินไปจนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ดังนั้นภาวะมลพิษของดินจะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อมีสารมลพิษในดิน และดินจะเสียได้ ก็ต่อเมื่ออัตราการเพิ่มสารมลพิษลงในดินมีมากกว่าสลายตัวของสารมลพิษนั้น จนเกิดการสะสมมลพิษมากขึ้นเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม (นิตยา, 2544) สารที่ปนเปื้อนในดินมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ สารอินทรีย์ระเหยได้ สารอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำ กัมมันตภาพรังสี และโลหะหนัก ซึ่งสารเหล่านี้สามารถแพร่กระจายไปสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศได้

ธาตุโลหะหนัก (heavy metal) หมายถึง โลหะธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป โดยไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไลน์ (alkaline) และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ท (alkaline earth)

รูปของธาตุโลหะในดิน

ธาตุโลหะที่ใส่ลงไปในดินจะอยู่ในรูปหนึ่งหรือหลายรูปดังต่อไปนี้

1. รูปที่ละลายในสารละลายดิน (soluble form)
2. รูปที่ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน (adsorbed form)
3. รูปที่ตกตะกอนหรือตกตะกอนกับสารอื่น (precipitated form)
4. รูปที่ถูกตรึงและจับกับสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน (fixed, occluded form)
5. รูปที่ถูกคลุกเคล้าเข้าสู่ระบบชีวภาพเป็นสารอินทรีย์ (organic form)

ธาตุโลหะในรูปที่หนึ่งและสองถือเป็นรูปที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในดิน สามารถถูกพืชนำไปใช้ได้ ส่วนสามรูปหลังเป็นรูปที่หยุดเคลื่อนที่ (immobile) แต่เนื่องจากกระบวนการในดินมีลักษณะเป็นพลวัต (dynamic) จึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปต่าง ๆ ได้อยู่ตลอดเวลา

2.2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นสารที่สามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ได้เป็นสารใหม่ที่เสถียรกว่าเดิม สะสมในวงจรชีวิตโดยขบวนการทางชีวภาพถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย โลหะเหล่านี้จะแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ ผักและผลไม้ จากนั้นจะเข้าสู่มนุษย์ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้มีทั้งที่จำเป็นต่อร่างกาย และไม่จำเป็นต่อร่างกาย ทำให้เกิดพิษ โลหะหนักที่จำเป็นต่อร่างกายได้แก่ โคโรเนียม แมงกานีส เหล็ก โครบอลท์ ทองแดง สังกะสี โมลิบดีนัม ดีบุก นิกเกิล และวานาเดียม โลหะหนักที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายและไม่ทำให้เกิดพิษได้แก่ รูบิเดียม อลูมิเนียม ดิเตเนียม โบรอน และเซอร์โคเนียม ส่วนโลหะหนักที่มีพิษต่อร่างกายได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท พลวง สารหนู แบเรียม และเบอริลเรียม โลหะหนัก ที่เป็นพิษอาจจะก่อให้เกิดอันตรายทั้งพิษเฉียบพลันและเรื้อรัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่ได้รับสาร อย่างไรก็ตาม โลหะหนักที่ไม่ก่อให้เกิดพิษและโลหะหนักที่

เอาจจำเป็นต่อร่างกายอาจจะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้ หากได้รับในปริมาณที่สูงเกินความต้องการการคำนวณว่าปริมาณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครเมียม

1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

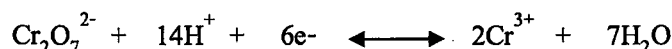
โครเมียม เป็นธาตุในหมู่ (VII) B เลขอะตอม 24 มีน้ำหนักอะตอม 51.996 จุดหลอมเหลว 1,900°C จุดเดือด 2,642°C มีวาเลนซ์ +2, +3 และ +6 ที่พบมาก เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome iron (FeOCr_2O_3) มีอยู่ประมาณ 0.037% ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยๆ จนถึง 2.4% ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001-0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เลขออกซิเดชันของโครเมียมตั้งแต่ -2 ถึง +6 (ซัยวัฒน์, 2525) คุณสมบัติของธาตุโครเมียม ดังภาคผนวก ข

- โครเมียม(-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
- Hexacarbonylchromium ($\text{Cr}(\text{CO})_6$) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวคงตัวในอากาศและไม่ละลายน้ำ
- โครเมียม (+2) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและถูกออกซิไดซ์เป็น โครเมียม (+3) โดยอากาศ
- โครเมียม (+3) เป็นวาเลนซ์ที่เสถียรเป็นรูปที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสถานะกรด $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และในสถานะต่าง $[\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$
- โครเมียม (+6) พบมากในธรรมชาติพอกับ (+3) แต่พบในรูปของสารประกอบที่มีออกซิเจน ตัวอย่างเช่น
 - โครเมียม (+6) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)
 - โครเมียมคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)
 - คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)
 - โครเมต (CrO_4^{2-})
 - ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)

เมื่อไดโครเมตละลายน้ำ จะได้โครเมตดังสมการ



โครเมียม (+6) เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ภายใต้สภาวะกรด (พีเอช 0)



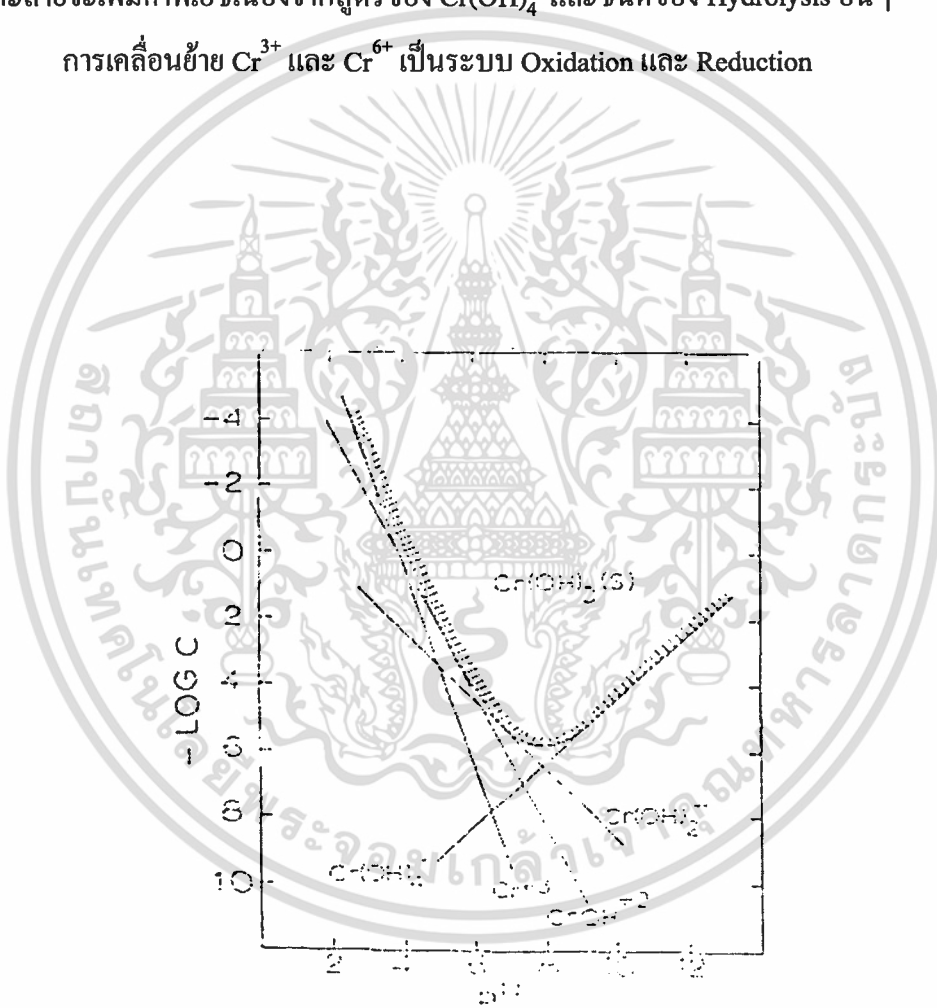
ธาตุโครเมียม (Cr) จะไม่พบสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ (FeOCr_2O_3) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต ซึ่งเป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่นๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การฟอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอและสารกัศกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานจำพวกนี้จะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียมเจือปนอยู่ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครเมียม (+6) ซึ่งในสภาวะธรรมชาติ โครเมียม (+3) ที่จะเสถียรกว่าโครเมียม (+6) ในสภาวะกรด และโครเมียม (+6) จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

ความสามารถในการออกซิไดส์ของ Cr^{3+} ไปเป็น Cr^{6+} ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและอัตราส่วนที่มีแต่ละชนิดของ Cr^{3+} ตามธรรมชาติแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติหรือภายใต้สภาวะเบสเล็กน้อย คือประมาณ 0.1 mg/L ที่พีเอช 8.5 โดยประมาณ ค่าการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอช การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอชเนื่องจากสูตรของ $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ และชนิดของ Hydrolysis อื่นๆ

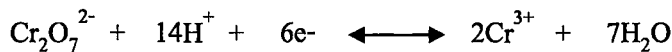
การเคลื่อนย้าย Cr^{3+} และ Cr^{6+} เป็นระบบ Oxidation และ Reduction



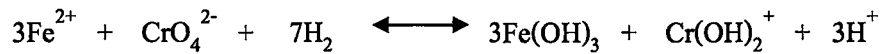
รูปที่ 2.3 การละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และ ค่าพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ Cr^{6+} ปฏิกิริยารีดักชันสามารถทำให้โครเมียม Cr^{6+} เปลี่ยนอยู่ในรูป Cr^{3+} ในสารละลายกรดได้ (pH 2-3)



ในการมีอยู่ของ Fe^{2+} จะพบ Cr^{6+} ถูกรีดิวซ์ที่พีเอช 6.5-8.5



จึงชี้ให้เห็นว่า การลดลงของ Cr^{6+} อาจเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยากับซัลไฟด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ซึ่งเกิดจากการสลายของสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียซัลเฟตรีดักชันหรือโดยการปล่อยของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน) การผลิต Cr^{3+} โดยปฏิกิริยานี้ น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซับโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของ Cr^{3+} ที่พีเอช 6.5-8.5



อย่างไรก็ตาม โครเมียมอาจเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น การดูดซับอนุภาค เป็นต้น (Paul and Cart, 1996)

2. การใช้ประโยชน์

โครเมียม เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโลหะผสมระหว่างโครเมียม เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ไทเทเนียม และโลหะผสมธรรมดา เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเพื่อความสวยงามทำให้แข็ง มีความเหนียว ทนทาน และคงทนต่อการผุกร่อน โลหะโครเมียมใช้ในการชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้าระหว่างโครเมียม เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ไทเทเนียม และโลหะผสมธรรมดา เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเพื่อความสวยงามทำให้แข็ง มีความเหนียว ทนทาน และคงทนต่อการผุกร่อน โลหะโครเมียมใช้ในการชุบโครเมียมด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า ระหว่างโครเมียม เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ ไทเทเนียม และโลหะผสมธรรมดา เพื่อป้องกันการเกิดสนิม และเพื่อความสวยงาม

สารประกอบโครเมียมชนิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการพาณิชย์มีสองวาเลนซ์ คือ

2.1 ชนิดที่มีวาเลนซ์ 3 (โครมิกออกไซด์ และโครมิกซัลเฟต) ใช้ในโลหะผสมและอุตสาหกรรมฟอกหนัง

2.2 ชนิดที่มีวาเลนซ์ 6 นำไปใช้ในการผลิตเม็ดสี สารประกอบโครเมตของสาร ตะกั่ว สังกะสี และแบเรียม ซึ่งเรียกว่า “chrome pigment” ใช้ในการทำสีต่างๆ ใช้ทำพรมน้ำมัน ใช้ทำยาง และใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมสีทา สียรถยนต์ และอุตสาหกรรมผลิตกาว

3. การปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

โครเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้จากการใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยปนอยู่กับอากาศและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โครเมียมในบรรยากาศ เกิดได้ทั้งจากรธรรมชาติ โดยการพังทลายของดินหิน และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

