

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การล้างโครเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อน
ด้วยสารละลายโซเดียมโอดีเตซิลซัลเฟต



T107745



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....107745
วัน,เดือน,ปี.....10 พ.ค. 2553

b.....1221047x
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Chromium-Contaminated Soils Washing using
Sodiumdodecylsulfate Surfactant**



**Mr. Thanakorn Pipitsak
Mr. Teeranunt Kachibthong**

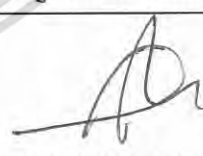
**A Special Project Submitted in Partial fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การล้างโครเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยสารละลายโซเดียม
 โดเดซิลซัลเฟต
นักศึกษา นายชนากร พิพิธศักดิ์
 นายธีรนนท์ กระจิบทอง
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
กรรมการ ผศ.กรองแก้ว พิพิธศักดิ์	 
กรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	 
กรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	 



 (ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การล้างโครเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนด้วยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต
นักศึกษา	นายธนากร พิพิธศักดิ์ นายธีรนนท์ กระฉิบทอง
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2548
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการล้างโครเมียมออกจากดินที่มีการปนเปื้อนโดยใช้สารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต ดินที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นดินที่นำมาจากการศึกษาการดูดซับโครเมียมของต้นก้างปลา หลังจากที่ใช้ขูดซับโครเมียมออกจากดินแล้วดึงต้นพืชออกเก็บดินนี้ไว้ในถุงพลาสติกประมาณ 20 เดือนซึ่งในการวิจัยครั้งนี้นำดินมาใช้โดยแบ่งดินเป็น 3 ชุดคือ ชุดที่ 1 คือดินที่นำไปปลูกต้นก้างปลาเพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียมแล้วทิ้งไว้ 20 เดือน ชุดที่ 2 เป็นดินที่มีการเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตลงไป 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วจึงนำไปใช้ปลูกต้นก้างปลาทิ้งไว้ 20 เดือน ชุดที่ 3 เป็นการนำดินชุดที่ 1 มาเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำดินทั้ง 3 ชุดมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตโดยระยะเวลาที่ศึกษาคือ 7, 50, 60 และ 80 วัน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การล้างดินที่ปนเปื้อนโครเมียมนั้น ออกมาได้ร้อยละเห็นได้ชัดเจนในดินชุดที่ 3 โดยที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน ประสิทธิภาพในการชะล้างในดินชุดที่ 3 มีค่าเท่ากับ 68.30, 74.57, 74.61 และ 41.70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำสำคัญ: โครเมียม(VI), การล้างดิน, โซเดียมโคเดซิลซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Chromium-Contaminated Soils Washing using Sodiumdodecylsulfate Surfactant
Name	Mr.Thanakorn Pipitsak Mr.Teeranunt Kachibthong
Department	Chemistry
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Asst.Prof.Pitsamai Chairatu-tai Dr.Wiboon Praditweangkum

ABSTRACT

Washing of chromium contaminated soil was studied in this special project. Washing solution used was sodiumdodecylsulfate. The 2 samples of contaminated soils were from the prior special project studied about the efficiency of plant uptake of chromium then were left for 20 months. Then the uncontaminated soil sample 1 was spiked with potassium dichromate at concentration of 400 ppm. The period of observation were varied to be 7, 50, 60 and 80 days. From the experimental results was found that at 7, 50 and 60 days of the observation the percents of removal are less than 80 days especially in soil simple 3. The percent of washing at soil sample 3 are 68.30, 74.57, 74.67 and 41.70 percent at 7, 50, 60 and 80 days respectively.

Key words:chromium(VI), soil washing, sodiumdodecylsulfate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี สืบเนื่องมาจากความร่วมมือและความกรุณาของคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.พิศมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คือ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาติดตาม ตรวจสอบ แก้ไข และเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้สามารถทำโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายชนากร พิพิชศักดิ์

นายธีรนนท์ กระจิบทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 มลพิษทางดิน	2
2.2 สารลดแรงตึงผิว	4
2.3 โลหะหนัก	6
2.4 โครเมียม	7
2.5 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน	13
2.6 การล้างดิน	14
2.7 โซเดียมโอดีเซิลซัลเฟต	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 ดินที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 วิธีการทดลอง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน	22
4.2 ปริมาณ โครเมียมที่มีอยู่ในดินและสารละลาย	24
4.3 การศึกษาปริมาณ โครเมียมที่มีอยู่ในดินที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน	25
4.4 การศึกษาปริมาณ โครเมียมที่มีอยู่ในสารละลายที่ถูกชะล้างออกจากดิน ที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน	26
4.5 ประสิทธิภาพในการชะล้างดิน	27
4.6 เปอร์เซ็นต์โครเมียมที่อยู่ในดินและในสารละลาย	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การเตรียมสารละลายสต็อกโครเมียม 1000 พีพีเอ็ม	33
ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียม	35
ภาคผนวก ค. การเตรียมสารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต	38
ภาคผนวก ง. วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน	40
ภาคผนวก จ. การคำนวณปริมาณ โครเมียม	44
ภาคผนวก ฉ. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินและในสารละลาย เปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าพีเอช	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน	22
4.2 แสดงปริมาณ โครเมียมที่วิเคราะห์ได้ในดิน	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ กับ ค่าพีเอช	8
2.2 สูตรโครงสร้างโซเดียมโครเมตไฮดรอกไซด์	15
4.1 แสดงปริมาณโครเมียมในดินชนิดต่างๆ	23
4.2 แสดงปริมาณโครเมียมในดินที่ระยะเวลาต่างๆ	25
4.3 แสดงปริมาณโครเมียมในสารละลายที่ระยะเวลาต่างๆ	26
4.4 แสดงประสิทธิภาพในการล้างโครเมียมออกจากดิน ด้วยสารละลายโซเดียมโครเมตไฮดรอกไซด์	27
4.5 เปอร์เซ็นต์โครเมียมที่อยู่ในดินและในสารละลาย	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมที่ใช้โครเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น อุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า การผลิตหลอดภาพโทรทัศน์ โครเมียมอาจเข้าสู่ร่างกายได้จากการกินอาหาร ดื่มน้ำ หรือการหายใจเอาฝุ่นผงโครเมียมเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศและจะมีปัญหาเนื่องจากการปนเปื้อนในดิน จึงมีการฟื้นฟูสภาพดินโดยการล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออน คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecylsulphate : SDS) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิว ตัวยาคระหู่ และสภาพของดินที่ทำการฟื้นฟูจะมีการปนเปื้อนโครเมียมซึ่งจากการวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการฟื้นฟูสภาพดินโดยใช้พืชดูดซับโครเมียมออกจากดินผลการทดลองพบว่าพืชสามารถดูดซับโครเมียมได้เพียงบางส่วนและมีบางส่วนเหลืออยู่ในดินงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำดินที่ปนเปื้อนโครเมียมมาฟื้นฟูสภาพดินโดยวิธีการล้างด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างดินที่ปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ด้วยสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต
2. ศึกษาประสิทธิภาพการล้างดินด้วยแปรค่าระยะเวลาที่โครเมียมสะสมในดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินที่ทำการทดลองฟื้นฟูสภาพดินที่ปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์โดยปลูกต้นก้างปลาไว้ 60 วัน
2. ระยะเวลาที่โครเมียมสะสมในดินคือ 7, 50, 60 และ 80 วัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถกำจัดโครเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อนให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อนำดินกลับคืนสู่ธรรมชาติและลดสารพิษในสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มลพิษทางดิน

มลพิษทางดิน หมายถึง ภาวะการปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (soil pollutant) มากเกินขีดจำกัด จนมีอันตรายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์

ปกติดินในธรรมชาติจะยอมให้สารที่เป็นพิษอยู่ได้ในระดับหนึ่ง โดยไม่ทำให้โครงสร้างทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยาของดินเปลี่ยนไป และดินยังสามารถให้ประโยชน์ต่อมนุษย์ พืช หรือสัตว์ได้เหมือนเดิมแต่เมื่อปริมาณสารพิษในดินมีเพิ่มมากขึ้นจนทำให้โครงสร้างทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยาของดินเปลี่ยนไป จนไม่สามารถให้ประโยชน์แก่ มนุษย์ สัตว์ และพืชได้ดีเหมือนเดิม ดินในสภาพดังกล่าวจึงเรียกว่ามลพิษทางดิน สารมลพิษในดินมีหลายชนิดเป็นต้นว่า ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท เกลือ สารหนู ฯลฯ ถ้ามีมากเกินไปจนขีดจำกัดที่พืชรับได้ มีผลทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโต ชะงัก ตาย หรือสารพิษอาจจะถูกพืชดูดซึมเข้าไป สะสมในห่วงโซ่อาหาร เช่น ในผักผลไม้ เนื้อสัตว์และเคลื่อนย้ายออกไปตามขบวนการชะล้าง ทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ดินมีศักยภาพในการให้ผลผลิตลดลงก็จัดเป็นมลพิษทางดินเช่นกัน

2.1.1 สาเหตุของการเกิดมลพิษในดิน

ดินเสียเกิดได้จากหลายสาเหตุ เนื่องจากธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ สาเหตุของการเกิดดินเสียมีหลายกรณี ได้แก่

- เกิดจากวัสดุต้นกำเนิด (Parent materials) แร่ประกอบหินบางชนิดเมื่อสลายตัวทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนไปทำให้ดินมีความพิษมากขึ้น เช่น ดินเป็นกรดหรือดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินมีสารกำมะถันตกค้างสูง โลหะหนักปนเปื้อน เป็นต้น

- เกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีในดิน เช่น ดินตะกอน ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสะสมมาก และมีน้ำท่วมขังเสมอ ขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินจะทำให้เกิดสภาพกรดสะสมในดิน ทำให้ดินเป็นกรดได้ดังเช่นดินในที่ลุ่มภาคกลางดินพรุ เป็นต้น

- เกิดจากปุ๋ยเคมี ธาตุปุ๋ยหรือธาตุอาหารของพืช โดยปกติจะมีอยู่ในดินเสมอไม่มากนักน้อย เช่น ดินในป่าไม้ที่สมบูรณ์จะมีธาตุปุ๋ยมากและมีปริมาณน้อยลง สำหรับดินที่ใช้ประโยชน์เป็นเวลานาน เมื่อประชากรเพิ่มขึ้น การเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอแก่การบริโภคแนวทางหนึ่งก็คือการเพิ่มปุ๋ยในดิน ปุ๋ยเคมีจึงได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะให้ผลตอบสนองรวดเร็ว แต่ในการใช้ปุ๋ยเคมีมีข้อจำกัดมากมายถ้าใช้โดยไม่ระมัดระวังแล้วจะเกิดผลเสียหายกับดินในระยะยาวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ไม่ควรนำออกไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
เนื่องจากมีขบวนการต่างๆ มากมาย ในการใช้ปุ๋ยเคมี เช่น การแปรรูปของธาตุ (Transformation) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแลกเปลี่ยน ไอออน (Ionexchange) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) การตรึงธาตุ ต่าง ๆ (Fixations) การดูดอาหาร โดยรากพืช (Adsorption by plant root) การสูญเสีย ธาตุอาหารในสภาพแก๊ส (Gaseous losses) เป็นต้น ดังนั้นถ้าใช้ปุ๋ยเคมีต้องระมัดระวัง ถ้าใช้ ถูกต้องจะให้ผลผลิตสูงในระยะยาวได้ แต่ถ้าใช้มากเกินไปติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจเกิดผล เสียหายกับดินได้ เช่น ปุ๋ยฟอสฟอรัสจะทำให้ฟอสเฟตในดินตกค้างมาก ปุ๋ยยูเรีย จะทำให้ดินเป็น กรดมากขึ้น ปุ๋ยแอมโมเนีย จะทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น ปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ จะทำ ให้โครงสร้างทางฟิสิกส์ของดินเลวลง แก้ไขยาก ปุ๋ยที่มีแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็น องค์ประกอบ จะทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ปุ๋ย N-P-K ถ้าใส่พอดีกิจกรรมของ จุลินทรีย์ในดินดีแต่ถ้ามากเกินไปกิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลง

- เกิดจากการใช้วัตถุมีพิษทางการเกษตร ในการทำการเกษตรแบบใหม่ มีการใช้ วัตถุมีพิษเพื่อป้องกันกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์อย่างแพร่หลาย เช่น สารฆ่าแมลง สารกำจัดศัตรูพืช ยากำจัดหนู ยาฆ่าเชื้อรา ฯลฯ ซึ่งมีวัตถุมีพิษเหล่านี้จะมีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช อย่างมาก บางชนิดสลายตัวช้า บางชนิดสลายตัวเร็ว ชนิดที่สลายตัวช้าเมื่อตกค้างในดินโอกาสที่ จะเข้าไปในห่วงโซ่อาหาร โดยผ่านพืชมีมาก จะเกิดมลพิษสะสมสำหรับผู้บริโภคได้ สำหรับ มลพิษเฉียบพลัน อาจจะได้จากสัมผัส หรือทางลมหายใจ (กระทรวงสาธารณสุข) เคยรายงาน ว่าใน 1 ปี มีผู้เสียชีวิตเนื่องจากพิษของวัตถุมีพิษ 200 - 400 คน และมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนขึ้น เรื่อยๆ อย่างไรก็ตามยังมีการสั่งซื้อวัตถุมีพิษเพื่อใช้ในงานเกษตรปีละกว่า 500 ชนิด คิดเป็น น้ำหนักปีละกว่า 20,000 ตัน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าคิดว่าแหล่งรองรับวัตถุมีพิษเหล่านี้คือดินและน้ำ นั่นเอง ดินของประเทศไทยมีปัญหาในการทำการเกษตรทั่วประเทศประมาณ 182 ล้านไร่ แยกเป็น ดินเค็ม 21.7 ล้านไร่ ในจำนวนนี้เป็นดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 17.8 ล้านไร่ ปัญหาดินเปรี้ยวจัด บริเวณน้ำกร่อย ป่าชายเลน 5.5 ล้านไร่ และประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของดินที่ลุ่มภาค กลางอยู่ในภาวะดินเปรี้ยวที่ต้องวางแผนในการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสม ดินทรายจัด 7.1 ล้านไร่ ดินพรุ 0.5 ล้านไร่ ดินตื้น 51.3 ล้านไร่ และดินภูเขาที่ลาดชัน 96.1 ล้านไร่ ซึ่งถือว่าเป็น ปัญหาที่ต้องระมัดระวังในการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยิ่ง

นอกจากนี้การทิ้งของเสียจากระบบโรงงานอุตสาหกรรมและจากชุมชน ได้แก่ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินเสียได้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากขีดความสามารถใน การกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนยังไม่เพียงพอ กองขยะและน้ำเน่าเสีย จาก แหล่งดังกล่าว ได้ทำให้เกิดความเสียหายแก่ดินซึ่งพบเห็นได้ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารที่เกิดอยู่บริเวณผิวหน้า ไม่ได้สะสมที่ผิวหน้าของสารเพียงอย่างเดียวแต่ทำการเปลี่ยนคุณสมบัติของผิวหน้าสารบริเวณนั้นด้วย สารลดแรงตึงผิวมีทั้งสังเคราะห์ขึ้นและมีอยู่ตามธรรมชาติ มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวไฮโดรฟิลิก (ชอบน้ำ) และส่วนหางไฮโดรโฟบิก (ไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน) สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำโดยแยกออกได้เป็น 4 ประเภท

1. Anionic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวให้ประจุลบ แสดงอยู่ในรูปคาร์บอกซิเลต, ซัลเฟต, ซัลโฟเนต หรือ ฟอสเฟต สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภท ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างแชม เป็นต้น โดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี

2. Cationic surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวให้ประจุบวกส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสถานะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (พีเอช 10-11) เนื่องจาก ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภทแคทไอออนิกจะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิก นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น

3. Nonionic surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะมีความแตกต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนและแคทไอออนตรงที่เป็น โมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอกน้ำยาล้างถ้วยแชม ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น

4. Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวไฮโดรฟิลิก สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด - ด่าง ของสถานะแวดล้อม ถ้าสถานะแวดล้อมเป็นด่าง (พีเอช มากกว่า 7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวไฮโดรฟิลิกจะให้ประจุลบ ถ้าสถานะแวดล้อมเป็นกรด (พีเอช น้อยกว่า 7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวไฮโดรฟิลิกจะให้ประจุบวก และในสถานะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าส่วนหัวไฮโดรฟิลิก สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิว

ความสามารถในการละลาย เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับลักษณะของไมเซลล์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ความสามารถในการละลายถูกกำหนดขึ้นโดยคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารตั้งต้นที่เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ สารอินทรีย์ใช้เวลาในการละลายในสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ละลายในน้ำ ณ ความเข้มข้นที่จุดวิกฤต หรือ Critical micelle concentration (CMC)

ตำแหน่งในไมเซลล์ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารนั้นๆ ชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารลดแรงตึงผิวและความสามารถในการละลาย การศึกษาความสามารถในการละลายโดยมากจะศึกษาโดยใช้ X-ray และ NMR Spectrometry เป็นต้น

อนุพันธ์ที่เป็นเส้นตรง ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นวง และโมเลกุลชนิดอื่นๆ นั้น จะไม่มีการหักเหแสงในสารละลายตัวกลาง (น้ำ) แสงอัลตราไวโอเลต และ เอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัม เป็นค่าของการละลาย

สารลดแรงตึงผิวประเภทไอออนิก จะมีความสามารถในการละลายอยู่ 3 แบบ คือ

1. พวกโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะละลายในแกนของไมเซลล์ซึ่งเป็นส่วนหางของไฮโดรคาร์บอนจะไหลไปรวมกันซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการละลาย
2. โมเลกุลที่มีขั้วจะประกอบไปด้วยสายไฮโดรคาร์บอนและหมู่ไฮโดรฟิลิก อ่อน ๆ เช่น สายโซ่ของแอลกอฮอล์หรือของเอมีนจะถูกรวมเข้าไว้ในส่วนหัวไฮโดรฟิลิก กับส่วนหางของไฮโดรคาร์บอนในชั้นไมเซลล์และส่วนหัวของไฮโดรฟิลิกจะยื่นออกมาในสารละลายตัวกลางบริเวณรอบนอกของไมเซลล์
3. สารละลายบางตัวก็จะไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำ เช่น Dimethylphthalate แต่เชื่อกันว่าจะเกิดการดูดซับที่บริเวณไมเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โลหะหนัก

2.3.1 สมบัติและความเป็นพิษของโลหะหนัก (บุญเติม, 2536)

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

2.3.2 แหล่งกำเนิดของสารโลหะหนัก

แหล่งที่แพร่กระจายโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อมได้แก่

1. น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องมีการใช้สารประกอบโครเมียมในขบวนการผลิต ถ้าโรงงานเหล่านี้ไม่มีกระบวนการบำบัดน้ำก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม จะทำให้เกิดการปนเปื้อนได้
2. จากอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ (chromium ore) จะทำให้เกิดฝุ่นในอากาศและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมใกล้เคียง โดยเฉพาะในขบวนการบดและคัดเลือกรถจะมิฝุ่นโครเมียมเกิดขึ้นประมาณ 6.1-138 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีโครเมียม หรือสารประกอบโครเมียมเป็นส่วนประกอบ เช่น ไม้ แก้ว พลาสติกและ ยางรถยนต์
4. จากตะกอนของน้ำทิ้ง โดยเฉพาะ สารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในส่วนที่ไม่ละลายน้ำก็จะสะสมอยู่ในตะกอนน้ำทิ้งเมื่อนำมาใช้ในกิจกรรมอื่น ก็จะเกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โครเมียม (Chromium; Cr)

โครเมียม มีสูตรเคมี คือ Cr มีน้ำหนักโมเลกุล 52 มีเลขอะตอม 24 เป็นโลหะหนักสีขาวนวล มีความสุขไสไม่ขุ่นมัว ไม่ต้องขัดถูบ่อยๆ ความฝืดต่ำ มีความแข็งและจุดหลอมเหลวสูงถึง 1,615 องศาเซลเซียส เลขออกซิเดชันมีได้หลายค่าตั้งแต่ -2 ถึง +6 เกิดตามธรรมชาติในรูปของโครไมต์หรือสินแร่ Chrome ion ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) มีอยู่ประมาณ 0.037 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกโลก ทั่วทั้งโลกจะมีความเข้มข้นของโครเมียมในดินในช่วงตั้งแต่ปริมาณน้อยมากๆ จนถึง 2.4 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ความเข้มข้นในบรรยากาศจะมีอยู่ในช่วง 0.001 – 0.007 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โครเมียมเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ส่วนใหญ่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เป็นโลหะผสม (alloy) รวมทั้งในการทำแอสตันเลสสตีล อีก 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีทั่วไป

โครเมียม (-2 ถึง 0) พบมากในคาร์บอนิลและสารประกอบโลหะอินทรีย์
 -Hexacarbonylchromium (CrCO_6) เป็นของแข็งสีขาว มีความคงตัวในอากาศ ไม่ละลายน้ำ
 -โครเมียม (II) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง และถูกออกซิไดซ์ไปเป็นโครเมียม (III) ได้ในอากาศ
 -โครเมียม (III) เป็นวาเลนซ์ที่เสถียร เป็นรูปที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อละลายน้ำจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีโมเลกุลของน้ำเป็นลิแกนด์ในสถานะกรดเกิดเป็น $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และเป็น $[\text{Cr}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ ในสถานะด่าง

โครเมียม (VI) พบมากในธรรมชาติพอๆ กับ โครเมียม (III) แต่พบอยู่ในรูปของสารประกอบของออกซิเจน oxo species เช่น

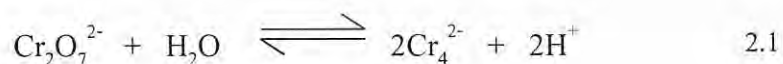
โครเมียม (VI) ออกไซด์ (กรดโครมิก : CrO_3)

โครมิกคลอไรด์ (CrO_2Cl_2)

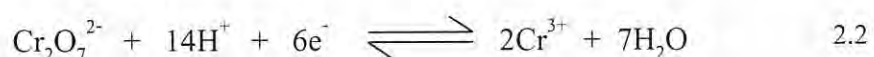
คลอโรโครเมต (CrO_3Cl)

โครเมต (CrO_4^{2-})

ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ถ้านำไปล้างจะได้โครเมตตั้ง (dichromate) สมการ



โครเมียม (VI) เป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงมากภายใต้สภาวะกรด ($\text{pH} = 0$)