การปนเปื้อนของโครเมียมในบรรยากาศไม่ได้เกิดจากอุตสาหกรรมเท่านั้น การเผาไหม้ต่างๆ เช่น ไฟป่า ก็ทำให้มีการแพร่กระจายของโครเมียมออกมาได้ เนื่องจากความร้อนจะไปทำให้เกิดการออกซิไดซ์โครเมียมให้เป็นโครเมียม (VI) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เมื่อลอยอยู่ในอากาศจะค่อนข้างเสถียร แต่เมื่อ รวมกับสารอินทรีย์ต่างๆ จะกลายเป็นโครเมียม (III) สะสมในร่างกายพืชและสัตว์

โครเมียมในรูปไอออน +6 หรือ Cr(VI) มีความเป็นพิษมากจะปรากฏอยู่ในรูปของ oxyanion chromate (CrO_4^{2-}) bichromate (HCrO_4^{2-}) และ dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในดิน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน เนื่องจาก Cr(VI) ละลายได้ในดินที่มีสภาพเป็นด่างหรือกรดอย่างอ่อน

4. ความเป็นพิษ

สารประกอบโครเมียม ที่มีวาเลนซ์ 3 มีอันตรายน้อยไม่ดูดซึมทางเดินอาหาร ส่วนสารประกอบที่มีวาเลนซ์ 6 เป็นสารก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีฤทธิ์กัดกร่อนสามารถดูดซึมเข้าร่างกายได้โดยทางเดินอาหาร ผิวหนังและทางเดินหายใจ สำหรับสารโครเมต เป็นทั้งสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง เพราะจะไปรบกวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอในเซลล์

เกลือโครเมต สามารถทำลายไตของสัตว์พวกหนูและกระต่าย ทดลองโดยการฉีดสารละลายเกลือโครเมตเข้าใต้ผิวหนัง ทำให้เกิดสารอัลบูมินและผลึกในปัสสาวะซึ่งอาจทำให้เกิดไตอักเสบได้

พิษของโครเมียม จะทำอันตรายต่อคนได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับอนุมูลโครเมียม กล่าวคือ Cr^{+6} ที่ร่างกายได้รับเข้าไปแม้จำนวนเล็กน้อยก็สามารถทำให้โปรตีนในร่างกายตกตะกอนและเกิดการระคายเคืองที่ไต อันเป็นเหตุให้ไตอักเสบจนถึงแก่ความตายได้ Cr^{+6} ที่ซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง จะถูกรีดิวซ์ เป็น Cr^{+3} ในชั้นคอเรียม (Corium) ของผิวหนัง ซึ่ง Cr^{+3} นี้จะไปทำปฏิกิริยากับโปรตีนในร่างกายเกิดเป็นสารแอนติเจน - แอนติบอดีเชิงซ้อน (Antigen Antibody Complex) ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง (Dermatitis) แต่ยังไม่มียาที่แน่นอนสำหรับอันตรายที่เกิดจาก Cr^{+3} โดยตรง (11) โดยทั่วไป พอจะสรุปพิษที่เกิดจากโครเมียมได้ดังนี้

แผลจากโครเมียม (Chrome ulcers) เกิดจากการสะสมของฝุ่นละอองของโครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มที่รอยถลอกของผิวหนัง และจะพบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อที่นิ้วมือ หรือที่หลังเท้า มีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างเรียบ บวมเล็กน้อย ปกติมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อิเล็กโทรไคเนติกส์ (Electrokinetics)

กระบวนการอิเล็กโทรไคเนติกส์ เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสอ่อนระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดในดินที่ปนเปื้อน โดยไอออนและอนุภาคประจุเล็ก ๆ ที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ส่วนไอออนที่มีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปที่ขั้วแอโนด ส่วนสารละลายบัฟเฟอร์ที่อยู่ในแท่งอิเล็กโทรดจะช่วยทำให้พีเอชมีค่าคงที่ วิธีนี้สามารถทำได้ในสถานที่จริง หรืออาจจะขุดดินขึ้นมาทำก็ได้ ไอออนของโลหะที่ละลายได้และที่เกิดพันธะยึดจับในดิน เช่น ออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนต จะถูกกำจัดโดยวิธีนี้

2.3.3 ไฟโตรีเมดิเอชัน (phytoremediation)

เป็นกระบวนการฟื้นฟูสภาพด้วยพืช ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซับที่จะเก็บสะสมสารมลพิษโดยรากและส่วนต่างของพืช อีกทั้งยังย่อยสลายสารมลพิษให้อยู่ในรูปของสารที่มีอันตรายน้อยกว่าด้วย อีกทั้งเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ต้องใช้เวลาในการบำบัดนานและต้องหาวิธีกำจัดพืชที่ใช้ฟื้นฟูดินต่อไปอีก

2.3.4 การบำบัดด้วยแผ่นกั้นที่น้ำซึมผ่านได้ (Permeable treatment walls)

แผ่นกั้นที่น้ำซึมผ่านได้ ซึ่งบรรจุ reactive substance ใช้สำหรับการลดการรวมตัวของโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด เช่น ซีโอไลต์ ธาตุเหล็ก และปูนขาว (Vidac และ Pohland, 1996) ผลของการทำก่อนการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ธาตุเหล็กสามารถใช้ลดโครเมียม และใช้ปูนขาวสำหรับการตกตะกอนของตะกั่ว เทคนิคนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนในบริเวณกว้าง โดยสามารถควบคุมการบำบัดและควบคุมอัตราการไหลได้

2.3.5 การปรับเสถียร (Stabilization)

การหยุดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักโดยการทำให้เป็นของแข็งการทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่เสถียรไม่สามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ และสารประกอบที่ใช้ในการปรับเสถียร ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ ซีโอไลต์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสารประกอบที่หาง่าย ราคาถูก ขั้นตอนการปรับสภาพดินไม่ยุ่งยาก และใช้พลังงานน้อย

2.4 การปรับเสถียร

การบำบัดดินโดยการปรับเสถียรเป็นกระบวนการหนึ่งที่ออกแบบมาเพื่อลดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมีในการทำให้ดินแข็งตัวเพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน โดยการใช้หลักการทำให้องค์ประกอบโลหะหนักนี้เปลี่ยนแปลงไป ทำให้อัตราการกระจายตัวสิ่งแวดล้อมมีน้อยลง เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผสมของเสียอันตรายและสารที่สามารถแข็งตัวได้เข้าไปด้วยกันเพื่อทำให้เกิดการแข็งตัวและจับยึดเอาของเสียอันตรายโลหะหนักเอาไว้

หลักการของกระบวนการนี้คือ

- เพิ่มความแข็งแรงของของแข็ง
- ลดความสามารถในการหดตัว (ของแข็งหดตัวได้น้อยกว่าของเหลว)
- ลดความสามารถในการไหลผ่านของของเหลว

เมื่อก้าวถึง Stabilization หรือการบำบัดดินด้วยการปรับเสถียร เราจะรวมถึง Stabilization และ Solidification เพราะการทำให้เป็นของแข็งก็เป็นการเพิ่มความเสถียรในการจัดการของเสียลดอัตราการรั่วไหลของของเสีย และลดความสามารถในการละลายของของเสีย

ในทางปฏิบัติกระบวนการบำบัดประกอบด้วย

- การกำจัดน้ำออก เพื่อลดปริมาณของของแข็ง
- เติมน้ำเพื่อให้ของเสียจับตัวเป็นก้อนของแข็ง

กลไกของการบำบัดส่วนใหญ่เน้นที่กระบวนการทางกายภาพ เช่น การจับยึด การดูดซึม หรือดูดซับ การตกตะกอน แต่ก็มีกระบวนการทางเคมีด้วยเช่นกัน เช่น การทำให้เปลี่ยนสภาพเพื่อให้โลหะหนักเสื่อมสภาพไป การเลือกชนิดของสารเคมีที่จะใช้ผสมกับสารพิษจำเป็นจะต้องใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการบำบัด

กลไกของการบำบัดมีดังนี้

1. การจับยึด (Macroencapsulation และ Microencapsulation)

โดยการให้โลหะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของตัวจับยึด ซึ่งตัวจับยึดแบ่งออกได้เป็นตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่ และตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็ก ตัวจับชนิดกันอาจจะมีรูทั้งขนาดเล็กและใหญ่ก็ได้ การจับยึดนี้เป็นเพียงการกำจัดขอบเขตของโลหะหนักให้อยู่ในบริเวณที่กำหนดให้เท่านั้น หากตัวจับยึดเกิดการแตกร้าว สารพิษก็สามารถรั่วไหลออกสู่ภายนอกได้อีกครั้ง ดังนั้นถ้าตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กจะมีความเสถียรภาพสูงกว่าตัวจับยึดที่มีรูขนาดใหญ่เนื่องจากการแตกออกของตัวจับยึดที่มีรูขนาดเล็กอาจจะไม่ทำให้จำนวนรูที่เกิดการแตกหักมีมากขึ้นหรือมีไม่มากเท่ากับจำนวนรูขนาดใหญ่ที่จะเกิดความเสียหายขึ้น

2. การดูดซึม (Absorption)

เป็นกระบวนการที่เกิดจากการกระทำของโลหะหนักซึ่งถือเป็นตัวถูกดูดซับ (Absorbate) และการดูดซึม (absorb) ซึ่งเป็นการต้องการให้โลหะหนักเข้าไปละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวดูดซึมนั่นเอง การดูดซึมนี้อาจจะมีการใช้งานสำหรับก๊าซพิษเท่านั้น เนื่องจากกลไกของการดูดซึมเกี่ยวข้องกับการละลายสารชนิดหนึ่งให้อยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งและตัวดูดซึม (ตัวทำละลาย) มักอยู่ในรูปของของเหลว เช่น การนำของเหลวชนิดหนึ่งไปจับเอาของเสียออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้กับการดึงเอาสิ่งแปลกปลอมออกจากร้ำมันเพื่อให้น้ำมันมีความสะอาดขึ้นและสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่ได้

3. การดูดซับ (Adsorption)

หลักการของการดูดซับจะแตกต่างจากการดูดซึมเล็กน้อย เนื่องจากการดูดซับจะเป็นการทำให้เกิดพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติของดินให้สามารถดูดซับได้โดยจะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยการเปลี่ยนแปลง inorganic cation ที่อยู่ในดินออกและใส่สารอินทรีย์ที่มีโซ่พันธะยาวๆลงไปแทนการใส่สารอินทรีย์ลงในดิน ทำให้มีองค์ประกอบที่ไม่มีขี้และทำให้สามารถดูดซับสารที่ไม่มีขี้เช่นสารอินทรีย์ด้วยตัวเองได้มากขึ้น

4. การตกตะกอน (Precipitation)

เป็นวิธีการที่ทำให้โลหะหนักตกตะกอน และมีความสามารถในการละลายในการละลายน้อยลงและส่งผลให้มีความสามารถในการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมน้อยลงด้วยวิธีการตกตะกอนไม่ได้ใช้สำหรับโลหะที่ละลายอยู่ของเสียที่เป็นของเหลวเท่านั้น แต่ยังใช้กับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในกากของแข็งด้วย เพราะโลหะหนักเหล่านี้เพียงรอเวลาที่จะให้เจอกับน้ำ เพื่อที่จะละลายและรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมเท่านั้น ดังนั้น เราสามารถใช้เทคนิคนี้กับกากของเสียเพื่อทำให้สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงละลายได้น้อยลงและทำให้กากของเสียมีคุณภาพดีขึ้น ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมน้อยลง การตกตะกอนเป็นวิธีที่เหมาะสมกับของเสียที่มีปริมาณ โลหะหนักเจือปนอยู่มาก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tokalioglu Serife และคณะ(2000) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์โลหะหนักและรูปที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักจากตะกอนทะเลสาบโดยใช้ flame atomic absorption spectrometry ภายหลังจากดำเนินการสกัดลำดับส่วน 4 ขั้นตอน สารที่สกัดได้จะอยู่ในรูป สารละลายกรด , สภาพที่สามารถเกิดการออกซิไดส์และรีดิวส์ได้ และส่วนที่ตกค้างในตัวอย่างดินตะกอนตามลำดับ วัตถุประสงค์ของวิธีการสกัดลำดับขั้น โดย BCR (The Commission of the European Communities Bureau of Reference) สำหรับการสกัดดินตะกอน ในการสกัดแบบลำดับขั้นจะสามารถสกัด Cr , Cd , Co, Ni , Cu, Zn, Pb , Mn และ Fe ได้ในขั้นต่างๆของการสกัดและนำไปวิเคราะห์โดยฉีดเข้าเครื่อง flame atomic absorption spectrometer ผลการศึกษาพบว่าในการตรวจวัดความถูกต้องของวิธีการ สารที่ได้จากการสกัดจากแต่ละขั้นตอนใช้สำหรับคิดค่า %recovery (สารละลายที่ใช้ในการสกัดจะถูกเติมลงไป ปริมาณที่แน่นอน) %recovery สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จาก FAAS และค่าจากตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารสกัด ได้ค่า %recovery มากกว่าหรือเท่ากับ 95 % และคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะจากพื้นที่ได้กราฟ ผลจากการใช้วิธีการ BCR มีข้อดีคือ ง่าย , ถูก และรวดเร็วแต่ในทางตรงกันข้ามถ้าสารมีความเข้มข้นต่ำ จะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อน วิธีการของการสกัดลำดับขั้นนี้สามารถใช้วิเคราะห์สารได้หลากหลายในสิ่งแวดล้อมเช่น จากดิน , ผุ่นละอองจากถนน , สารทางชีวภาพและภาคตะกอน เป็นต้น

Wang Y.M. และคณะ(2001) ศึกษาการปรับเสถียรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก(Cd, Cu, Ni, Pb และ Zn) โดยใช้ CaHPO_4 และ CaCO_3 พบว่าหลังการปรับเสถียร นำดินมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่ชะละลายออกมาด้วยเทคนิค TCLP พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักทุกตัวลดลงมากกว่าร้อยละ 87 โดยเฉพาะตะกั่วจะถูกจับไว้ในดินมากกว่าร้อยละ 99.8 และเมื่อเปลี่ยนเป็นสารละลาย $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ แทน CaHPO_4 ซึ่งมีราคาถูกกว่าและละลายน้ำได้ดีกว่า พบว่าหลังการปรับเสถียร 30 วัน ปริมาณโลหะหนักลดลงดังนี้คือ Cd ร้อยละ 98 , Cu ร้อยละ 97 , Pb ร้อยละ 99 และ Zn ร้อยละ 96 ตามลำดับ ในขณะที่ Ni มีการลดลงร้อยละ 65

JU-YONG KIM และคณะ(2003) ศึกษาการปรับเสถียรกากแร่ที่ปนเปื้อนอาร์เซนิก (As) ซึ่งได้จากเหมืองแร่ Myoungbong และ Daduck ในประเทศเกาหลีใต้ มีปริมาณอาร์เซนิกเท่ากับ 6,670 และ 56,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมทั้งหมด โดยทำการตกตะกอนให้อยู่ในรูปสารประกอบเหล็กอะมอร์ฟัส (Amorphous iron compound) หลังจากการปรับเสถียร นำกากแร่มาสกัดลำดับส่วนพบว่า หลังจากการสกัดไป 4 ขั้นตอน ปริมาณอาร์เซนิก ลดลงจาก 2,090 เป็น 428 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในแร่ Myoungbong หรือคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณอาร์เซนิกที่ลดลง ขณะที่ในกากแร่ Daduck ลดลงร้อยละ 70 หรือจาก 1,320 เป็น 395 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียรอย่างต่ำ 1 เดือน ปฏิบัติการของการดูดซับและตกตะกอนร่วมพบว่า As(III) และ Fe(III) จะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น

Kumpiene Jurate และคณะ(2006) ศึกษาการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อน Cu, As และ Cr โดยใช้ผงเหล็ก (Fe^0) และประเมินประสิทธิภาพของผงเหล็ก (Fe^0) ในการลดการเคลื่อนที่ของ Cr, Cu, As and Zn ในดินที่ปนเปื้อน โครเมต คอปเปอร์ และอาร์เซนิต (CCA) โดยใช้การทดสอบทางเคมี เคมีชีวภาพ และความเป็นพิษทางชีวภาพ ในสัดส่วน ผงเหล็ก (Fe^0) 1% พบว่า ความเข้มข้นของ As และ Cr ในน้ำชะลดลงร้อยละ 98 และ 45 ตามลำดับ ช่องว่างของน้ำในดินลดลงร้อยละ 99 และ 94 ตามลำดับ และส่วนที่งอกใหม่ของพืช ลดลงร้อยละ 84 และ 95 ตามลำดับ นอกจากนี้หลังจากการปรับเสถียรพบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนและสัดส่วนการซึมผ่านของ Cu ยังคงมีความเข้มข้นสูงซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากความเป็นพิษที่ตกค้างภายหลังจากการปรับเสถียร สัดส่วนของธาตุที่สัมพันธ์กับสารอินทรีย์ในดินส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ขณะที่สัดส่วนที่เหลือจากการสกัดลำดับขั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับธาตุทุกตัวยกเว้น โครเมียม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

1. เฟอร์รัสซัลเฟต ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
2. เฟอร์ริกซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
3. กรดอะซิติกเข้มข้น (CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
4. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
5. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
7. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
8. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
9. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
10. กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
11. เอมีลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
12. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ($\text{CH}_3\text{CHOHCH}_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
13. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
14. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
15. แอมโมเนียมอะซิเตต ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
16. แอมโมเนียมออกซาลเลต ($\text{NH}_4\text{OCCOONH}_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
17. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
18. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific
19. ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
21. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
22. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
23. ไดฟิไนลคาร์บาไซด์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
24. ไตรเอทานอลามีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
25. แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26. โบร โมคลีซอลกรีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท ACROS organics
27. เมทิลเรด เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fluka

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) รุ่น AA-680 บริษัท Shimadzu
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น 6405 UV-Vis Spectrophotometer บริษัท JENWAY
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น MSBO20 CX1.5 บริษัท SUNYO
3. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Hetofrig CB60 VS บริษัท Heto
4. เครื่องให้ความร้อน (Heating Water Bath) รุ่น Model WB 7/14/22/29/45
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) รุ่น 251 บริษัท Denver Instrument
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument
7. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 บริษัท B'U'CHI
8. ตู้อบของ รุ่น ISOTEMP บริษัท Fisher Scientific
9. ชุดย่อยสลาย (Microwave digestion) รุ่น 1200Mega บริษัท Milestone microwave Laboratory Systems
10. กระดาษกรอง Whatman GF/C เบอร์ 1
11. ตะแกรงร่อนขนาด 2.5 และ 12 เมช
12. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM NO. 1.152 H
13. แท่งแก้วสำหรับคนแบบ Plunger
14. เทอร์โมมิเตอร์
15. เครื่องแก้วสำหรับห้องปฏิบัติการ

3.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินที่เก็บรวบรวมมาจากดินตัวอย่างที่เหลือจากงานวิจัยเรื่องการฟื้นฟูดินปนเปื้อนโครเมียมโดยใช้พืชใบเลี้ยงคู่ของพรสุตาและคณะ(2545) ซึ่งทำการศึกษาฟื้นฟูดินปนเปื้อนโครเมียมโดยใช้พืชใบเลี้ยงคู่ โดยดินดังกล่าวเป็นดินชุดสมุทรปราการที่ผ่านการเติมโพแทสเซียมไดโครเมต ที่มีระดับความเข้มข้นของโครเมียม 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มีค่าความชื้นประมาณ 0.48%) ซึ่งดินนี้ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมาเป็นเวลา 4 ปี โดยนำดินดังกล่าวข้างต้นมาทำการบดดิน ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 12 เมช ให้ได้ดินขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกกรวดและสิ่งเจือปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์หาสมบัติของดินตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยแต่ละพารามิเตอร์ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	เครื่องมือ/วิธีการวิเคราะห์
1. ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช / 1:1(soil: water)
2. ความเป็นกรดของดิน	วิธีเบรียมคลอไรด์ไตรเอทานอลามีน (กองวิเคราะห์ดิน, 2547)
3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	การทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
4. ความชื้น	อบแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 °C (กองวิเคราะห์ดิน, 2547)
5. เบอร์เซนต์เนื้อดินสัมผัส	ไฮโดรมิเตอร์
6. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	การออกซิเดชันแบบเปียก (กรมวิชาการเกษตร, 2548)
7. ปริมาณโครเมียมทั้งหมด	ไมโครเวฟไดเจสชัน/หาปริมาณด้วยอะตอม มิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
8. ปริมาณโครเมียมทั้งหมดใน น้ำชะ/ปริมาณเฮกซะวาเลนซ์ โครเมียมในน้ำชะ	WET (Waste Extraction Test) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)
9. ปริมาณเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม ทั้งหมดในดิน	ทำให้เกิดสี/หาปริมาณด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4 การศึกษาปริมาณเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออนที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมเฟอร์รัสและเฟอร์ริกซัลเฟต ให้มีสัดส่วนของโมลเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตต่อโครเมียมเท่ากับ 1:1 และคลุกเคล้าให้ทั่วกัน

2. ตั้งทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ โดยไม่ถูกแสง และนำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความชื้น ปริมาณโครเมียมในน้ำชะด้วยวิธี WET (ดังภาคผนวก ก) ปริมาณโครเมียมทั้งหมด และปริมาณเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในดิน

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น แต่เปลี่ยนสัดส่วนของโมลเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟต ต่อโครเมียมเป็น 1.5 :1 และ 2:1 ตามลำดับ

4. ทำชุดควบคุม โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ไม่เติมเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยเฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออนซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง ปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร ผลการทดลองที่ได้เป็นดังนี้คือ

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ในการศึกษาการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนโครเมียมโดยใช้เฟอร์รัสและเฟอร์ริกไอออน ทำการศึกษาโดยใช้ดินตัวอย่างที่เหลือจากงานวิจัยพรสุดาและคณะ(2545) ซึ่งทำการศึกษาฟื้นฟูดินปนเปื้อนโครเมียมโดยใช้พีชใบเลี้ยงกู่ โดยดินดังกล่าวเป็นดินชุดสมุทรปราการที่ผ่านการเติมโปตัสเซียมไดโครเมต ที่มีระดับความเข้มข้นของโครเมียม 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินได้ผลแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

คุณสมบัติของดิน		ค่าที่วัดได้
ค่าพีเอช(อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1)		3.10±0.00
ความเป็นกรดของดิน (มิลลีสมมูล/100 กรัม ดินแห้ง)		0.30±0.00
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (มิลลีสมมูล/100กรัม)		9.70±0.05
ความชื้น(%)		4.80±0.10
การกระจายตัวของอนุภาค	% ทราย (sand)	19.40±0.00
	% ซิลต์ (silt)	22.50±0.00
	% เหนียว (clay)	58.10±0.00
ลักษณะเนื้อดิน		ดินเหนียว
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (%)		2.96±0.03
ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด (มก./กก. ดินแห้ง)		309.02±4.48
ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)		201.42±19.36
ความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียม (มก./กก.ดินแห้ง)		107.59±19.36

เอ... ไม่นุญาต... โยชน์ด้านการค้า

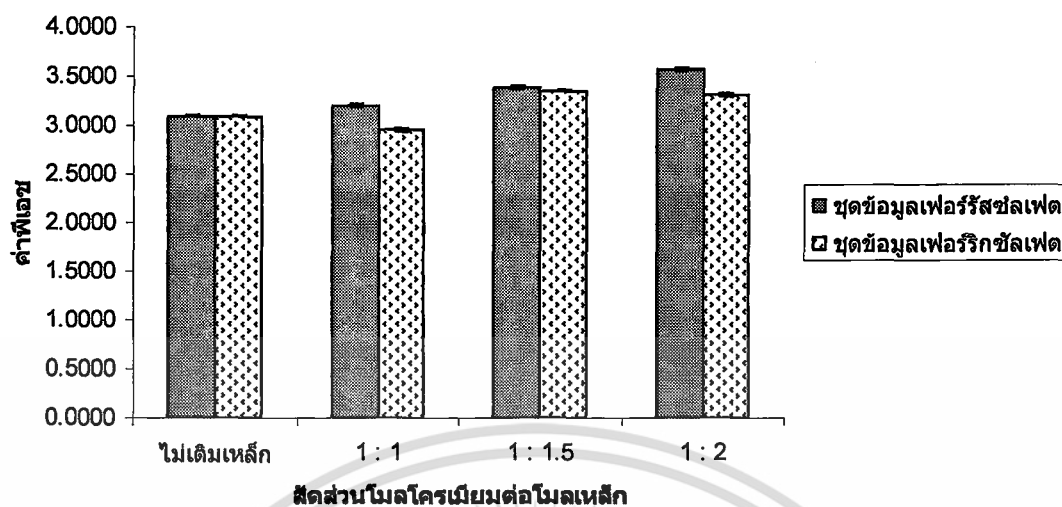
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น โครเมียม ชะละลาย (มก./กก.ดินแห้ง)	ความเข้มข้น โครเมียมทั้งหมด ที่ชะละลาย	79.61±1.08
	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์ โครเมียมที่ชะละลาย	5.30±0.35
	ความเข้มข้น ไตรวาเลนซ์ โครเมียมที่ชะละลาย	74.30±1.41