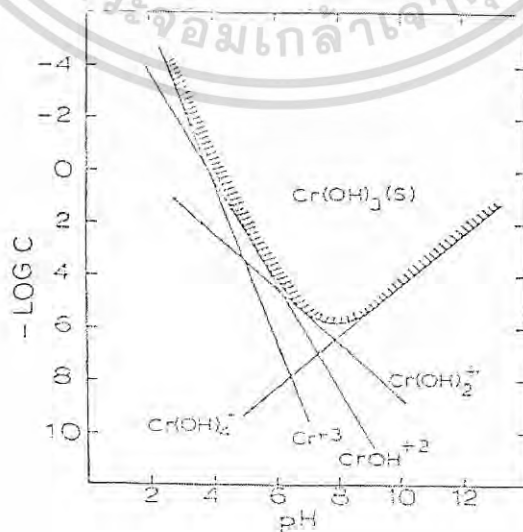
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้มีการนำโครเมียมมาใช้อย่างกว้างขวาง เป็นเวลากว่า 10 ปี เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก กระจก วัสดุ สี ย้อม สารย้อมสี ไม้ สารป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ การชุบโครเมียมและการพอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเติมสารประกอบโครเมียมลงในน้ำหล่อลื่นเย็น เพื่อป้องกันการกัดกร่อน อุตสาหกรรมการชุบเพลทโลหะและการประดิษฐ์ส่วนประกอบรถยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำโลหะมาชุบโครเมียมมากที่สุดและมีความเป็นไปได้ว่าในระยะยาวจะมีการสะสมและกระจายตัวของโครเมียมในระบบนิเวศเพิ่มมากขึ้น

ธาตุโครเมียมจะไม่พบในสถานะอิสระในธรรมชาติ แร่โลหะที่พบบ่อย คือ โครไมต์ (FeOCr_2O_3) ซึ่งใช้ในการผลิตโซเดียมไดโครเมต เป็นสารเคมีขั้นปฐมภูมิของสารประกอบโครเมียมตัวอื่น ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น การพอกหนัง การผลิตสารเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารกัดกร่อนโลหะ เป็นต้น โรงงานต่าง ๆ จะปล่อยน้ำทิ้งที่มีโครเมียมเจือปนอยู่ในรูปโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ซึ่งในสภาวะธรรมชาติโครเมียมไตรวาเลนต์จะเสถียรกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในสภาวะเป็นกรด และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะเสถียรขึ้นที่พีเอชมากกว่า 12

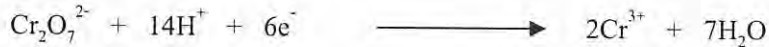
ความสามารถในการออกซิไดส์ของโครเมียมไตรวาเลนต์ไปเป็นโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และอัตราส่วนที่มีแต่ละชนิดของโครเมียมไตรวาเลนต์ ตามธรรมชาติแล้วจะตกตะกอนภายใต้สภาวะธรรมชาติ หรือภายใต้สภาวะเบสเล็กน้อย คือ ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 8.5 โดยประมาณการละลายของโครเมียมไฮดรอกไซด์นี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอช การเพิ่มขึ้นของค่าการละลายจะเพิ่มค่าพีเอช เนื่องจากสูตรของ $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ และชนิดของ Hydrolysis อื่น

การเคลื่อนย้ายระหว่างโครเมียมไตรวาเลนต์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นระบบ Oxidation และ Reduction ดังกราฟรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 การละลายของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ กับ ค่าพีเอช
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่ปฏิกิริยารีดักชันสามารถทำให้โครเมียมเฮกซะวาเลนต์เปลี่ยนอยู่ในรูปโครเมียมไตรวาเลนต์ในสารละลายกรดได้ (pH 2-3)



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



จึงชี้ให้เห็นว่าการลดลงของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ อาจเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยากับซัลไฟด์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) (ซึ่งเกิดจากการสลายของสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียซัลเฟตรีดักชันหรือโดยการปล่อยของเสียอุตสาหกรรมที่แน่นอน) การผลิตโครเมียมไตรวาเลนต์โดยปฏิกิริยานี้ น่าจะเป็นไปได้ที่จะถูกดูดซึมโดยตะกอนและถูกกำจัดออกจากสารละลาย

ปฏิกิริยา Oxidation ของโครเมียมไตรวาเลนต์ ที่พีเอช 6.5-8.5



อย่างไรก็ตาม โครเมียมอาจเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาอื่น ๆ เช่น การดูดซับอนุภาค เป็นต้น (Paul and Cart, 1996)

ในธรรมชาติโครเมียมปรากฏในเหมืองแร่ในรูปของสารประกอบโครเมียมออกไซด์กับเหล็ก ($\text{FeO} = \text{Cr}_2\text{O}_3$) โครเมียมมักอยู่ในสภาพไตรวาเลนต์ และมักมีอะลูมิเนียม และแมกนีเซียมออกไซด์ รวมทั้งอาจมีไททาเนียม และ หรือ วานาเดียมออกไซด์ปะปนอยู่ในปริมาณต่างๆ กันด้วย

2.4.1 การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

โครเมียม นำมาใช้งานมากในทางอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เช่น ชุบชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า นำมาผสมกับโลหะระหว่างโครเมียม เหล็ก และนิกเกิล เป็นโลหะผสมปราศจากสนิม และผสมกับโลหะอื่นแต่ละตัว เช่น โคบอลต์ ไททาเนียม เป็นโลหะผสมปราศจากสนิม และผสมกับโลหะธรรมดา

งานอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่นำโครเมียมมาใช้ ได้แก่ การพิมพ์ภาพด้วยเพลตโลหะ การผลิตหลอดภาพโทรทัศน์ งานเครื่องแก้ว การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ การแกะสลักภาพงาน

เอกสารเคมี การถ่ายภาพ การใช้น้ำมันซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ การผลิตสิ่งทออื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปนเปื้อนของโครเมียมในสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่มาจากงานอุตสาหกรรม คังกล่าวข้างต้น เมื่อเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำต่าง ๆ โครเมียมก็จะสะสมในน้ำ ตะกอนดิน พีช และสัตว์น้ำ ในที่สุดก็อาจได้รับสู่ร่างกายทางห่วงโซ่อาหาร (อุไรวรรณ และคณะ,2541)

2.4.2 ประโยชน์ของโครเมียม

โครเมียมเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับโลหะผสม ทำให้โลหะผสมมีความ แข็งตัว เหนียว และการป้องกันไม่ให้เกิดสนิมและทนต่อการผุกร่อน ใช้ในการชุบโลหะรูปไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงามสารประกอบโครเมตของตะกั่ว สังกะสีและ แบเรียม ซึ่งเรียกว่า เม็ดสีโครเมียม (chromium pigment) จะใช้ในการทำสีต่างๆ ใช้ทำพรมน้ำมัน ใช้ทำยางและอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา สีเทา สีขี้ม่อ สารยึดยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเห็ดรา นอกจากนี้ สารประกอบของโครเมียมยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมฟอกหนัง การ ย้อมสีขนสัตว์ ไหมและหนังสัตว์ได้อีกด้วย

2.4.3 ทางเข้าสู่ร่างกาย

โลหะโครเมียม เกลือโครมิต หรือเกลือโครมิก (วาเลนซ์ 0, +2, +3) ส่วนใหญ่จะ อยู่ในรูปของฝุ่น และควันซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายโดย

1. ทางจมูก โดยการสูดหายใจเอาผงและควันของกรดโครมิก โซเดียมไดโครเมต และโพแทสเซียมไดโครเมต ซึ่งเป็นเกลือโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ ซึ่งส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ บริเวณจมูกและเป็นอันตรายแก่กระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างจมูก และอาจเข้าไปถึงปอดซึ่งทำให้เกิด มะเร็งขึ้นได้
2. ทางผิวหนัง คนงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับโครเมียม จะได้รับฝุ่นละออง หรือควัน ของโครเมียม โดยทั่วไปเกลือชนิดเฮกซะวาเลนซ์ถูกดูดซึมผ่านผิวหนังปกติได้ดี แต่เกลือชนิดไตร วาเลนซ์มักดูดซึมทางผิวหนังได้น้อย
3. ทางการกิน โครเมียมไตรวาเลนซ์อาจถูกดูดซึมได้จากการกินประมาณร้อยละ 1-25 ของขนาดที่กินเข้าไป ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือที่กินเข้าไปและสภาพแวดล้อมของการกิน เกลือเฮกซะวาเลนซ์เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำย่อยในกระเพาะอาหารจะเปลี่ยนเป็นชนิดไตรวาเลนซ์ ก่อนถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย
4. ทางส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย หลังจากการดูดซึมเข้าสู่ระบบของร่างกาย โครเมียม ส่วนใหญ่จับอยู่กับเม็ดเลือดแดงและโปรตีนในพลาสมา และถูกนำไปสู่ตับ ม้าม ไต ไข่มสัน และ กระดูก ซึ่งเป็นที่สะสมของโครเมียมในร่างกาย ในกรณีที่ยาใจรับเอาอนุภาคโครเมียมซึ่งไม่ ละลายน้ำเข้าไป โครเมียมส่วนใหญ่มักจะสะสมอยู่ในปอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การแพร่กระจายในร่างกาย (distribution)

หลังจากโครเมียมถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วก็จะกระจายไปตามส่วนต่าง ๆ เช่น โครเมียมไตรวาเลนซ์ จะรวมกับ transferrin ในพลาสมาและกระจายไปทั่วร่างกายขณะที่ โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์จะรวมกับ β -chain ของ hemoglobin ในเม็ดเลือดแดง และ โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์จะเปลี่ยนไปเป็น โครเมียมไตรวาเลนซ์ในเม็ดเลือดแดง

2.4.5 การขับถ่าย (Excretion)

โครเมียมเกือบทั้งหมดจะถูกขับออกทางไต มีเพียงเล็กน้อยที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ในคนทั่วไปที่ได้รับ โครเมียมจากอาหารเฉลี่ยวันละประมาณ 30 - 100 ไมโครกรัมร่างกายจะขับ โครเมียมทางปัสสาวะเฉลี่ยวันละ 2 - 10 ไมโครกรัม ค่าครึ่งชีวิตของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์อยู่ในช่วงระหว่าง 15-24 ชั่วโมง นอกจากนี้โครเมียมยังถูกขับออกทางน้ำคิ ผม เล็บ นํ้านม และเหงื่อ แต่ในระดับน้อย

2.4.6 อันตรายที่เกิดจากโครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่ไม่จำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์ โครเมียมมักมีแหล่งมาจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานเล่นประสาน เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองในปอดและอาจจะชักนำให้เกิดเป็นมะเร็งได้ รวมถึงจะทำให้เกิดอันตรายต่อกระเพาะ ตับ ไต นอกจากนี้โครเมียมยังทำความระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหารเมื่อถูกกินเข้าไป

- สารประกอบโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

1. แผลที่เกิดจากโครเมียม (Chromenulcers) เกิดจากสะสมของฝุ่นละอองของ โครเมียม ซึ่งโดยมากจะเริ่มที่รอยถลอกของผิวหนัง พบมากที่สุดที่โคนเล็บมือ ตามข้อนิ้วมือหรือหลังเท้ามีลักษณะเป็นแผลวงกลม ขอบค่อนข้างบาง รุ่มลึกลงไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า มองดูคล้ายถูกตะปูเจาะแม้ว่าแผลนั้นจะไม่เจ็บปวดแต่คันมากในเวลากลางคืน ต่อไปแผลนั้นจะเกิดการติดเชื้อขึ้นทำให้ลุกลามไปถึงข้อต่อใกล้เคียงอาจต้องตัดนิ้วทั้งฝุ่นของเกลือโครเมียมหรือควันของกรดโครมิกอาจตกลงบนหนังตาหรือที่ปลายจมูก อาจทำให้เกิดแผลขึ้นได้เช่นเดียวกัน

2. ผิวหนังอักเสบ (Dermatitis) บริเวณมือ แขน ใบหน้า และหน้าอก ผิวหนัง บริเวณนี้จะเกิดอักเสบขึ้น หลังจากคนงานทำงานมาแล้วประมาณ 6 เดือน ในรายที่เป็นมากจะมีสีแดงเข้มและบวมบริเวณที่อักเสบ จะคันมาก มีอาการเจ็บแสบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผนังกันในจมูกถูกเจาะทะลุ (Perforation of the Nasal Septum) เมื่อสุดหายใจเอาควันของกรด โครมิกหรือฝุ่นของโครเมียมเป็นประจำ อาการที่เกิดขึ้น คือ ลึนและพินจะเปลี่ยน เป็นสีออกเหลืองๆถ้าเป็นมากจะทำให้ผิวหนังกันในจมูก ถูกทำลายจนเป็นรูทะลุ ซึ่งการทะลุของแผ่นกันในจมูกนี้ จะไม่รู้สึกรีบปวดแต่อย่างใด แต่จะรู้ตัวเมื่อมีเสียงอู้อี้หรือตั้งจมูกแบนลงแล้วเท่านั้น

4. มะเร็งของปอด (Lung Cancer) มักจะเกิดกับคนที่สูดหายใจเอาโครเมียมเข้าไปทุกวัน คิดต่อกันเป็นเวลานานๆ เป็นอันตรายแก่ชีวิตเพราะไม่มียารักษาให้หายได้

5. โรคหลุมรงควัตุ (Chromic Holes) เกิดจากผิวหนังเปื้อนกรด โครมิกก่อให้เกิดการไหม้หรือกัดกร่อนซึ่งเริ่มต้นเป็นตุ่มนูนมีรอยแผลเรื้อรังอยู่ตรงกลางแล้วต่อมาเกิดการกัดกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนรอบๆ

6. ภาวะอาหารและลำไส้อักเสบ (Gastritis and Gastroenteritis) เกิดจากการกินเข้าไป น้อยๆในภาวะอาหารทำให้โครเมียมเสกชะวาเลนซ์เปลี่ยนเป็นไตรวาเลนซ์ซึ่งสามารถถูกดูดซับได้จากภาวะอาหารและลำไส้มาก ทำให้เยื่อถูกกัดกร่อน จนอาจถึงแก่ชีวิตได้

7. ภาวะไตวายเฉียบพลัน (Acute Renal Failure) มีอาการคลื่นไส้และอาเจียนภายใน 1 ชั่วโมง หลังสัมผัสและไม่มีปัสสาวะภายใน 24 ชั่วโมง

8. ภาวะการหายใจวับเฉียบพลัน (Acute Respiration Distress Syndrome) เกิดจากการกินเกลือโครเมียมเสกชะวาเลนซ์

9. ภาวะปอดบวมน้ำ (Pulmonary Edema) เกิดจากการรับเกลือโครเมียมเสกชะวาเลนซ์ อาจมีผลกระตุ้นภูมิไวเกินที่ปอดการหายใจรับละอองไอกรด โครมิก

- สารประกอบโครเมียมไตรวาเลนซ์

เนื่องจากโครเมียมไตรวาเลนซ์ดูดซึมได้ไม่ดีนักทางการหายใจและผ่านทางผิวหนัง ทำให้เกิดพิษต่อระบบตามมาค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามหากโครเมียมไตรวาเลนซ์เข้าสู่ระบบไหลเวียนก็เกิดพิษได้

1. โรคหอบหืด (Asthama) เกิดจากการหายใจรับเอาเกลือโครเมียมไตรวาเลนซ์
2. ภาวะปอดแข็ง (Pneumoconiosis) เกิดจากการสัมผัสฝุ่นแร่โครเมียม

2.4.7 การได้รับพิษเรื้อรัง

การหายใจรับโครเมียมเสกชะวาเลนซ์อย่างเรื้อรัง ทำให้มีการเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้น ซึ่งความรุนแรงของความเสียหายขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพการละลายได้ของเกลือแต่ละชนิด สภาพแวดล้อมของการสัมผัส และการมีปัจจัยเสี่ยงอื่น เช่น การสูบบุหรี่ร่วมด้วย โดยทั่วไปยอมรับว่าสังกะสีโครเมตเป็นสารก่อมะเร็ง (วิลาวณย์, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน (Mulligan, et. al., 2001)

- **Isolation and containment** คือ วิธีการแยกและควบคุมโลหะหนัก โดยการปรับสภาพให้แข็งตัว (Solidification) หรือ การปรับสภาพให้เสถียร (Stabilization) เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก

- **Mechanical separation** คือ วิธีการแยกอนุภาคเพื่อนำไปบำบัด โดยใช้เครื่อง Hydrocyclone หรือ Fluidized bed ซึ่งอาศัยหลักการของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และแรงโน้มถ่วง นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมี เช่น สารช่วยการลอยตัว และการแยกโลหะหนักโดยอาศัยแม่เหล็ก

- **Pyrometallurgical separation** คือ วิธีการบำบัดสำหรับโลหะหนักที่สามารถระเหยได้ โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200-700 องศาเซลเซียส เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการบำบัดปรอท

- **Chemical treatment** คือ วิธีการบำบัดทางเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือการปรับพีเอชด้วยสารละลายกรดหรือเบส เพื่อลดความเป็นพิษ ตกตะกอน หรือเพื่อละลายโลหะหนัก

- **Permeable treatment walls** คือ วิธีการบำบัดโดยใช้แผงกั้นที่มีความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อลดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

- **Electrokinetics** คือ การแยกไอออนบวกและไอออนลบในน้ำใต้ดิน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง (Cathode และ Anode)

- **Biochemical process** คือ วิธีการบำบัดโดยอาศัยกระบวนการทางชีวเคมี ได้แก่ การชะทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการใช้แบคทีเรีย และควบคุมสภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณออกซิเจน ค่าพีเอช และอุณหภูมิ

- **Phytoremediation** คือ วิธีการบำบัดโดยใช้พืชเป็นตัวสกัดโลหะหนักออกจากดินและน้ำใต้ดินซึ่งอาจนำวิธีบำบัดวิธีอื่นมารวมด้วย เช่น การสกัดโลหะหนักด้วยกรด

- **Soil flushing** คือ วิธีการสกัดโลหะหนักออกจากดินโดยใช้น้ำหรือสารละลายชะสิ่งเจือปนออกมาซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายในแหล่งปนเปื้อนได้

- **Treatment of sediments** คือ วิธีการบำบัดกากตะกอนโดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น Hydrocyclone, Solidification, Stabilization และ การสกัดด้วยสารละลายกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Soil washing (Chemical leaching)** คือ วิธีการกำจัดโลหะหนักออกจากดินปนเปื้อนด้วยการใช้สารละลายสกัดต่างๆ เช่น คีเลตติงค์ เอเจนต์ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดวิธีการหนึ่งที่สามารถปฏิบัติภายนอกแหล่งปนเปื้อนได้

2.6 การล้างดิน (Soil washing)

โลหะหนักสามารถกำจัดออกจากดินได้ โดยการเติมสารที่ทำหน้าที่ในการสกัดโลหะหนัก ซึ่งสารดังกล่าว ได้แก่

- คีเลตติงค์ เอเจนต์ (Chelating agent) ได้แก่ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), Nitrilotriacetic acid (NTA)
- กรดอนินทรีย์ (Inorganic acid) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และ กรดไฮโดรคลอริก
- กรดอินทรีย์ (Organic acid) ได้แก่ กรดอะซิติก และ กรดซิตริก
- สารละลายเบส ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์
- สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Biosurfactants
- ตัวทำละลายซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำ ได้แก่ เมทานอล
- ไอออนบวกที่ไม่เป็นพิษ (Nontoxic cation)
- การใช้สารละลายกรด ร่วมกับ คอมเพลกซิงค์ เอเจนต์
- ออกซิไดส์ซิงค์ เอเจนต์
- รีดิวส์ซิงค์ เอเจนต์
- อื่น ๆ

กระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในดิน แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. การสกัดด้วยน้ำซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการสกัดต่างๆ มี 3 ประเภท ดังนี้

- การเติมสารลดแรงตึงผิว เพื่อเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนลงในน้ำ
- การเติมคีเลตติงค์เอเจนต์ ซึ่งเป็นสารที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับโลหะและช่วยให้การละลายดีขึ้น
- การเติมสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ ทำให้เป็นกลาง และทำลายสิ่งปนเปื้อน

2. การใช้สารละลายสกัดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่ละลายได้จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในสารละลาย

3. การกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกด้วยอากาศ นิยมใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยได้โดยใช้ไอน้ำ

หรือ อากาศมาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยความร้อนและสถานะสูญญากาศ หรือทั้งสองแบบมาช่วยเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อัตรากาสิโน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การล้างดินด้วยสารต่างๆ สารที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยวิธีการล้างดิน (Soil washing) มีหลายชนิด ซึ่งมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป สารที่ใช้กำจัดโลหะหนักในงานวิจัยนี้ก็คือน้ำสารประเภทสารลดแรงตึงผิวกลุ่มแอนไอออน ได้แก่ โซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS)

2.6.1 การล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการล้างดินมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น สารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ (Biosurfactant) ที่สังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ การกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้สารชนิดนี้ อาจมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร และการเตรียมสารมีความยุ่งยากมากเนื่องจากต้องทำการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในถังหมักทำให้ต้นทุนในการเตรียมสารค่อนข้างสูง จึงเหมาะกับการทดลองที่สามารถเตรียมสารได้เองตัวอย่าง สารลดแรงตึงผิวทางชีวภาพ คือ Surfactin Sophorolipid

2.7 Sodium dodecyl sulfate

โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต หรือเกลือโซเดียม มีมวลโมเลกุล 288.38 สูตรโมเลกุล $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_2\text{ONa}$ เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดแอนไอออน อันตรายถ้ากลิ่นกิน หรือ สูดดม ระคายเคืองต่อผิวหนัง และทางเดินหายใจ



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรสวรรค์ มากมณี และคณะ (2546) ทำการศึกษาการกำจัดดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยน้ำกลั่น สารละลายอิตีทีเอ และสารละลายโซเดียมโตะเดซิลซัลเฟต โดยนำดินที่มาจากกรณีศึกษาพื้นที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยการปลูกต้นขลุ่ย แล้วแบ่งดินเป็น 2 ชุด คือชุดที่ 1 เป็นชุดที่มีการเติมสารละลายโครเมียมลงในดิน 100 พีพีเอ็ม และชุดที่ 2 เป็นดินที่ไม่มีการเติมสารละลายโครเมียม แต่ได้ทำการทดลองโดยการเติมสารละลายโครเมียม 100, 150 และ 200 พีพีเอ็ม ตามลำดับลงในดินชุดที่ 2 ผลการทดลองพบว่า การล้างดินด้วยน้ำกลั่นสามารถกำจัดโครเมียมในชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 85 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นเมื่อปรับพีเอชของน้ำกลั่นแล้วนำไปล้างดินพบว่า พีเอช 2 สามารถกำจัดโครเมียมได้ดีที่สุดในดินชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ได้เท่ากับ 68 และ 21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนสารละลายโซเดียมโตะเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของโครเมียมในดิน สามารถกำจัดโครเมียมในดินชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ได้ 96 และ 97 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงอาจสรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมโตะเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของโครเมียมในดินมีประสิทธิภาพในการล้างดินมากกว่าน้ำกลั่นและสารละลายอิตีทีเอ