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน พบว่า ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอช 3.10 ± 0.00 แสดงว่าดินเป็นกรดโดยมีค่าความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.02 ± 0.00 มิลลีสมมูล/กรัม ดินแห้ง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 9.70 ± 0.05 มิลลีสมมูล/100กรัม มีความชื้น 4.80 ± 0.10 % ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว โดยดินมีสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ 2.96 ± 0.03 % มีความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด 309.02 ± 4.48 มก./กก. ดินแห้ง ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม 201.42 ± 19.36 มก./กก. ดินแห้ง มีความเข้มข้นโครเมียมในน้ำชะ ได้แก่ ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะ 79.61 ± 1.06 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะ 5.30 ± 0.35 มก./กก. ดินแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดให้มีปริมาณโครเมียมในน้ำชะต้องมีค่าไม่เกิน 300 มก./กก. (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน)

4.2 ศึกษาปริมาณเฟอร์ริสและเฟอร์ริกไอออนที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

ในการศึกษาปริมาณของเฟอร์ริสและเฟอร์ริกไอออนที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการปรับเสถียร โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินและการลดลงของโครเมียมในดินในรูปแบบต่างๆ โดยใช้เฟอร์ริสซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟตเป็นตัวปรับเสถียร แปรสัดส่วนของโมลโครเมียมต่อโมลเหล็กเป็น 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 3 สัปดาห์ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

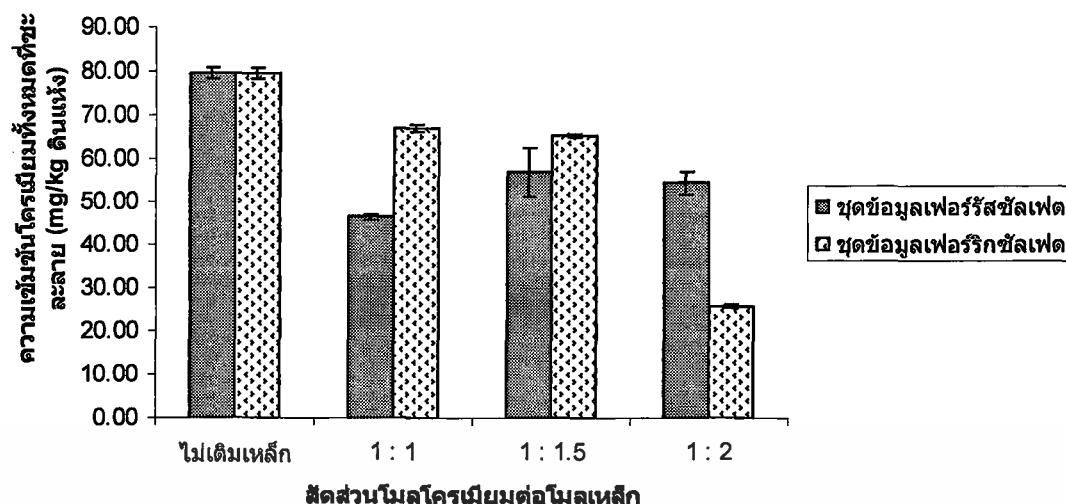


รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของดินตัวอย่างที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก

หมายเหตุ แถบความผิดพลาด (error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าพีเอชของดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็กมีค่า 3.10 ± 0.00 เมื่อเติมเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตลงในดินตัวอย่างโดยแปรค่าสัดส่วน โมลของเหล็กพบว่า หลังการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าก่อนการปรับเสถียรที่สัดส่วนโมล 1:1 1:1.5 และ 1:2 ค่าความพีเอชหลังการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 3.20 ± 0.01 , 3.38 ± 0.01 และ 3.58 ± 0.01 และหลังการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 2.96 ± 0.01 , 3.36 ± 0.00 และ 3.32 ± 0.01 ตามลำดับ

ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นหลังการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟต สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการปรับเสถียรกากแร่ที่ปนเปื้อนอาร์เซนิกโดยใช้เหล็ก ของ JU-YONG KIM and ALLEN P. DAVIS (2003)



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก

หมายเหตุ แถบความผิดพลาด(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.2 พบว่าผลของความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะในดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็กมีความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะเท่ากับ 79.61 ± 1.08 มก./กก. ดินแห้ง

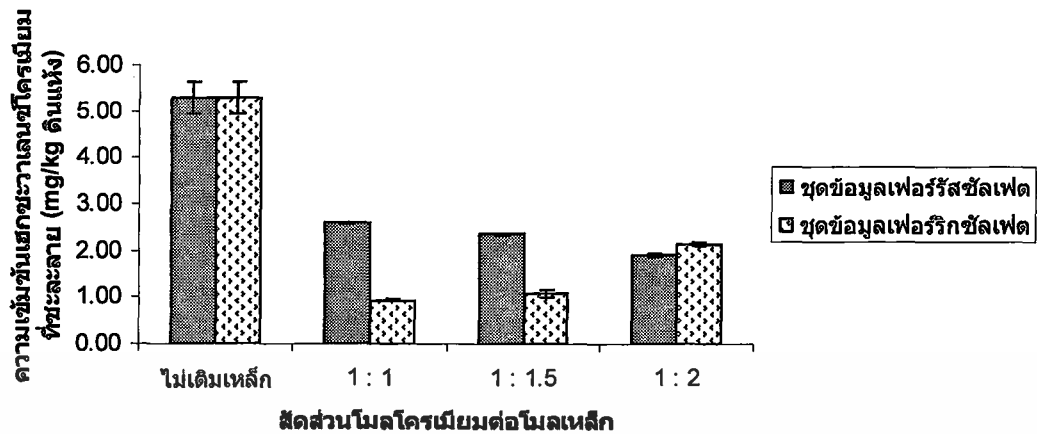
สัดส่วนโมล 1:1 ความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 46.49 ± 0.63 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 67.09 ± 0.72 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วนโมล 1:1.5 ความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 56.92 ± 5.54 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 65.33 ± 0.48 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วนโมล 1:2 ความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 54.40 ± 2.66 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 25.75 ± 0.52 มก./กก. ดินแห้ง

จากการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตค่าสัดส่วนโมล 1:1 มีค่าความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายน้อยกว่าที่สัดส่วนโมล 1:1.5 และ 1:2 แสดงให้เห็นว่าที่สัดส่วนโมล 1:1 เป็นสัดส่วนโมลที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยคิดเป็น 4.7 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตที่สัดส่วนโมล 1:2 เป็นสัดส่วนโมลที่มีความเหมาะสมต่อการปรับเสถียรมากที่สุดเนื่องจากโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะมีปริมาณน้อยที่สุด โดยคิดเป็น 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะที่กำหนด 5 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดและเพอร์ริคัลเฟดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก

หมายเหตุ แถบความผิดพลาด(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.3 พบว่าผลของความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะของดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็กมีความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมที่ชะละลายเท่ากับ 5.30 ± 0.35 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วนโมล 1:1 ความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดมีค่า 2.60 ± 0.01 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริคัลเฟดมีค่า 0.94 ± 0.02 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วนโมล 1:1.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดมีค่า 2.37 ± 0.01 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริคัลเฟดมีค่า 1.09 ± 0.06 มก./กก. ดินแห้ง

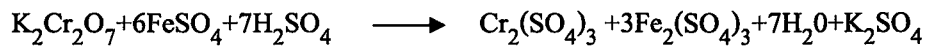
สัดส่วนโมล 1:2 ความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดมีค่า 1.90 ± 0.04 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริคัลเฟดมีค่า 2.14 ± 0.04 มก./กก. ดินแห้ง

จากการปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดค่าสัดส่วน โมล 1:2 มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะน้อยกว่าที่สัดส่วน โมล 1:1 และ 1:1.5 แสดงให้เห็นว่าที่สัดส่วน โมล 1:2 เป็นสัดส่วนโมลที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยมีค่า 0.19 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการปรับเสถียรด้วยเพอร์ริคัลเฟดที่สัดส่วน โมล 1:1 เป็นสัดส่วน โมลที่มีความเหมาะสมต่อการปรับเสถียรมากที่สุด โดยมีค่า 0.09 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริทซ์เฟดและเพอร์ริคัลเฟดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะที่กำหนด 5

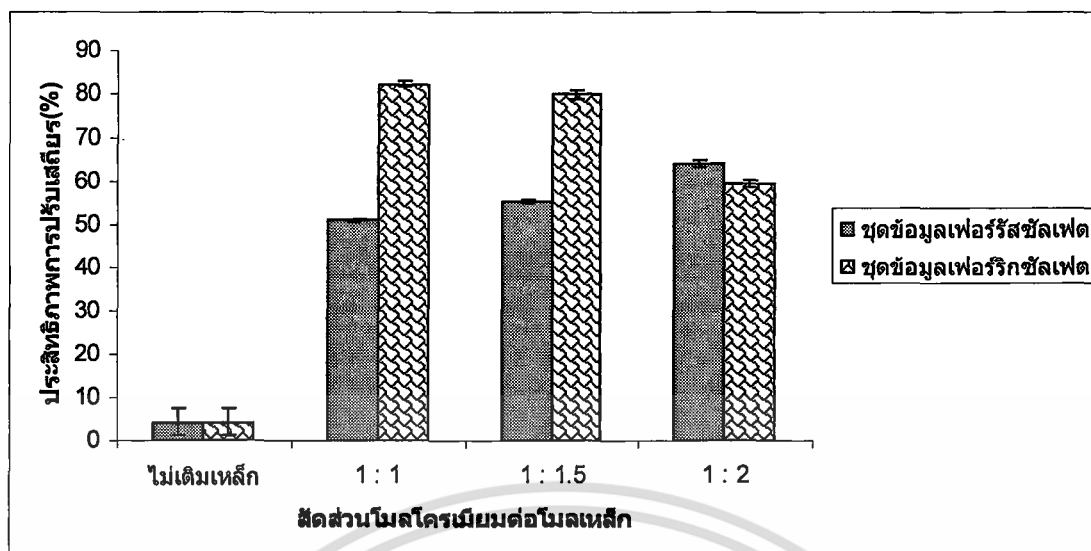
การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548)

เนื่องจากเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ถูกชะละลายออกมาในปริมาณน้อยที่สุดและบางส่วนจะถูกรีดิวซ์กลายเป็นไตรวาเลนซ์โครเมียม การที่ปริมาณไตรวาเลนซ์โครเมียมสูงขึ้นอาจเกิดจากเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมถูกรีดิวซ์โดยเฟอร์รัสซัลเฟตที่เติมลงไปและดินมีสภาพเป็นกรด ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเพอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก

หมายเหตุ แถบความผิดพลาด(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.4 พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม ในดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็กมีค่าประสิทธิภาพของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเท่ากับ 4.36 ± 3.00 %

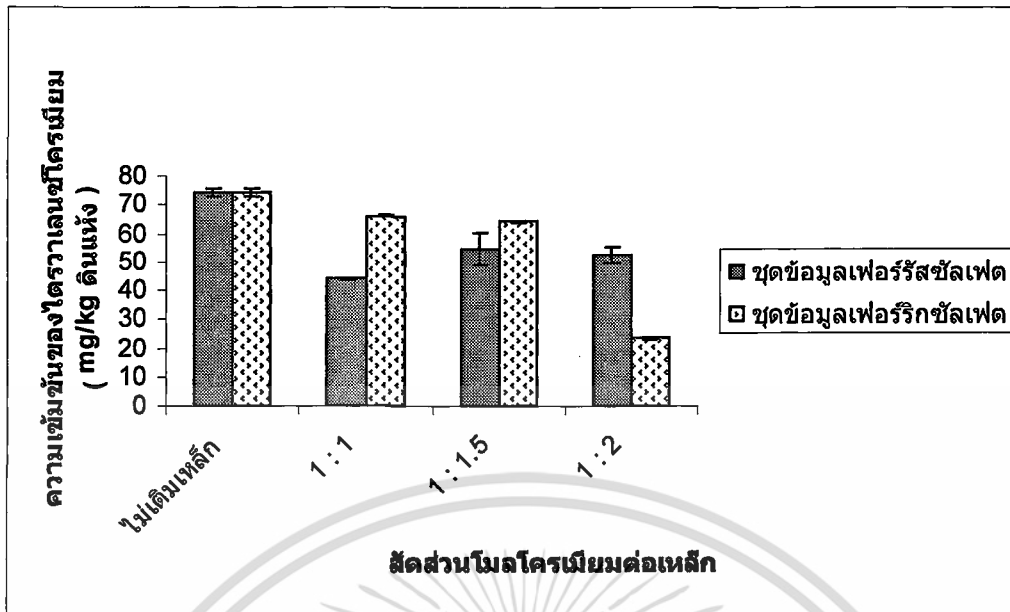
สัดส่วนโมล 1:1 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 51.06 ± 0.31 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริกซัลเฟตมีค่า 82.22 ± 0.49 %

สัดส่วนโมล 1:1.5 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 55.37 ± 0.34 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริกซัลเฟตมีค่า 79.48 ± 1.13 %

สัดส่วนโมล 1:2 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 64.06 ± 0.81 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเพอร์ริกซัลเฟตมีค่า 59.53 ± 0.74 %

ค่าของประสิทธิภาพหลังการปรับเสถียรมีค่าที่สูงขึ้นก่อนการปรับเสถียร แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพระหว่างเฟอร์รัสซัลเฟตและเพอร์ริกซัลเฟตที่สัดส่วนโมล 1:1 และ 1:1.5 ค่าประสิทธิภาพหลังการปรับเสถียรด้วยเพอร์ริกซัลเฟตมีค่าสูงกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต ในขณะที่สัดส่วนโมล 1:2 ค่าประสิทธิภาพของเพอร์ริกซัลเฟตต่ำกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก

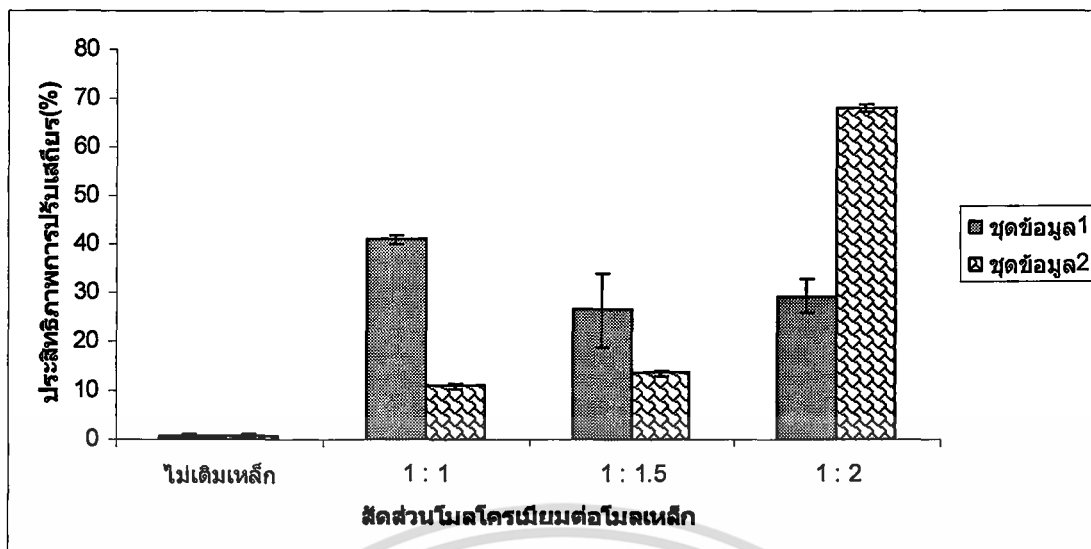
หมายเหตุ แถบความผิดพลาด(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.5 พบว่าผลของความเข้มข้น ไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะของดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็ก มีความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะเท่ากับ 74.30 ± 1.41 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วน โมล 1:1 ความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 43.89 ± 0.62 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 66.14 ± 0.49 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วน โมล 1:1.5 ความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 54.61 ± 5.60 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 64.24 ± 0.43 มก./กก. ดินแห้ง

สัดส่วน โมล 1:2 ความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 52.49 ± 2.61 มก./กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นของไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 23.60 ± 0.57 มก./กก. ดินแห้ง



รูปที่ 4.6 ค่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรของไตรวาเลนซ์โครเมียมของดินตัวอย่างที่ผ่านการปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมเหล็ก
หมายเหตุ แถบความผิดพลาด(error bar) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก

จากรูปที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของ ไตรวาเลนซ์โครเมียม ในดินตัวอย่างที่ไม่เติมเหล็กมีค่าประสิทธิภาพของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมเท่ากับ 0.59 ± 0.38 % ดินแห้ง

สัดส่วนโมล 1:1 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรไตรวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 40.93 ± 0.83 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรไตรวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 10.98 ± 0.65 %

สัดส่วนโมล 1:1.5 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียร ไตรวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 26.49 ± 7.60 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 13.52 ± 0.58 %

สัดส่วนโมล 1:2 ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรไตรวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตมีค่า 29.35 ± 3.52 % และประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่า 68.23 ± 0.76 %

ค่าของประสิทธิภาพหลังการปรับเสถียรมีค่าที่สูงขึ้นก่อนการปรับเสถียร แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพระหว่างเฟอร์รัสซัลเฟตและเฟอร์ริกซัลเฟตที่สัดส่วนโมล 1:1 และ 1:1.5 ค่าประสิทธิภาพของเฟอร์ริกซัลเฟตมีค่าต่ำกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต ในขณะที่สัดส่วนโมล 1:2 ค่าประสิทธิภาพของเฟอร์ริกซัลเฟตสูงกว่าเฟอร์รัสซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาค่าการปรับเสถียร โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต และเฟอร์ริกซัลเฟต ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่าง ผลของชนิดของเหล็กและแปรค่าสัดส่วน โมลเหล็กต่อ โมล โครเมียม ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินที่เก็บรวบรวมมาจากดินตัวอย่างที่เหลือจากงานวิจัยของพรสุดาและคณะ(2545) ซึ่งทำการศึกษาฟื้นฟูดินปนเปื้อน โครเมียม โดยใช้พีชไบเล็งก์ โดยดินดังกล่าวเป็นดินชุดสมุทรปราการที่ผ่านการเติม โปตัสเซียมไดโครเมต ที่มีระดับความเข้มข้นของโครเมียม 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินพบว่า ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอช 3.10 ± 0.00 แสดงว่าดินเป็นกรดโดยมีค่าความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.02 ± 0.00 มิลลีสมมูล/กรัม ดินแห้ง ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 9.70 ± 0.05 มิลลีสมมูล/100 กรัมดินแห้ง มีความชื้น $4.80 \pm 0.09\%$ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว(clay) โดยดินมีสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณอินทรียวัตถุ $2.96 \pm 0.03\%$ มีความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด 309.02 ± 4.48 มก./กก. ดินแห้ง ความเข้มข้นของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม 201.42 ± 19.36 มก./กก. ดินแห้ง มีความเข้มข้นโครเมียมในน้ำชะ ได้แก่ ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดในน้ำชะ 79.61 ± 1.08 มก./ กก. ดินแห้ง และความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในน้ำชะ 5.30 ± 0.35 มก./ กก. ดินแห้ง ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมที่กำหนดให้มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินต้องมีค่าไม่เกิน 300 มก./กก.

จากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรของเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม

- กรณีของเฟอร์ริกซัลเฟต พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดที่สัดส่วนโมล 1:1 โดยมีค่าประสิทธิภาพ $82.22 \pm 0.49\%$ และรองลงมาคือที่สัดส่วนโมล 1:1.5 มีค่าประสิทธิภาพ $79.48 \pm 1.13\%$ และสัดส่วน 1:2 มีค่า $59.53 \pm 0.74\%$ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าเฟอร์ริกซัลเฟตที่ระดับสัดส่วนโมล 1:1 และ 1:1.5 แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ระดับสัดส่วนโมล 1:2
- กรณีของเฟอร์ริกซัลเฟตพบว่าจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระดับสัดส่วนโมล 1:2 โดยมีค่าประสิทธิภาพ $64.07 \pm 0.84\%$ รองลงมาคือที่ระดับสัดส่วนโมล 1:1.5 มีค่า $55.37 \pm 0.34\%$ และมีประสิทธิภาพต่ำสุดที่สัดส่วนโมล 1:1 โดยมีค่า $51.06 \pm 0.31\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรของไตรวาเลนซ์โครเมียม

- กรณีของเฟอร์ริคซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงสุดที่สัดส่วน โมล 1:2 โดยมีค่า $68.23 \pm 0.76\%$ รองลงมาคือที่ระดับสัดส่วน โมล 1:1.5 มีค่า $13.52 \pm 10.58\%$ และต่ำสุดที่ระดับสัดส่วน โมล 1:1 มีค่า $10.98 \pm 0.66\%$ โดยที่ที่สัดส่วน โมล 1:1 และ 1:1.5 จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเฟอร์ริคซัลเฟต
- กรณีของเฟอร์รัสซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงสุดที่สัดส่วน โมล 1:1 โดยมีค่าเป็น $40.93 \pm 0.83\%$ รองลงมาคือที่ระดับสัดส่วน โมล 1:2 มีค่า $29.35 \pm 3.52\%$ และต่ำสุดที่ระดับสัดส่วน โมล 1:1.5 มีค่า $26.49 \pm 7.60\%$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการปรับเสถียร โลหะชนิดอื่น และอิทธิพลของโลหะผสมที่มีต่อการปรับเสถียร
2. ควรมีการเพิ่มจำนวนซ้ำของตัวอย่างในการวิเคราะห์ให้มากขึ้นเนื่องจากตัวอย่างดินที่ทำการวิเคราะห์อาจไม่เป็นตัวแทนของดินทั้งหมด
3. ควรศึกษาการปรับเสถียรดินที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2535. มาตรฐานคุณภาพดิน. [Online]. Available ://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว[Online]. Available ://www.diw.go.th/diw_web/html/versionthai/laws/laws.asp
- กรมพัฒนาที่ดิน.2547. **คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน**. กรุงเทพฯ:กรมพัฒนาที่ดิน
- กรมวิชาการเกษตร.2544. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. กรุงเทพฯ: ชุมชนการเกษตรแห่งประเทศไทย
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7. กรุงเทพฯ. กรองแก้ว ทัพยศคีต และกลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์.2547.**คู่มือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม 2**.ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี่พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พรสรวง มากมณี, พิมพ์พิมล คงจินดา และภาสกร ศรีจิว. 2546. **การล้างโครเมียมออกจากดินปนเปื้อน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี่พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พิชชภา บุญญคง, สกุศลรัตน์ รัตนาชน และหนึ่งฤทัย บริรักษ์. 2548. **การปรับเสถียรแควมเมียมในดินที่ปนเปื้อนด้วยน้ยมัฟอตกเฟด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี่พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ . 2541 . **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา.2538,2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา.2549.[Online]. Available ://webdb.dmhc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_21_001c.asp?info_id=258.
- สุริตา ตูลยะเสถียร และคณะ. 2544. **มลพิษสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทรวมสาส์น
- Bamhart, J., 1997. Occurrences, uses, and properties of chromium. **Regulatory Toxicology and Pharmacology 26**, S3eS7.
- Tokaliog lu, S., Kartal, S., Elcibi, L., 2000. Determination of heavy metals and their speciation in
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lake sediments by flame atomic absorption spectrometry after a four-stage sequential extraction procedure. **Anal. Chim. Acta** **413**, 33–40.

Hartley, W., Edwards, R., Lepp, N.W., 2004. Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short- and longterm leaching tests.

Environmental Pollution **131**, 495e504.