คมสรวร ศิริติภูธ และคณะ (2547) ศึกษาการล้างดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักจากดิน 4 แห่ง สารละลายที่ใช้ในการชะล้างคือสารละลายโซเดียมอิตีทีเอ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน จากนั้นจึงทำการล้างดินตัวอย่างแบบครึ่ง โดยแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายอิตีทีเอ หลังจากได้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.15 โมลาร์ จึงทำการแปรค่าอัตราส่วนดินต่อสารละลายซึ่งอัตราที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร ในการทดลองจะทำการควบคุมอัตราเร็วในการเขย่า 175 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายส่วนที่ใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปีและหาเปอร์เซ็นต์ที่กำจัดได้ ทำการศึกษาสัดส่วนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปต่างๆ ในดินโดยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักของสารละลายโซเดียมอิตีทีเอ ผลการทดลองพบว่า ในการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น ก่อนการชะล้าง โลหะแคดเมียม โครเมียม และเหล็ก (Cd, Cr, Fe) จะอยู่ในรูปที่ละลายมากที่สุด โลหะแมงกานีส นิกเกิล และตะกั่ว (Mn, Ni, Pb) จะอยู่ในรูปที่ละลายและรูปรีดิวซ์มากกว่ารูปอื่นๆ และสัดส่วนของทองแดง (Cu) ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปออกซิไดซ์และรูปรีดิวซ์ หลังจากทำการชะล้างพบว่า สารละลายโซเดียมอิตีทีเอมีประสิทธิภาพการชะล้างโลหะหนักในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าโลหะหนักในรูปอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุฬามณี จงแก้ววัฒนา และคณะ (2547) ทำการศึกษาถึงการล้างดินปนเปื้อน โลหะหนัก จากดิน 4 แห่งโดยใช้ สารละลายของโซเดียมเมตาโบซัลไฟต์กับ โซเดียมอิดีทีเอ ซึ่งในโครงการนี้ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ปนเปื้อน ทดสอบประสิทธิภาพในการชะล้างโลหะหนักออกจากดินและหาสัดส่วนของโลหะหนักในรูปต่างๆในดินที่ปนเปื้อนทั้ง ก่อนและหลังการถูกล้าง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักจากเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรสโคปี (AAS) นำสารละลายที่ได้ไปหาเปอร์เซ็นต์การกำจัด (% removal) จากนั้นทำการหาสัดส่วนของโลหะรูปต่าง ๆ ในดินที่ปนเปื้อนที่ปนเปื้อนทั้งก่อน และหลัง โดยการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

Irene and Yang (1998) ได้ศึกษาการสกัดโลหะที่ปนเปื้อนในส่วนต่างๆของดินปนเปื้อน ในธรรมชาติและกากตะกอนสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ คาร์บอนตอกไฮดรอกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส อินทรีย์วัตถุและรูปของแร่ดินเหนียวด้วยอิดีทีเอ โดยศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการสกัดและความเข้มข้นของอิดีทีเอที่ใช้พบว่าการสกัดจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วหลังจากสกัดเป็นเวลา ประมาณ 30 นาที อิดีทีเอมี ประสิทธิภาพในการสกัดโลหะใน 4 ส่วนของดินปนเปื้อน และการใช้อิดีทีเอ เข้มข้น 0.01 โมลาร์ สกัดโลหะหนักจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าการใช้อิดีทีเอเข้มข้น 0.05 โมลาร์ หรือ 0.10 โมลาร์ โดยทั่วไปสามารถกำจัดโลหะหนักได้ประมาณร้อยละ 90 อิดีทีเอ เข้มข้น 0.10 โมลาร์ การใช้อิดีทีเอสกัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในส่วนของคาร์บอนตอกจะได้รับผลกระทบ จากการเกิดเป็นสารประกอบตะกั่วคาร์บอนตอก เพื่อให้ผลของการทดลองมีค่ายอมรับ ได้สูง

Garrabrants and Kosson (2000) ได้ศึกษาถึงการใช้อีเอตดีดิงค์ (อิดีทีเอ) ซึ่งเป็นสารที่สามารถชะล้างโลหะออกจากดินที่มีการปนเปื้อน การทดลองนี้ทำการทดลองแบบครั้ง (Batch) จะมีการควบคุม pH โดยจะให้ความเข้มข้นของอิดีทีเอ 50 มิลลิโมล ตามอัตราส่วนสารละลายต่อของแข็งเป็น 100 มิลลิลิตรต่อกรัม ใช้ช่วงเวลาในการสัมผัส 48 ชั่วโมง โดยใช้ดิน 4 ตัวอย่างที่มาจากที่เดียวกัน และใช้ EDTA เป็นตัวสกัดและตรวจสอบ As, Cd, Cu, Mn และ Pb โดยทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง ครั้งแรก pH 7 และครั้งที่ 2 pH 4 จากการเปรียบเทียบการใช้ pH ที่ต่างกันพบว่า สามารถกำจัดใช้อิดีทีเอกำจัดโลหะหนักได้ทุกกรณี

107745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์

1. ชุดย่อยสลาย (Microwave digestion) รุ่น 1200 Mega
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ยี่ห้อ Shimadzu AA-680
3. เครื่องแก้ว
4. ซ้อนตักสาร
5. ขวดน้ำกลั่น
6. ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร
7. กระดาษกรองยี่ห้อ Advantec และขนาด 0.45 ไมโครเมตร
8. ครอบขวดพลาสติก
9. บีกเกอร์พลาสติก
10. พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver instrument model 250
11. เครื่องเขย่า (shaker) ยี่ห้อ Julabo รุ่น SW1
12. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ SANYO รุ่น MSB 020.CX1.5
13. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM No.1.152H อ่านสเกลในหน่วยกรัมต่อลิตร
14. เครื่องกวนแม่เหล็ก
15. ตู้อบ

3.1.2 สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด
2. กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น (HF) บริษัท Carlo Erba จำกัด
3. โซเดียมโคเคซิลซัลเฟต $\{\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_2\text{ONa}\}$ บริษัท Carlo Erba จำกัด
4. สารละลายโซเดียมอะซิเตท (CH_3COONa) บริษัท Carlo Erba จำกัด
5. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) บริษัท Carlo Erba จำกัด
6. แอมโมเนียมออกซาเลท $\{(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}\}$ บริษัท Fluka Chemika จำกัด
7. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) บริษัท Carlo Erba จำกัด
8. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) บริษัท Carlo Erba จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด (AgNO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด
10. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) บริษัท Sigma จำกัด
11. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Carlo Erba จำกัด
12. กรดบอริก (H_3BO_3) บริษัท Carlo Erba จำกัด
13. กรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (HCl) บริษัท Carlo Erba จำกัด
14. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) บริษัท Carlo Erba จำกัด
15. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4) บริษัท Carlo Erba จำกัด
16. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $\{\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}\}$ บริษัท Carlo Erba จำกัด
17. สารละลายคัลคอน ($\text{Na}_6\text{O}_{18}\text{P}_6$) บริษัท Carlo Erba จำกัด
18. เอมีลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$) บริษัท Carlo Erba จำกัด

- สารเคมีทุกตัวใช้ เกรดวิเคราะห์

3.2 ดินที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองดินที่ใช้เป็นดินที่ได้มาจากการวิจัยของพรสุดา และสุวภัทร (2546) ที่พื้นฟูดินที่เก็บบริเวณจังหวัดสมุทรปราการ และนำมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปลูกต้นก้างปลาไว้ 60 วัน หลังจากตั้งต้นพืชออกแล้วเก็บดินที่ได้ไว้ในถุงพลาสติกประมาณ 20 เดือน ในการวิจัยครั้งนี้ จึงนำดินที่เก็บไว้นี้มาทำการทดลอง

- ชุดที่ 1 หมายถึง ดินที่เป็นชุดควบคุมของดินจากการวิจัยของพรสุดา และสุวภัทร (2546) ที่ไม่มีการเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตลงไปและจากการวิเคราะห์มีปริมาณโครเมียมเท่ากับ 9.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- ชุดที่ 2 หมายถึง ดินชุดที่ 1 ที่เติมสารละลายโครเมียมลงไป 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปปลูกต้นก้างปลา หลังจากปลูกพืชเป็นเวลา 60 วันจึงตั้งต้นออก (เก็บไว้ 20 เดือน) จึงนำดินมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้
- ชุดที่ 3 หมายถึง ดินชุดที่ 1 มาเติมสารละลายโครเมียมในรูปสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีทำการทดลอง

3.3.1 การศึกษาเบื้องต้น

3.3.1.1 การหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดินก่อนเริ่มทำการทดลอง

1. ได้นำดินที่เก็บไว้ในถุงพลาสติกมาตากลมในที่ร่ม
2. ทำการสุ่มตัวอย่างดินโดยใช้วิธีสุ่มกระจาย (random) (Coby S.C. Wong, 2546) ของแต่ละความเข้มข้นมาทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 10 เมช
3. นำดินในชุดที่ 1 ถึงชุดที่ 3 มาชั่งดินให้ได้ตัวอย่างละ 0.25 กรัมโดยแต่ละชุดจะทำซ้ำ 3 ซ้ำ
4. นำดินที่ได้ไปย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave Digestion) ตามสภาวะการทดลองตาม (ภาคผนวก ข)
5. หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Advantec แล้วกรองละเอียด ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
6. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer) ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข

3.3.1.2 การเติมโครเมียมลงไปดินและหาปริมาณโครเมียมทั้งหมด

1. นำดินชุดที่ 2 จากข้อ 3.2 จำนวน 1 กิโลกรัม ใส่สารละลายโครเมียมเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จำนวน 1 ลิตร (ดูวิธีการเตรียมที่ภาคผนวก ก)
2. คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน
3. ทำการสุ่มตัวอย่างดินแล้วชั่งดินตัวอย่างมา 0.25 กรัม 3 ชุดการทดลอง
4. นำดินตัวอย่างไปย่อยสลายด้วยไมโครเวฟ ตามสภาวะการทดลองดังภาคผนวก ข.
5. หลังจากย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองยี่ห้อ Advantec ทำการกรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 10 มิลลิลิตร
6. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การล้างดินด้วยสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต (Sodiumdodecylsulfate; $C_{12}H_{25}O_3Na$)

1. ชั่งดินตัวอย่างทั้ง 3 ชุด จำนวนตัวอย่างละ 1.00 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมโคเดซิลซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเป็น 3 เท่าของปริมาณโครเมียมในดินใส่ลงไป 10 มิลลิลิตรของความเข้มข้นโครเมียม จำนวน 3 ชุด การทดลอง
3. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำสารละลายไปทำการปั่นเหวี่ยงโดยเครื่องเซนติฟิวส์ เป็นเวลา 20 นาที
5. นำส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยทำการกรองละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Advantec นำสารละลายที่ได้ไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์
6. นำดินที่กรองได้ไปตากที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 วัน
7. นำดินที่ตากไว้ไปย่อยสลายด้วยเครื่องไมโครเวฟ ตามสภาวะการทดลอง (ภาคผนวก ข.)
8. หลังจากการย่อยเสร็จแล้ว กรองเอาส่วนใสใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองยี่ห้อ Advantec แล้วกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
9. นำสารละลายไปวัดหาความเข้มข้นของโครเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน

ดินที่นำมาใช้ในการทดลองทั้ง 3 ชุด มีลักษณะทางเคมีและกายภาพเหมือนกันเนื่องจากเป็นดินที่เก็บจากแหล่งเดียวกันแต่นำมาเติมสารละลายโครเมียมลงไปไม่เท่ากัน โดยลักษณะทางเคมีของดินที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีส่วนส่วนของทราย ซิลต์ และดินเหนียวเท่ากับ 65.00 เปอร์เซ็นต์ 7.50 เปอร์เซ็นต์ และ 27.50 เปอร์เซ็นต์ สามารถบอกได้ว่าเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย พีเอช เท่ากับ 5.24 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 21.10 มิลลิกรัมสมมูลของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 4.83 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเท่ากับ 6.43 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของโครเมียมในดินชุดที่ 1 เท่ากับ 9.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและความเข้มข้นของโครเมียมในดินชุดที่ 2 เท่ากับ 61.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมความเข้มข้นของโครเมียมในดินชุดที่ 3 เท่ากับ 188.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟที่ 4.1