Hazardous Waste Consultant, 1996. **Remediating Soil and Sediment Contaminated with Heavy Metal**, Nov/Dec. Elsevier Science, Netherlands

Ju-Yong ., Allen P.,2003. **Stabilization of Available Arsenic in Highly Contaminated Mine Tailings Using Iron**.Environ. Sci. Technol.37,189-195

Mehmet Erdem ., **Fikret Tumen., 2004. Chromium removal from aqueous solution by the ferrite process**.Hazardous Material B 109,71-77

Mulligan C.N. , R.N. Yong , B.F. Gibbs.2000. **Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soil and Groundwater : an Evaluation**. Engineering Geology 60. 193-207



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

1. การวัดค่าพีเอช

1. ชั่งดินแห้ง 5 g ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 5 mL พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอช กับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเล็กโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลากวน โดยใช้การหมุนอิเล็กโทรดเบาๆ (ระวัง! อิเล็กโทรดกระแทกแตกได้) อ่านค่าพีเอช

2. การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดิน (กองวิเคราะห์ดิน, 2547)

1. ชั่งดิน 5-10 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL
2. เติม(สารละลายเบเรียมคลอไรด์ 0.5 N และ 0.055 N ไทรอทานอลามีน) 50 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
3. กรองแบบลดความดันและล้างดินด้วยเบเรียมคลอไรด์ไทรอทานอลามีน 2-3 ครั้ง เทสารละลายที่กรองได้ใส่ขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วยสารละลายเบเรียมคลอไรด์ไทรอทานอลามีน
4. เทสารละลายดินที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 mL ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมอินดิเคเตอร์ 4-5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว
5. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริกก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 N ต้องเตรียมใหม่
6. ทำแบลนด์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน บันทึกปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.2 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดินและแบลนด์ (สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพูม่วงที่จุดยุติ)
7. คำนวณหาความเป็นกรดของดิน

การคำนวณ

$$\text{ความเป็นกรดของดิน} = \frac{(B-S) \times N \times 100}{X} \text{ meq / g dry soil} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ	N	=	ความเข้มข้นของ HCl (N)
	B	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (mL)
	S	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน(mL)
	X	=	น้ำหนักของดิน (g)

3. การหาความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 5-10 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1N ลงไป ประมาณ 60 mL ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ทิ้งค้างคืน
2. กรองด้วยระบบสุญญากาศ
3. ชะล้างตัวอย่างดินด้วย สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N จนกระทั่งไม่มีแคลเซียมเหลืออยู่ (ทดสอบได้โดยนำแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 2-3 หยด แอมโมเนียมออกซาลेट 10 % และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 50 % นำไปทำให้เดือด ถ้าเกิดตะกอนหรือสารละลายขุ่น แสดงว่ามีแคลเซียมตกค้างอยู่)
4. สารละลายดินที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท 1 N ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL ทำให้มีปริมาตร 100 mL ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 nm และวัดปริมาณโพแทสเซียมและโซเดียมด้วย Flame photometer ที่ความยาวคลื่น 383 และ 295 nm
5. ชะล้างตัวอย่างดินต่อ ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 1 N 4 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 0.25 N อีก 1 ครั้ง จากนั้นล้างด้วย เอธิลแอลกอฮอล์ 95 % ประมาณ 150-200 mL จนไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ (ทดสอบโดยใช้สารละลาย ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO₃ 0.1 N)
6. สำหรับสารละลายดินที่ได้จากข้อ 5 ทิ้งไป และล้างตัวอย่างดินต่อด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (acidified NaCl) 10 % เพื่อให้ Na⁺ ไล่ที่หรือแทนที่ NH₄⁺ ในดินจนได้สารละลายดินประมาณ 225 mL
7. เทสารละลายดินที่กรองได้ใส่ในขวดกลั่น (Kjeldahl flask) เติม Pumice stone ลงไปเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำสารละลายดินที่ได้ไปกลั่นเพื่อไล่ NH_4^+ ออกมาโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 % ลงไป 25 mL เพื่อให้สารละลายเป็นด่าง แอมโมเนียที่กลั่นได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก 3 %
9. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่น หยดอินดิเคเตอร์ผสม 5 หยด ทำให้เห็นสีของสารละลาย เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว แล้วไทเทรตกับไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 N จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงที่จุดยุติ
10. ทำแบลงค์ กลั่นและไทเทรตเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน

การคำนวณ

$$\text{CEC} = \frac{[(A - B)N \times 100]}{X} \quad \text{มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน} \quad \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (mL)
- B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์
- N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)
- X = น้ำหนักเป็นกรัมของตัวอย่างดิน

4. การหาค่าความชื้น (กองวิเคราะห์ดิน, 2547)

1. ชั่งกระถกนาฬิกาที่สะอาด
2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 g ลงบนกระถกนาฬิกาจดบันทึกน้ำหนักเปียก
3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
 $\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}} \quad \dots\dots\dots(3)$
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

5. การหาลักษณะเนื้อดิน

การปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์

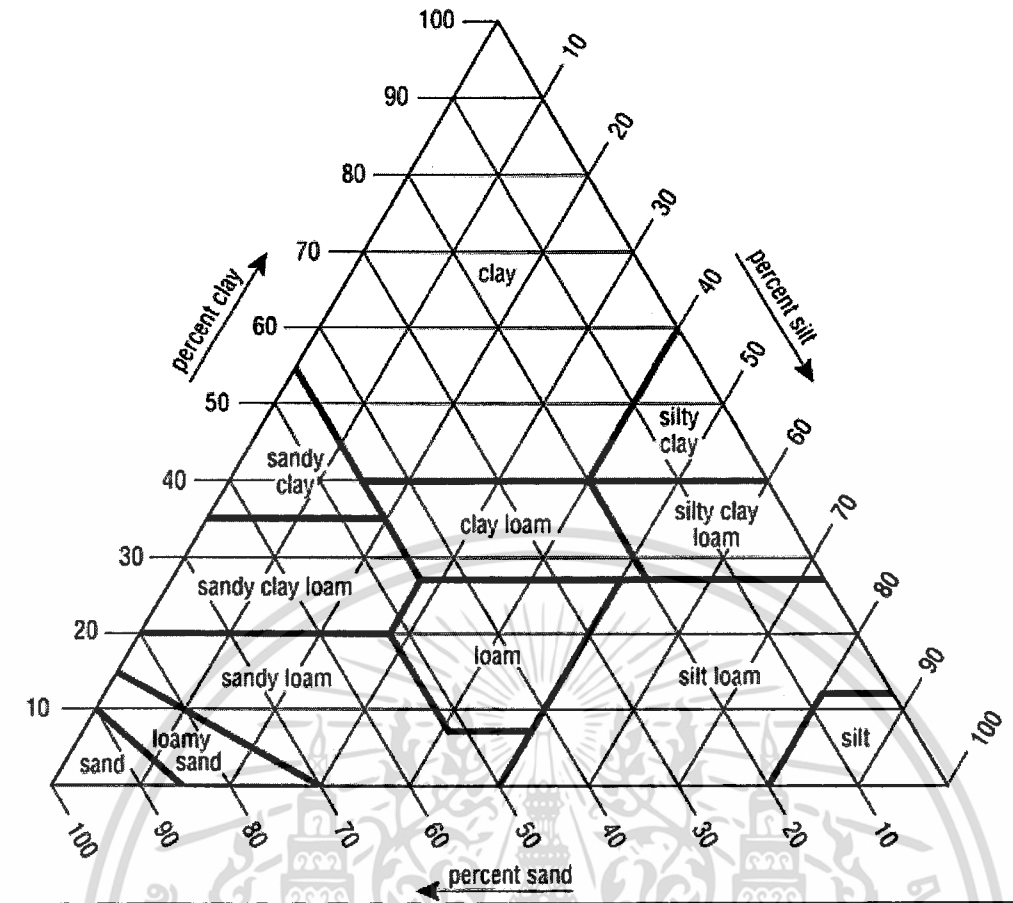
1. เทสารละลายคัลคอน ปริมาตร 100 mL ลงในกระบอกตวงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1.0 L ผสมให้ทั่วด้วยแท่งแก้วคนแบบ plunger ตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่ (อยู่ในช่วง 20-25 °C)
2. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในสารละลายอย่างระมัดระวัง อ่านค่าจากสเกลที่รอยเว้าบนของของเหลวที่ล้อมรอบไฮโดรมิเตอร์

การอ่านค่าจากสารแขวนลอย

1. ชั่งดินที่ผึ่งแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช แล้ว 40 g (ถ้าเป็นดินทรายร่วนหรือดินทรายใช้ 100 g) ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 mL เติมสารละลายคัลคอน 100 mL และน้ำประมาณ 300 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
2. ชั่งดินตัวอย่างเดิมอีก 10 g เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และน้ำหนักแห้งแล้วนำไปอบที่ 105 °C 1 คืน ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์และชั่งน้ำหนัก
3. นำสารแขวนลอยดินจากข้อ 1 มาควนด้วยเครื่องควนแม่เหล็กประมาณ 5 นาที แล้วเทลงกระบอกตวงขนาด 1 L
4. ปรับปริมาตรสารในข้อ 3 ด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด 1 L ทิ้งไว้จนอุณหภูมิคงที่
5. จุ่มแท่งแก้วคนแบบ plunger แบบขึ้น-ลง เบา ๆ เพื่อให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วถึงทั้งกระบอกตวง (ให้หมุนขึ้นลงแบบเกลียวสว่าน 2-3 รอบ) บันทึกเวลาเมื่อคนเสร็จ (เดิม 1 หยดของเอมิลแอลกอฮอล์ ถ้าที่ผิวของสารแขวนลอยเป็นฟอง)
6. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงอย่างระมัดระวังในสารแขวนลอยและอ่านสเกลเหมือนหัวข้อการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที หลังจากการควนผสม ค่าที่อ่านได้ควรหักลบจากค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์
7. ค่อย ๆ ดึงไฮโดรมิเตอร์ขึ้นอย่างระมัดระวังเมื่ออ่านเสร็จ ล้างและเช็ดให้แห้ง
8. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้ง โดยทำเหมือนข้อ 6 และ 7

ข้อควรระวัง

การหาขนาดของอนุภาคด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์นี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ดินตัวอย่างมีหินปูนมากหรือเป็นดินเค็ม หรือมีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 2 %



รูปที่ ข-1 สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อสัมผัสของดิน

การคำนวณ

$$\% \text{ Sand} = [100 - (\% \text{ Silt} + \% \text{ Clay})] \dots\dots\dots(4)$$

$$\% \text{ Clay} = [R_s \text{ ที่ 2 ชั่วโมง} \times 100] / \text{น้ำหนักดิน} \dots\dots\dots(5)$$

$$\% \text{ Silt} = [\% \text{ Silt} + \% \text{ Clay}] - \% \text{ Clay} \dots\dots\dots(6)$$

$$\% \text{ Silt} + \% \text{ Clay} = [R_s \text{ ที่ 40 วินาที} \times 100] / \text{น้ำหนักดิน} \dots\dots\dots(7)$$

$$R_c = \text{blank} - 0.5(29 - R'_s)$$

$$R'_s = \text{ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์} - R_c$$

$$R_s = R'_s + 0.36(\text{อุณหภูมิของสารละลายดิน} - 20^\circ\text{C})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปริมาณสารอินทรีย์วัตถุในดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

วิธี Walkley and Black

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในขวดรูปหมพุงขนาด 250 ml
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N ลงไป 10 mL โดยใช้ปิเปต
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 15 mL เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ในดิน และน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 mL ทิ้งไว้ให้เย็น เย็น (หยุดอินดิเคเตอร์ ออร์โทฟีแนนโทรอลีน 5 หยด)
5. ไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยน้ำยาเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ โพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยา จนกระทั่งสีของสารละลายดิน เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณ โพแทสเซียมไดโครเมตและเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลงค์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \left[\frac{(B-T)N}{B} \right] \times \left[\frac{100}{77} \right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X} \right] \times 10 \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ	N	=	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต
	B	=	จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลงค์
	T	=	จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน
	X	=	น้ำหนักดิน

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{หรือ} \quad \% \text{ Organic matter} = \left[\frac{(B-T)N}{B} \right] \times \left[\frac{100}{77} \right] \times \left[\frac{100}{58} \right] \times 0.003 \times \left[\frac{100}{X} \right] \times 10 \dots\dots\dots (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด

วิธี Microwave digester

1. นำดินตัวอย่างมา 0.25 กรัม ใส่ลงใน TFM vessel ขนาด 250 มิลลิลิตร
 2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
 3. เติมนครดไนตริก 65% จำนวน 9 มิลลิลิตร ถ้าส่วนของตัวอย่างเกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
 4. ปิด vessel และใส่เข้าไปใน ส่วนที่หมุน(rotor segment) ทำการหมุนล็อคให้แน่น
 5. ใส่ segment ส่วนที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่องไมโครเวฟและต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ
 6. ทำการเปิดเครื่องในเครื่องทำตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนเสร็จสมบูรณ์
 7. นำ segment มาทำให้เย็นโดยอากาศ/น้ำ กระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง
 8. เปิด vessel ทำการกรอง และถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร
 9. ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายตัวอย่าง
 10. นำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์(AAS)
- ที่ความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร รายงานผลปริมาณโครเมียมทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

โปรแกรม Microwave

Step	Time	Temperature	Microwave Power
1.	5 minutes	180°C	up to 1000 walt
2.	10 minutes	180°C	up to 1000 walt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ปริมาณโครเมียมที่ชะละลาย

1. นำดินตัวอย่างมา 0.5 กรัมใส่ลงในภาชนะ
2. เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัด (สารละลาย 0.2 M Sodium citrate ที่พีเอช 5.0 ± 0.1 โดยเตรียมจากการนำสารละลาย Citric acid ในปริมาณที่เหมาะสมมาปรับพีเอชให้เป็น 5.0 ด้วยสารละลาย 0.4 N NaOH) ลงในตัวอย่าง
3. นำของผสมไปใส่ในภาชนะด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 15 นาที
4. ปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็วและนำไปแช่เย็นเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
5. นำไปปั่นเหวี่ยง หลังจากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน โดยใช้การกรองแบบลดความดัน
6. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 25 มิลลิลิตร (แต่ถ้าต้องการรักษาสภาพปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 2%)
7. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรมิเตอร์ (ในกรณีวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลาย) และนำไปวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (ในกรณีวิเคราะห์หาเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย)

10. ปริมาณเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมในดิน

ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน โครเมียม
 - เตรียมสารละลายมาตรฐาน โครเมียมจากสารละลายสต็อกโครเมียม 1000 ppm ให้ได้ความเข้มข้น 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 ppm ($N_1 V_1 = N_2 V_2$)
 - ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียมสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต (สารที่ย่อย)
 - ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 กรัม และโซเดียมคาร์บอเนต 30 กรัม
 - ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. การเตรียมแมกนีเซียมคลอไรด์อบแห้ง
 - นำแมกนีเซียมคลอไรด์ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C
 - ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปใช้
4. การเตรียมสารละลายผสมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตและโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (ฟอสเฟตบัฟเฟอร์)
 - ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 87.09 กรัม และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 68.04 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานส่งเสริมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม สำนักงานส่งเสริมการศึกษานานาชาติ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเตรียมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์

- ชั่ง ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ 0.5 กรัม
- ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยอะซิโตน(ทำในตู้ดูดควัน)

ขั้นตอนการทดลองตามวิธีมาตรฐาน USEPA Method 3060A

1. นำดินตัวอย่างมา 0.25 กรัมใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต 50 มิลลิลิตร
3. เติมแมกนีเซียมคลอไรด์ที่อบแห้งแล้ว 400 มิลลิกรัม
4. เติมสารละลายผสมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตและโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5 มิลลิลิตร
5. ปิดปากขวดด้วยฟอยล์และนำไปเขย่าเป็นเวลา 5 นาที
6. นำไปใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งอุณหภูมิไว้ 95 °C เขย่าทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
7. ตั้งทิ้งให้เย็น
8. หลังจากนั้นนำไปกรองแบบลดความดัน
9. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
10. บีบสารละลายมา 5 มิลลิลิตรและเติมสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ 2 มิลลิลิตรก่อนเขย่าให้เข้ากัน
11. ปรับพีเอชของสารละลายให้ได้ 2.0 ± 0.5 ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10%
12. ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
13. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข-1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโครเมียม

คุณสมบัติ	รายละเอียด
เลขอะตอม	24 เป็นธาตุแรกของหมู่ VIB ในตารางธาตุ
น้ำหนักอะตอม	จัดเป็น โลหะ และ โลหะทรานซิชัน 51.996 amu
จุดหลอมเหลว	1875°C
จุดเดือด	2199°C
ความหนาแน่น	7.19 g/cc ที่ 20°C
โครงสร้างอิเล็กตรอนิก	(Ar) 4s ¹ 3d ⁵
เลขออกซิเดชันสามัญ	+2 , +3 และ +6
ไอโซโทปเสถียร	⁵⁰ Cr (4.31%) , ⁵² Cr (83.76%) ⁵⁰ Cr (9.55%) , ⁵² Cr (2.356%)
โครงสร้างผลึก (ที่ 20°C)	Body – centered cubic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

ตารางที่ ก-1 พีเอชของดินตัวอย่างก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	1:1(ดินต่อน้ำ)
1	3.11
2	3.10
3	3.09
เฉลี่ย	3.10
SD	0.0082

ตารางที่ ก-2 พีเอชของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริสซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	ค่าพีเอช	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	1	3.20	3.2033	0.0125
	2	3.22		
	3	3.19		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	1	3.36	3.3833	0.0170
	2	3.40		
	3	3.39		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 2	1	3.56	3.5800	0.0164
	2	3.60		
	3	3.58		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 พีเอชของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	ค่าพีเอช	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	2.98	2.9567	0.0170
	2	2.95		
	3	2.94		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	3.34	3.3200	0.0163
	2	3.32		
	3	3.30		
Cr : Fe ³⁺ = 1:2	1	3.37	3.3600	0.0082
	2	3.35		
	3	3.36		

ตารางที่ ก-4 ความเป็นกรด

น้ำหนักโซเดียมเตตระโบรเฮท (กรัม)	0.4005
ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)	0.2121

ตัวอย่าง ดิน	น้ำหนักดิน เปียก (กรัม)	ปริมาตร HCl (มิลลิลิตร)	ความเป็นกรด(meq/g ดินแห้ง)
blank	0.00	21.05	-
1	5.14	14.30	0.2926
2	5.03	14.20	0.3034
3	5.02	14.30	0.3996
		เฉลี่ย	0.2985
		SD	0.0045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-5 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล) 0.0994

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดิน (กรัม)	ปริมาตร HCl (มิลลิลิตร)	CEC(meq/100g)
blank	0.00	0.6	-
1	5.01	5.45	9.6226
2	5.01	5.5	9.7218
3	5.00	5.5	9.7412
		เฉลี่ย	9.6952
		SD	0.0520

ตารางที่ ค-6 ความชื้นของดินตัวอย่างก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น
1	10.0058	9.5148	4.9072
2	10.0073	9.5373	4.6966
3	10.0116	9.5299	4.8093
		เฉลี่ย	4.8044
		SD	0.0954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่างดิน	น.น.ดิน เปียก	น.น.ดิน แห้ง	%ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	1	10.0048	9.3734	6.3110	6.3071	0.0033
	2	10.0035	9.3730	6.3028		
	3	10.0042	9.3732	6.3074		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	1	10.0022	9.2350	7.6703	7.6638	0.0059
	2	10.0026	9.2368	7.6560		
	3	10.0024	9.2357	7.6652		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 2	1	10.0054	9.3667	6.3836	6.3843	0.0014
	2	10.0060	9.3670	6.3862		
	3	10.0062	9.3675	6.3830		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ความชื้นของดินตัวอย่างหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่างดิน	น.น.ดิน เปียก	น.น.ดิน แห้ง	%ความชื้น	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	10.0006	9.3259	6.7466	6.7463	0.0025
	2	10.0015	9.3271	6.7430		
	3	10.0012	9.3267	6.7492		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	10.0004	9.3815	6.1888	6.1856	0.0039
	2	10.0024	9.3842	6.1801		
	3	10.0016	9.3827	6.1880		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 2	1	10.0002	9.2336	7.6658	7.6673	0.0021
	2	10.0016	9.2349	7.6658		
	3	10.0011	9.2340	7.6702		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 การกระจายตัวของอนุภาค

น้ำหนักดิน (กรัม)	40
อุณหภูมิของสารละลายดิน(°C)	29

ตัวอย่างดิน	ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (กรัมต่อลิตร)	
	40 วินาที	2 ชั่วโมง
blank	2.00	20.00
1	31.00	22.00
2	31.00	22.00
3	31.00	22.00
เฉลี่ย	31.00	22.00

ตารางที่ ก-10 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตด้วย FAS (มิลลิลิตร)	%OM
blank	0.0000	19.70	0.0000
1	0.4755	15.50	3.0117
2	0.4765	15.60	2.9337
3	0.4760	15.60	2.9368
เฉลี่ย	0.4760	15.57	2.9607
		SD	0.0361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด (ppm)	ความเข้มข้นโครเมียมหะละลาย (มก./กก. ดินแห้ง)
1	0.2512	1.581	314.8885
2	0.2523	1.533	304.0032
3	0.2518	1.551	308.1811
		เฉลี่ย	309.0243
		SD	4.4837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-11 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด (ppm)	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	1	0.2517	1.713	340.2861	344.9413	6.1420
	2	0.2514	1.778	353.6197		
	3	0.2505	1.708	340.9182		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	1	0.2507	1.215	242.5209	243.2755	9.5059
	2	0.2511	1.281	255.2768		
	3	0.2504	1.161	232.0288		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 2	1	0.2509	1.612	321.2435	296.0056	18.4933
	2	0.2514	1.395	277.4463		
	3	0.2511	1.453	289.3270		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-12 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด (ppm)	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	0.2651	1.730	326.2920	319.6227	18.2724
	2	0.2659	1.797	337.9090		
	3	0.2569	1.514	294.6672		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	0.2508	1.185	236.2440	270.8808	24.9938
	2	0.2586	1.459	282.0959		
	3	0.2545	1.498	294.3026		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 2	1	0.2457	1.655	336.7928	303.9271	23.8251
	2	0.2534	1.425	281.1760		
	3	0.2505	1.472	293.8124		

ตาราง ค-13 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่าง ดิน	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ค่า Abs	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์ โครเมียม (ppm)	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์ โครเมียม (มก./กก. ดินแห้ง)
1	0.1267	0.016	0.0113	178.3741
2	0.1258	0.018	0.0142	225.7552
3	0.1269	0.017	0.0127	200.1576
เฉลี่ย				201.4290
SD				19.3641

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-14 ความเข้มข้นเอกซวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง วงดิน	น.น.ดิน แห้ง	ค่า Abs	ความ เข้มข้นเฮ กซวา เลนซ์ โครเมียม ทั้งหมด (ppm)	ความ เข้มข้นเฮ กซวา เลนซ์ โครเมียม ทั้งหมด (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
$\text{Cr} : \text{Fe}^{2+} =$ 1 : 1	1	0.1276	0.009	0.0012	18.8088	25.8424	10.1428
	2	0.1294	0.010	0.0026	40.1855		
	3	0.1295	0.009	0.0012	18.5328		
$\text{Cr} : \text{Fe}^{2+} =$ 1 : 1.5	1	0.1281	0.012	0.0055	85.8704	84.4389	16.9670
	2	0.1302	0.011	0.0041	62.9800		
	3	0.1321	0.013	0.0069	104.4663		
$\text{Cr} : \text{Fe}^{2+} =$ 1 : 2	1	0.1361	0.014	0.0084	123.4386	135.8415	12.6716
	2	0.1284	0.014	0.0084	130.8411		
	3	0.1279	0.015	0.0098	153.2447		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-15 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ค่า Abs	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียม ทั้งหมด (ppm)	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียม ทั้งหมด (มก./กก.ดิน แห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	0.1266	0.002	-0.0090 (ND)	-142.1800 (ND)	-119.2939 (ND)	18.5489
	2	0.1261	0.004	-0.0061 (ND)	-96.7848 (ND)		
	3	0.1265	0.003	-0.0075 (ND)	-118.9532 (ND)		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	0.1262	0.005	-0.0046 (ND)	-72.9001 (ND)	-65.4393 (ND)	10.4698
	2	0.1264	0.005	-0.0046 (ND)	-72.7848 (ND)		
	3	0.1264	0.006	-0.0032 (ND)	-50.6329 (ND)		
Cr : Fe ³⁺ = 1:2	1	0.1257	0.009	0.0012	19.0930	18.5796	18.8736
	2	0.1253	0.008	-0.0003 (ND)	-4.7885 (ND)		
	3	0.1255	0.010	0.0026	41.4343		