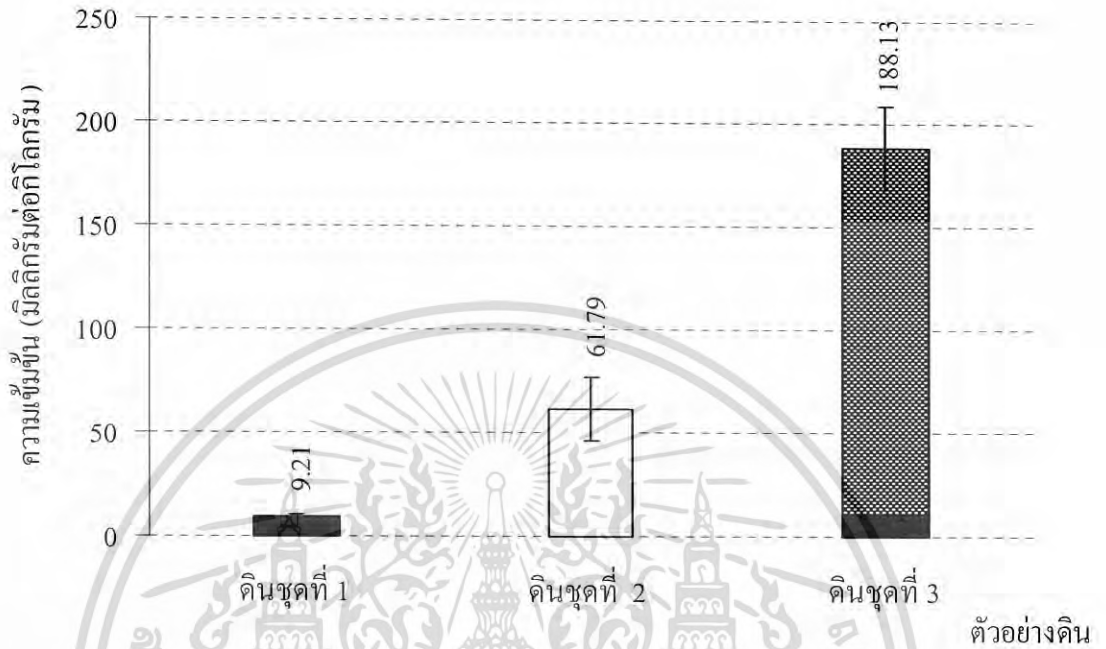
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีของดิน

พารามิเตอร์ (หน่วย)	ผลการวิเคราะห์
* ปริมาณทราย (%)	65.00
* ปริมาณซิลต์ (%)	7.50
* ปริมาณดินเหนียว (%)	27.50
* ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัมของดิน)	21.10
* ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)	4.83
* ลักษณะเนื้อดิน	Sandy silt loam
* ค่าพีเอช	5.24
** ปริมาณความชื้น (%)	6.43
** ปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของดินชุดที่ 1 (n=3)	9.21 ± 1.3
** ปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของดินชุดที่ 2 (n=3)	61.79 ± 15.27
** ปริมาณโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของดินชุดที่ 3 (n=3)	188.13 ± 20.14

* ข้อมูลจากการทดลองของพรสุดาและคณะ (2545)

** ข้อมูลได้จากผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.1 แสดงปริมาณ โครเมียมที่มีอยู่ในดินชุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในดินและสารละลาย

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในดินชุดที่ 1, 2 และ 3 ที่ระยะเวลาเริ่มต้น, 7, 50, 60 และ 80 วัน พบว่ามีปริมาณโครเมียมในดินและสารละลาย ในชุดต่างๆ เป็นดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณ โครเมียมที่มีอยู่ในดินและสารละลายที่ใช้ล่าง

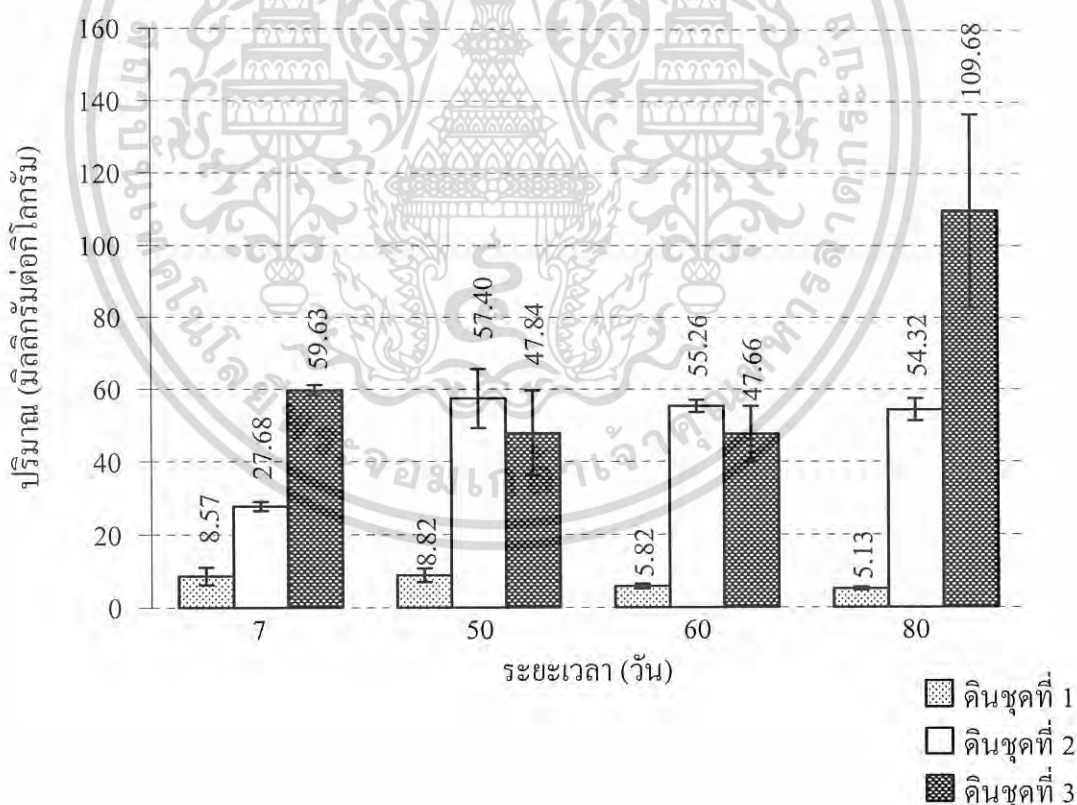
ระยะเวลา (วัน)		ปริมาณ โครเมียมที่ปนเปื้อนในดินและสารละลาย					
		ดินชุดที่ 1		ดินชุดที่ 2		ดินชุดที่ 3	
		ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)	ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)	ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)
0	\bar{X}	9.21	-	61.79	-	188.13	-
	SD	± 1.3	-	± 15.27	-	± 20.14	-
	RSD	14.12	-	24.71	-	10.71	-
7	\bar{X}	8.57	0.07	27.68	0.05	59.63	46.41
	SD	± 2.41	± 0.01	± 1.22	0.00	± 1.51	± 3.59
	RSD	28.12	15.29	4.41	0.00	2.53	7.73
50	\bar{X}	8.82	0.04	57.40	0.17	47.84	26.85
	SD	± 1.86	± 0.02	± 8.14	± 0.02	± 11.78	± 5.33
	RSD	21.08	56.82	14.18	12.08	24.62	19.85
60	\bar{X}	5.82	0.07	55.26	0.18	47.66	14.52
	SD	± 0.67	± 0.01	± 1.68	± 0.02	± 7.59	± 1.50
	RSD	11.51	14.28	3.04	11.11	15.92	10.33
80	\bar{X}	5.13	0.09	54.32	0.19	109.68	2.12
	SD	± 0.46	± 0.03	± 3.05	± 0.01	± 26.97	± 0.25
	RSD	8.90	33.33	5.61	5.26	24.58	11.79

หมายเหตุ หน่วยความเข้มข้นโครเมียม (mg) เทียบต่อน้ำหนักดินแห้ง (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในดินที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน

จากผลการวิจัยพบว่าในดินชุดที่ 1 และดินชุดที่ 2 นั้น ความสามารถในการล้างโครเมียมออกจากดินด้วยสารละลายโซเดียมโคเคซัลซัลเฟต พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมจะมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าระยะเวลาจะเพิ่มขึ้น แต่ในดินชุดที่ 3 นั้น (คือดินชุดที่ 1 ซึ่งได้มีการเติมโครเมียมลงไปด้วยความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณโครเมียมที่ถูกชะออกมาจะมากกว่าดินชุดที่ 1 และดินชุดที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 59.63, 47.84, 47.66 และ 109.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วันตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในดินชุดที่ 1 และดินชุดที่ 2 ที่ไม่มีการเติมโครเมียมลงไป จะสามารถล้างโครเมียมออกมาได้ในปริมาณน้อยเนื่องจากปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในดินจับกับเนื้อดินเป็นเนื้อเดียวกันทำให้การล้างโครเมียมออกมานั้น ทำได้ในปริมาณที่น้อยมากซึ่งแตกต่างกับดินชุดที่ 3 ซึ่งมีการเติมโครเมียมลงไปจะสามารถล้างโครเมียมออกมาได้ดีเนื่องจากโครเมียมยังไม่จับตัวกับเนื้อดินเหนียวแน่นจึงล้างออกมาได้ในปริมาณที่มากกว่าในดินชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ดังกราฟที่ 4.2 ปริมาณโครเมียมในดินและสารละลาย

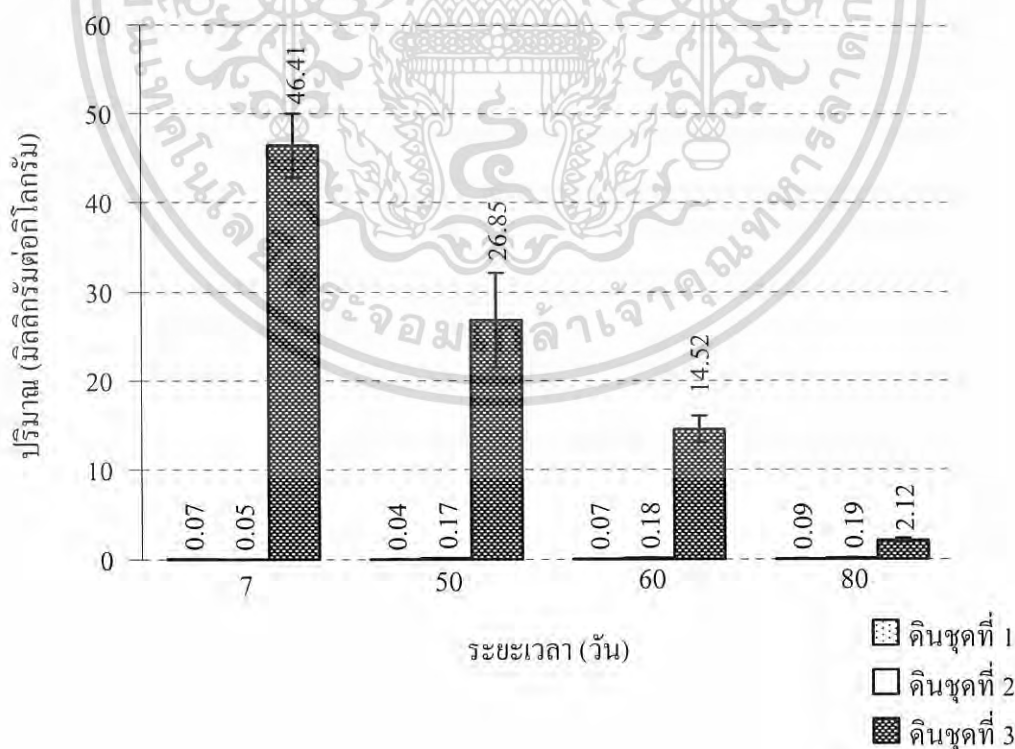


กราฟที่ 4.2 แสดงปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในสารละลายที่ถูกชะล้างออกจากดินที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน

จะเห็นได้ว่า ปริมาณโครเมียมที่ล้างออกจากดินในชุดที่ 1 และชุดที่ 2 นั้นจะมีปริมาณโครเมียมที่ล้างออกมาได้ในปริมาณน้อยซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโครเมียมเดิมที่มีอยู่ในดินซึ่งสามารถล้างออกมาได้น้อยเช่นกัน ซึ่งเป็นเพราะว่าในดินที่ปนเปื้อนโครเมียมเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานนั้น เมื่อเวลาผ่านไปโครเมียมจะไปจับกับอนุภาคของดินได้ดียิ่งขึ้นทำให้ในการล้างนั้นไม่สามารถทำการล้างออกมาได้หมด แต่ในชุดดินที่ 3 นั้นได้มีการเติมโครเมียมลงไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการล้างโครเมียมออกจากดินนั้นจะพบว่าในดินชุดที่ 3 จะมีปริมาณโครเมียมมากกว่าดินชุดที่ 1 และ 2 และลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาผ่านไปซึ่งเป็นเพราะ เมื่อเริ่มต้นเติมโครเมียมลงไป ในดินนั้น โครเมียมยังไม่ไปจับตัวกับอนุภาคของดินจึงทำให้ในวันที่ 7 นั้น เมื่อทำการล้างโครเมียม จะมีปริมาณโครเมียมที่ล้างออกมาได้มากที่สุด คือ 46.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในวันที่ 80 จะมีปริมาณโครเมียมน้อยที่สุดคือ 2.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพราะเมื่อระยะเวลาผ่านไป โครเมียมจะสามารถจับตัวกับอนุภาคของดินได้ดีขึ้นทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณโครเมียมที่ล้างออกมาได้จึงลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับ

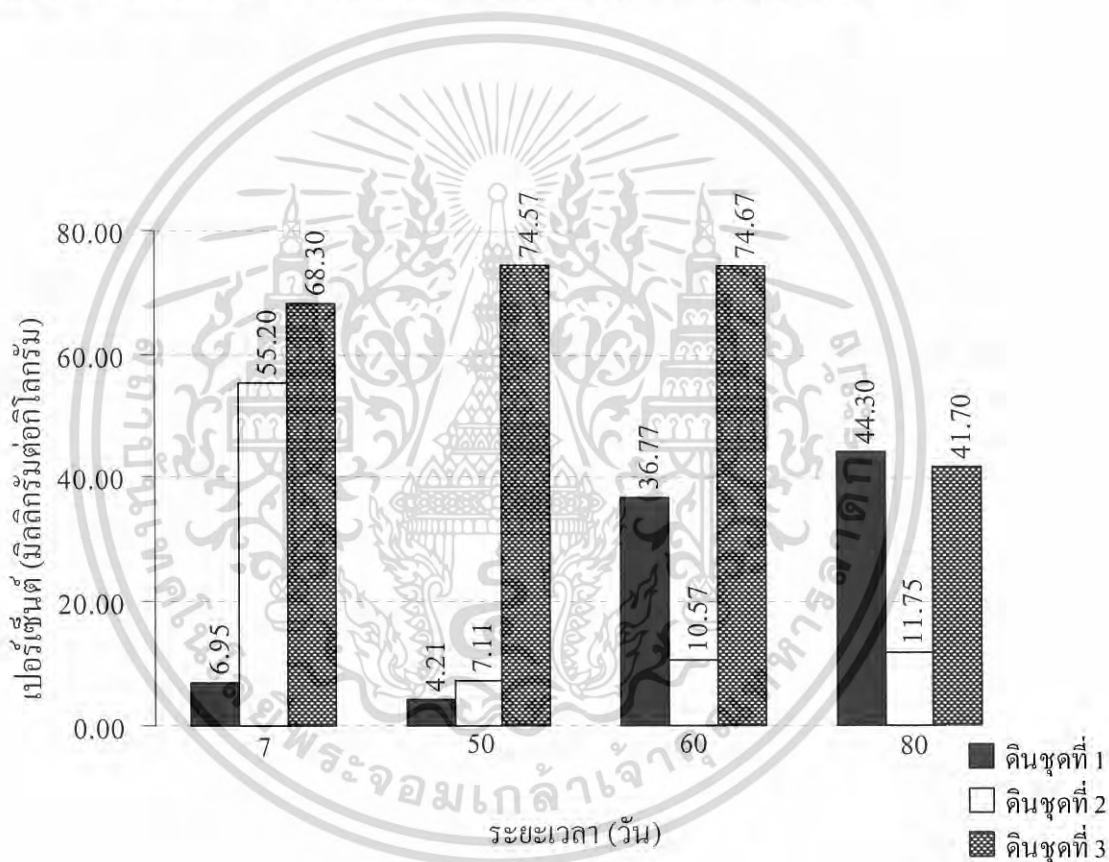


กราฟที่ 4.3 แสดงปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในสารละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ประสิทธิภาพในการชะล้างดิน

ดินชุดที่ 1 เป็นดินธรรมชาติที่มีการปนเปื้อนโครเมียมเท่ากับ 9.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาล้างที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน เปอร์เซ็นต์การชะล้างเท่ากับ 6.95, 4.21, 36.77 และ 44.30 ตามลำดับโดยที่ระยะเวลานานขึ้น ปริมาณโครเมียมที่ถูกชะล้างออกไปมากขึ้น ขณะที่ในดินชุดที่ 2 ปริมาณโครเมียมเริ่มต้นเท่ากับ 61.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยที่ระยะเวลา 7 วันจะมีเปอร์เซ็นต์การชะล้างได้ดีกว่าที่ระยะเวลา 50, 60 และ 80 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 55.20, 7.11, 10.57 และ 11.75 ตามลำดับ และในดินชุดที่ 3 เปอร์เซ็นต์การชะล้างจะสูงกว่าดินชุดที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 68.30, 74.57, 74.67 และ 41.70 ที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน ตามลำดับ

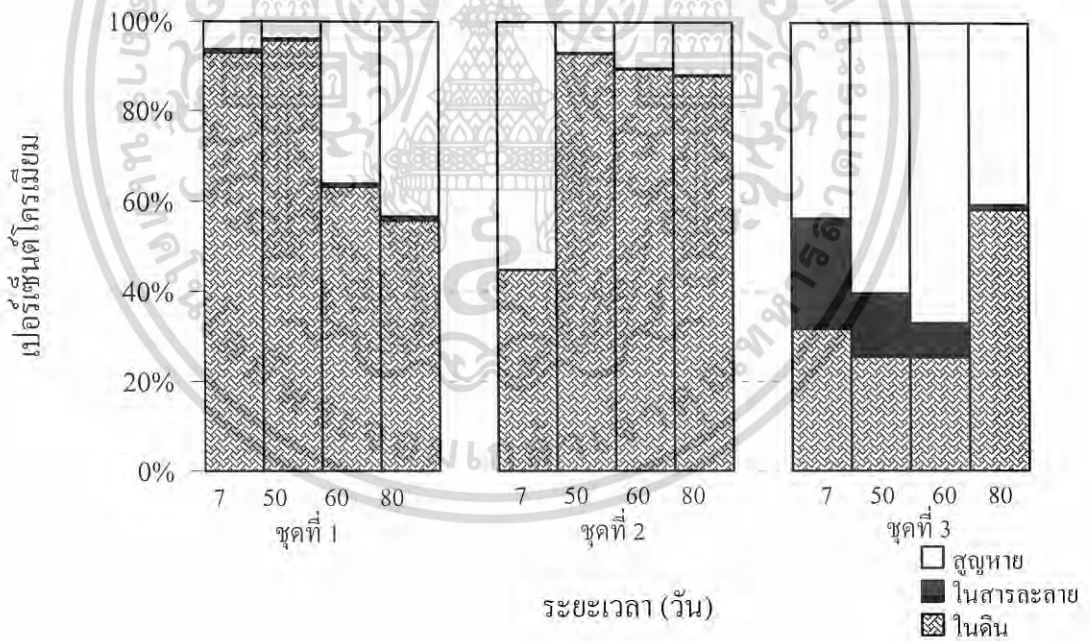


กราฟที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการล้าง โครเมียมในดินด้วยสารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 เปอร์เซ็นต์โครเมียมที่อยู่ในดินและในสารละลาย

กราฟที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์โครเมียมที่อยู่ในดิน โดยปริมาณโครเมียมเริ่มต้นในดินชุดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 9.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 7 วัน นำดินไปชะล้างด้วยสารละลายโซเดียม โดเดซิลซัลเฟต จะพบปริมาณโครเมียมในสารละลายเท่ากับ 0.76 เปอร์เซ็นต์ และพบปริมาณโครเมียมในดินเท่ากับ 93.05 เปอร์เซ็นต์ อีก 6.19 เปอร์เซ็นต์สูญหายจากการทดลองแสดงว่าดินชุดที่ 1 และดินชุดที่ 2 โครเมียมจะถูกชะออกได้น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดินชุดที่ 3 เนื่องจากดินชุดที่ 1 และดินชุดที่ 2 โครเมียมมีการสะสมอยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน อย่างน้อย 20 เดือน ขณะที่ดินชุดที่ 3 ระยะเวลาการสะสมในดินของโครเมียมคือที่ 7 วัน โครเมียมจึงยังไม่จับตัวกับอนุภาคดินเหนียวแข็งแรงมากนัก ทำให้ปริมาณโครเมียมที่ล้างออกมาได้ (ปริมาณที่มีอยู่ในน้ำ) ในดินชุดที่ 3 เท่ากับ 24.64 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในดินชุดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0.76 เปอร์เซ็นต์ และ 0.08 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 7 วัน ตามลำดับ



กราฟที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์โครเมียมที่อยู่ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ ดินที่ใช้ในการวิจัยชุดที่ 1 เป็นดินที่ใช้ในการปลูกต้นก้างปลาเพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียมแล้วนำมาเก็บไว้เป็นเวลา 20 เดือน สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเริ่มต้นได้ 9.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินชุดที่ 2 เป็นดินที่ใช้ในการปลูกต้นก้างปลาแต่มีการเติมสารละลายโครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียมแล้วนำมาเก็บไว้เป็นเวลา 20 เดือน สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเริ่มต้นได้ 61.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินชุดที่ 3 เป็นดินที่ใช้ในการปลูกต้นก้างปลาเพื่อศึกษาการดูดซับโครเมียมแล้วนำมาเก็บไว้เป็นเวลา 20 เดือน แล้วจึงนำมาเติมสารละลายโครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเริ่มต้นได้ 188.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อคืนทั้ง 3 ชุดมาชะล้างโครเมียมออกที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วันจะได้ผลดังนี้คือ

1. ดินชุดที่ 3 ที่เติมสารละลายโครเมียมลงไปใหม่ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถชะล้างโครเมียมออกจากดินได้มากกว่าดินชุดที่ 1 และ 2 คือ 59.63, 47.84, 47.66 และ 109.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วันตามลำดับ

2. เมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นปริมาณโครเมียมจะถูกล้างออกได้น้อยลงและปริมาณที่วิเคราะห์ได้ในสารละลายเท่ากับ 46.41, 26.85, 14.52 และ 2.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระยะเวลา 7, 50, 60 และ 80 วัน ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาการชะล้างดินที่ปนเปื้อนโครเมียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดแคทไอออนและชนิดที่ไม่มีประจุ
2. ทำการศึกษาการใช้โซเดียม โดเดซิลซัลเฟตในการล้างโลหะหนักตัวอื่นๆ
3. ในการศึกษาปริมาณดินและจำนวนตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ควรมีจำนวนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กาญจน์ทิพย์ รัชชนนีส และ นวลจิรา วโรตตมะ.2544. การดูดซับฟีนอลของเม็ดคาร์บอนที่พื้นสภาพโดยใช้สารละลายโซเดียมโอดีซิลซัลเฟต. โครงการงานพิเศษ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรสวรรค์ มากมณี, พิมพ์พิมพ์ คงจินดา และภาสกร ศรีจีว. 2546. การกำจัดโครเมียมออกจากดินที่ปนเปื้อน. โครงการงานพิเศษ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรสุดา ชุนหัตถ์ชานนท์ และสุวิทย์ อภัยสุวรรณ. 2545. การฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโครเมียมด้วยพืชใบเลี้ยงคู่. โครงการงานพิเศษ สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Garrabant A.C. and Kosson.S., 2000. **Use of a chelating agent to determine the metal availability for leaching from soils and wastes.** Waste Management 20. 155-165.