หมายเหตุ ND – ไม่ตรวจพบการปรับเสถียร (NOT DETECTED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-16 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดิน แห้ง (กรัม)	ความเข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด ที่ชะละลาย (มก./กก. ดิน แห้ง)
1	2.5042	79.3866
2	2.5097	81.0256
3	2.5048	78.4194
	ค่าเฉลี่ย	79.6105
	SD	1.0757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-17 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด ชะละลาย (ppm)	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด ชะละลาย (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	1	2.5198	4.598	45.6385	46.4850	0.6314
	2	2.5252	4.763	47.1547		
	3	2.5208	4.705	46.6618		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	1	2.5323	5.190	51.2380	56.9227	5.5478
	2	2.5218	6.501	64.4480		
	3	2.5176	5.547	55.0822		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 2	1	2.5173	5.147	51.1163	54.3986	2.6604
	2	2.5267	5.825	57.6345		
	3	2.5153	5.478	54.4449		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-18 ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด ชะละลาย (ppm)	ความ เข้มข้น โครเมียม ทั้งหมด ชะละลาย (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	2.5330	6.861	67.7063	67.0884	0.7205
	2	2.5467	6.775	66.5076		
	3	2.5350	6.799	67.0513		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	2.5155	6.629	65.8815	65.3390	0.4835
	2	2.5399	6.574	64.7073		
	3	2.5230	6.603	65.4281		
Cr : Fe ³⁺ = 1:2	1	2.5275	2.657	26.2809	25.7511	0.5283
	2	2.5190	2.522	25.0298		
	3	2.5065	2.601	25.9425		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-19 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลายก่อนปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ค่า Abs	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย (ppm)	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย (มก./กก. ดินแห้ง)
1	2.5012	0.372	0.5258	5.2375
2	2.5009	0.349	0.4926	4.9182
3	2.5121	0.409	0.5793	5.7721
			เฉลี่ย	5.3093
			SD	0.3523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-20 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ค่า Abs	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียม ที่ชะ ละลาย (ppm)	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียม ที่ชะ ละลาย (มก./กก. ดินแห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	1	2.5076	0.187	0.2584	2.5921	2.5982	0.0170
	2	2.5180	0.190	0.2628	2.6211		
	3	2.5033	0.188	0.2599	2.5814		
Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	1	2.5049	0.173	0.2382	2.3953	2.3697	0.0182
	2	2.5025	0.171	0.2353	2.3576		
	3	2.5041	0.172	0.2367	2.3561		
Cr : Fe ²⁺ = 1:2	1	2.5365	0.139	0.1890	1.8529	1.9079	0.0432
	2	2.5020	0.143	0.1948	1.9584		
	3	2.5100	0.142	0.1934	1.9124		

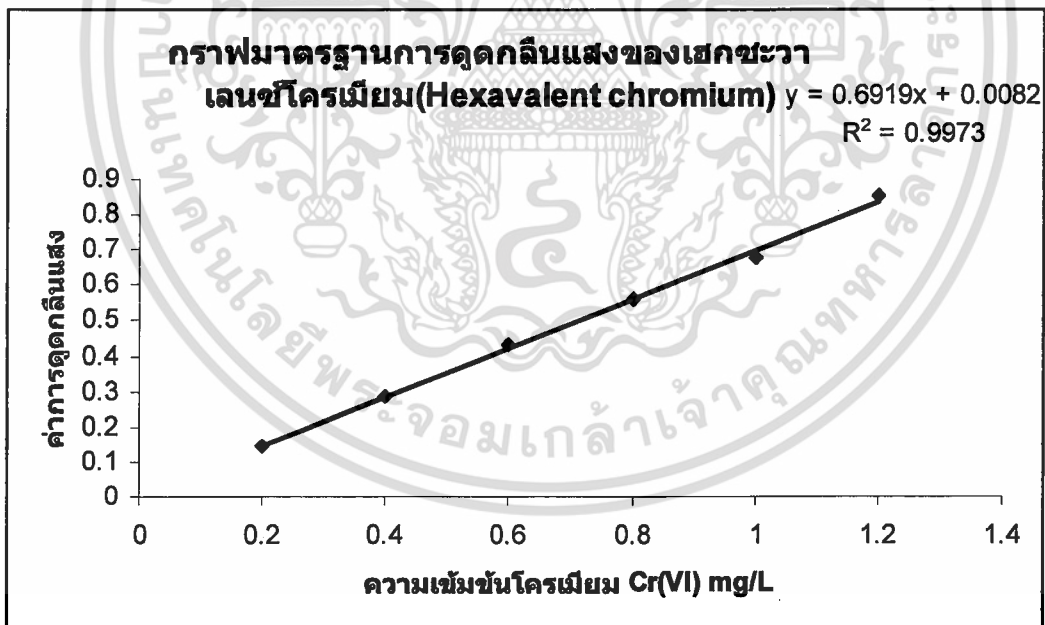
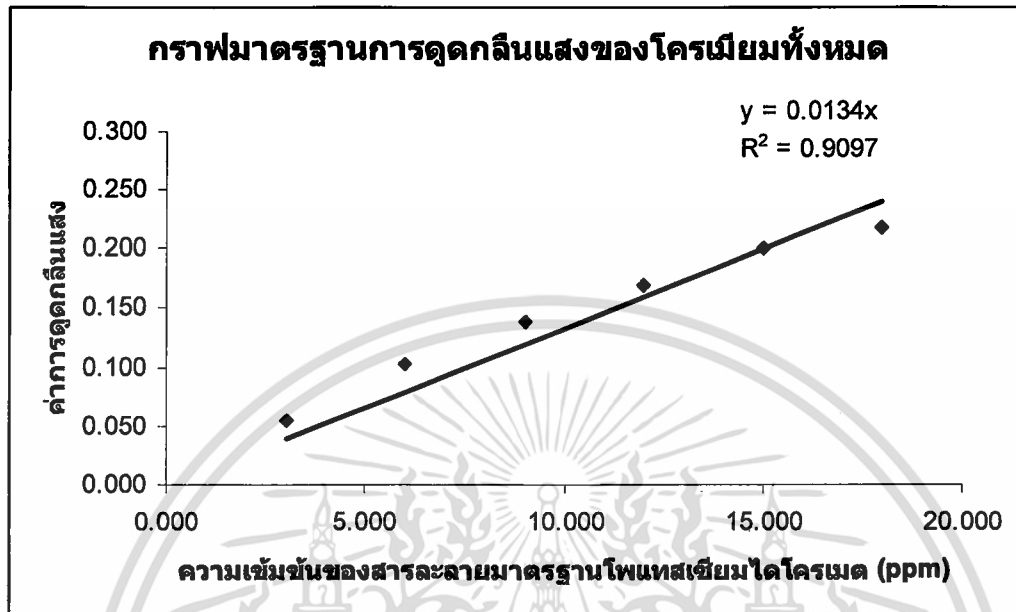
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-21 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลายหลังปรับเสถียรด้วยเฟอร์ริกซัลเฟต

สัดส่วน โมล	ตัวอย่าง ดิน	น.น.ดิน แห้ง	ค่า Abs	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียม ที่ชะ ละลาย (ppm)	ความ เข้มข้น เฮกซะวา เลนซ์ โครเมียมที่ ชะละลาย (มก./กก.ดิน แห้ง)	ค่าเฉลี่ย	SD
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	1	2.5072	0.075	0.0965	0.9622	0.9440	0.0265
	2	2.5062	0.075	0.0965	0.9626		
	3	2.5024	0.071	0.0908	0.9071		
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	1	2.5175	0.090	0.1182	1.1738	1.0896	0.0608
	2	2.5087	0.080	0.1038	1.0344		
	3	2.5154	0.082	0.1067	1.0605		
Cr : Fe ³⁺ = 1:2	1	2.5078	0.154	0.2107	2.1004	2.182	0.0400
	2	2.5126	0.161	0.2208	2.1969		
	3	2.5042	0.157	0.2151	2.1474		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลที่ได้ทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลที่ได้ทั้งก่อนและหลังปรับเสถียร

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ชะละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)		% การปรับเสถียร	
			ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่ชะละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมที่ชะละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)		
ไม่เค็มหลัก	309.0243	201.4290	79.6105	5.3093	ND	
เค็ม Fe ²⁺	Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1	344.9413	25.8424	46.4850	2.5982	41.61
	Cr : Fe ²⁺ = 1 : 1.5	243.2755	84.4389	56.9227	2.3697	28.50
	Cr : Fe ²⁺ = 1 : 2	296.0056	135.8415	54.3986	1.9079	31.67
เค็ม Fe ³⁺	Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1	319.6227	-119.2939	67.0884	0.9440	15.73
	Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	270.8808	-65.4393	65.3390	1.0896	17.93
	Cr : Fe ³⁺ = 1 : 2	303.9271	18.5796	25.7511	2.1482	67.65

หมายเหตุ ND – ไม่ตรวจพบการปรับเสถียร (NOT DETECTED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 แสดงประสิทธิภาพการปรับเสถียรเฮกซะวาเลนซ์โครเมียมและไตรวาเลนซ์โครเมียม

ตัวอย่างดิน	ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมด (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้น Cr^{6+} (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้น Cr^{3+} (mg/kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นโครเมียมที่ละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)			% การปรับเสถียรของ Cr^{6+}	% การปรับเสถียรของ Cr^{3+}		
				ความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่ละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นของ Cr^{6+} ที่ละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)	ความเข้มข้นของ Cr^{3+} ที่ละลาย (mg/ kg ดินแห้ง)				
ไม่เติมเหล็ก	ครั้งที่ 1	314.8885	178.3741	136.5144	79.3866	5.2375	74.1491	1.3523	0.2084	
	ครั้งที่ 2	304.0032	225.7552	78.2480	81.0256	4.9182	76.1074	7.3663	ND	
	ครั้งที่ 3	309.1811	200.1576	109.0235	78.4194	5.7721	72.6473	ND	0.9777	
เติม Fe^{2+}	Cr : Fe^{2+} = 1 : 1	ครั้งที่ 1	340.2861	18.8088	321.4773	45.6385	2.5921	43.0464	51.1781	42.0651
		ครั้งที่ 2	353.6197	40.1855	313.4342	47.1547	2.6211	44.5336	50.6319	40.0635
		ครั้งที่ 3	340.9182	18.5328	322.3854	46.6618	2.5814	44.0804	51.3796	40.6734
	Cr : Fe^{2+} = 1 : 1.5	ครั้งที่ 1	242.5209	85.8704	156.6505	51.2380	2.3953	48.8427	54.8848	34.2640
		ครั้งที่ 2	255.2768	62.9800	192.2968	64.4480	2.3576	62.2904	55.5949	16.1651
		ครั้งที่ 3	232.0288	104.4663	127.5625	55.0822	2.3561	52.7261	55.6232	29.0374

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cr : Fe ²⁺ = 1:2	ครั้งที่ 1	321.2435	123.4386	197.8049	51.1163	1.8529	49.2634	65.1009	33.6978
ครั้งที่ 2		277.4463	130.8411	146.6052	57.6345	1.9584	55.6761	63.1138	25.0671	
ครั้งที่ 3		289.3270	153.2447	136.0823	54.4449	1.9124	52.5325	63.9802	29.2980	
เติม Fe ³⁺ = 1:1	Cr : Fe ³⁺ = 1:1	ครั้งที่ 1	326.2920	ND	326.2920	67.7063	0.9622	66.7441	81.8771	10.1710
		ครั้งที่ 2	337.9090	ND	337.9090	66.5076	0.9626	65.5450	81.8695	11.7849
		ครั้งที่ 3	294.6672	ND	294.6672	67.0513	0.9071	66.1442	82.9149	10.9784
Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	Cr : Fe ³⁺ = 1 : 1.5	ครั้งที่ 1	236.2440	ND	236.2440	65.8815	1.1738	64.7077	77.8916	12.9118
		ครั้งที่ 2	282.0959	ND	282.0959	64.7073	1.0344	63.6729	80.5172	14.3045
		ครั้งที่ 3	294.3026	ND	294.3026	65.4281	1.0605	64.3676	80.0256	13.3695
Cr : Fe ³⁺ = 1:2	Cr : Fe ³⁺ = 1:2	ครั้งที่ 1	336.7928	19.0930	317.6998	26.2809	2.1004	24.1805	60.4392	67.4562
		ครั้งที่ 2	281.1760	ND	281.1760	25.0298	2.1969	22.8329	58.6217	69.2699
		ครั้งที่ 3	293.8124	41.4343	257.3781	25.9425	2.1474	23.7951	59.5540	67.9749

หมายเหตุ ND – ไม่ตรวจพบการปรับเสถียร (NOT DETECTED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้