Irene M.C. and Yang.X.Y., 1998. **Removal and redistribution of metals from contaminated soils by a sequential extraction method.** Waste Management 18. 1-7

Mehmet E., 2006. **Chromium recovery from chrome shaving generated in tanning process.** Journal of Hazardous MaterialsB129. 143-146.

Paul R. Wittbrodt and Cart D. Palmer. 1996. **Humic Substance.** Environ. Sci. Technol. 30(8): 2470 - 2477.

Scheerer H., Hoche.H., Broszeit,E., Schramm.B., Abele E. and Berger.C. 2005. **Effects of the chromium to aluminum content on the tribology in dry machining using (Cr,Al)N coated tools.**Surface & Coatings Technology 200. 203– 207.

Sharma K.S., Omprakash.S., Laskshmi.N., Venugopalan.K., Banerjee.A. and Joy.P.A. 2005. **Synthesis of chromium substituted nano particles of cobalt zinc ferrites by coprecipitation .** Materials Letters 59. 3402 – 3405.

Iara R., Marcia.M., Visitacion.C., Laura.R., Vilma B. and Maria del Carmen.R.M. 2006. **Effect of chromium on the fatty acid composition of two strains of Euglena gracilis .** Environmental Pollution 141. 353-358.

<http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/cromium/cromiumn.htm>

http://www.msu.ac.th/satit/stu_project/pj102-2-2546/preriodict/cromium.htm

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ พงษ์สัน อภิสิทธิ์หามีมติแต่เพียงผู้เดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_dodecyl_sulfate

http://wwwapp1.fda.moph.go.th/drug/zone_gmp/gmp_book/cleaning_validation.asp#01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ดังนี้

น้ำหนักโมเลกุลของ $K_2Cr_2O_7$ เท่ากับ 294

โดยมี	K 2 อะตอม	=	2 x 39 =	78
	Cr 2 อะตอม	=	2 x 52 =	104
	O 7 อะตอม	=	7 x 16 =	112

Cr 104.00 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ 294.00 กรัม

Cr 1.00 กรัม อยู่ใน $K_2Cr_2O_7$ $\frac{294 \times 1}{104} = 2.827$ กรัม

จะได้ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 2.827 กรัม ละลายลงในน้ำ 1000 มิลลิลิตรหรือสารละลายโครเมียม(VI) เข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

การเตรียมดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน 100 พีพีเอ็มต่อดิน 10 กรัม

1. เปิดสารละลายสต็อกโครเมียมเข้มข้น 1000 พีพีเอ็มมา 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม
2. นำสารละลายโครเมียมเข้มข้น 100 พีพีเอ็มมา 10 มิลลิลิตร แล้วเทลงในบีกเกอร์ซึ่งมีดินอยู่ 10 กรัม
3. คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วตากแดดนาน 7 วัน
4. จะได้ดินที่มีโครเมียมปนเปื้อน 100 พีพีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน

เครื่องมือ

เครื่องไมโครเวฟไคเจสชัน รุ่น MLS 1200 MEGA

สารเคมี

1. HNO_3 65% 3.0 มิลลิลิตร
2. HF 48% 2.5 มิลลิลิตร

วิธีดำเนินการ

1. ชั่งดินตัวอย่าง 0.25 กรัม ใส่ใน TFM vessel ขนาด 150 มิลลิลิตร
2. ใส่ TFM vessel ลงใน HTC Safety Shield
3. ใส่สารเคมีลงไปตามจำนวนข้างต้น ถ้าส่วนของตัวอย่างที่เกาะอยู่ที่ผิวของ vessel ให้ทำการหยดกรดลงไปบริเวณนั้น
4. ปิด vessel และใส่เข้าไปใน rotor segment ทำการหมุนล็อคให้แน่น
5. ใส่ segment ส่วนที่ใช้ประกอบเครื่อง เข้าไปในเครื่องไมโครเวฟ
6. ทำการเปิดเครื่องและตั้งเครื่องตามโปรแกรมที่กำหนดไว้จนเสร็จสมบูรณ์
7. นำ segment มาหล่อเย็นด้วยน้ำ จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิเกือบเท่าอุณหภูมิห้อง
8. เปิด vessel ทำการกรองแล้วถ่ายสารละลายลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

โปรแกรมไมโครเวฟ

Step	Time	Power	Press	Temp1	Temp2
1.	00:06:00	250	0	0	0
2.	00:06:00	400	0	0	0
3.	00:06:00	650	0	0	0
4.	00:06:00	250	0	0	0

Vent 00:15:00 Rotor Ctrl on Twist on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธี Atomic Absorption Spectrometry

การวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีนี้ เปลวไฟที่เกิดจากก๊าซผสมระหว่างอากาศและ Acetylene จะให้พลังงานที่ทำให้ธาตุแตกตัวเป็นอะตอมเสรี (Atomization) เพื่อให้ดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 357 นาโนเมตร

เครื่องมือ

เครื่อง Atomic Absorption Spectrometry รุ่น Aanalyst 800 ยี่ห้อ บริษัท Perkin Elmer

วิธีการดำเนินการ

นำสารละลายที่ย่อยด้วยเครื่องไมโครเวฟแล้วมากรองผ่านกระดาษกรองยี่ห้อ Advantec แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometry



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต

การหาจำนวนโมลโครเมียมในดิน

ปริมาณโครเมียมในดิน 100 พีพีเอ็ม เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{โมล} &= \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \\ &= \frac{1}{52} = 0.019 \text{ โมลโครเมียม} \end{aligned}$$

สูตรเคมี $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{OSO}_3\text{Na}$
น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 288.4

การหาปริมาณ SDS 3 เท่าของปริมาณ โครเมียมในดิน

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{โมล} &= \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \\ 0.019 &= \frac{3 \times \text{น้ำหนักของ SDS (กรัม)}}{288.4} \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักของ SDS} = 0.548 \text{ กรัม}$$

จะได้ปริมาณ SDS 0.548 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความชื้น (นัทขีร์ญา, 2545)

1. ชั่งกระจกนาฬิกาที่สะอาด
 2. นำตัวอย่างดินมาชั่ง 10 กรัม ลงบนกระจกนาฬิกา จดบันทึกน้ำหนักเปียก
 3. นำไปเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105–110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์
 4. นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง
 5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น
- $$\% \text{ ความชื้น} = \frac{[\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}] \times 100}{\text{น้ำหนักเปียก}}$$
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย

การวัดค่าพีเอช

1. ชั่งดินแห้ง 5 กรัมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไป 10 มิลลิลิตร พร้อมบันทึกหมายเลขตัวอย่างดิน
2. กวนให้เข้ากันอย่างน้อย 5 วินาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
3. ขณะที่ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดพีเอชกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 4 และ 7 (ปฏิบัติตามคู่มือการใช้เครื่องวัดพีเอช)
4. จุ่มอิเล็กโทรดลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลายดินที่ครบตามเวลา กวนโดยใช้การหมุนอิเล็กโทรดเบาๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์สาร โดย Walkley and Black

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำยาโพแทสเซียมไดโครเมต 1 นอร์มอล ลงไป 10 มิลลิลิตร โดยบีบเปิด
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร เขย่าขวดแก้วเบาๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ดินและน้ำยาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น
5. โไทเทรตสารละลายที่ได้ด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ
6. จดปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตและเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้
7. ทำแบลนด์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ดิน
8. คำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ

การคำนวณ

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

- N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต
 B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับแบลนด์
 T = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน
 X = น้ำหนักดิน

$$\% \text{ Organic carbon} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความเป็นกรดของดิน

1. ชั่งดิน 5 – 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมน้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 นอร์มอล และไทรเอทานอลามีน) ลงไป 50 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 คืนกรองโดยใช้กรวยแบบลดความดันและล้างดินด้วยแบเรียมคลอไรด์ไทรเอทานอลามีน 2-3 ครั้งจนสารละลายที่ได้มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาณและใช้น้ำยา (สารละลาย $BaCl_2$ 0.5 นอร์มอล และไทรเอทานอลามีน) ปรับปริมาตร
3. เทสารละลายที่กรองได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ล้างขวดด้วยน้ำกลั่นและเทลงผสมเติมอินดิเคเตอร์ 4 - 5 หยด จะได้สารละลายสีเขียว
4. ทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริกก่อน (ให้ได้ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ถ้าไม่ใกล้เคียงกับ 0.2 นอร์มอล ต้องเตรียมใหม่
5. นำไปไทเทรตกับ HCl 0.2 นอร์มอล จนถึงยุติเป็นสีชมพูม่วง
6. ทำแบลนด์ เช่นเดียวกับตัวอย่างดิน และไทเทรตเช่นกัน

การคำนวณ

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

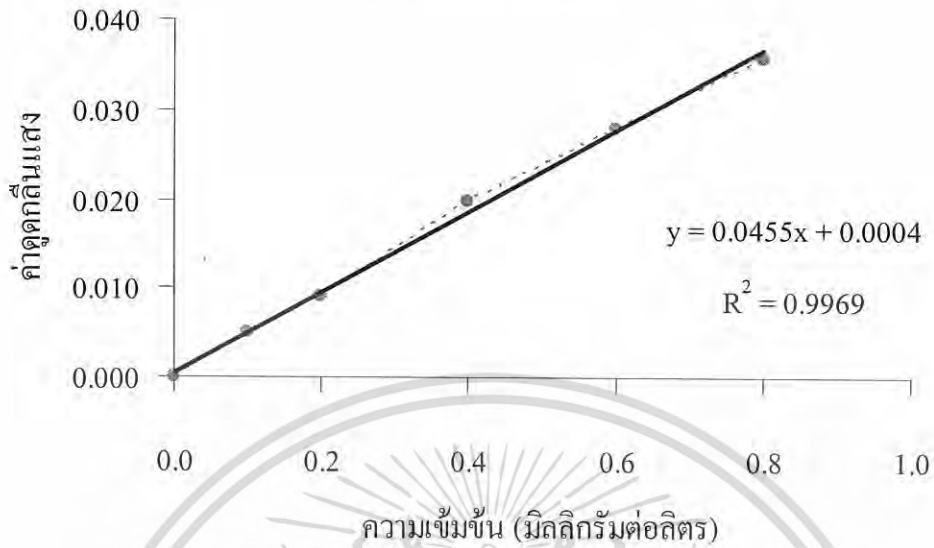
เมื่อ	N	=	ความเข้มข้นของ HCl (นอร์มอล)
	B	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลนด์ (มิลลิลิตร)
	S	=	ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่างดิน (มิลลิลิตร)
	X	=	น้ำหนักของดิน (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐาน โครเมียม



การคำนวณปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในดิน

วิธีการหาปริมาณ โครเมียมในดิน (จากกราฟมาตรฐาน $y = 0.0455x + 0.0004$)

ในการหาปริมาณ โครเมียมในดินใช้ดินตัวอย่าง 0.25 กรัม

จากการวิเคราะห์ AAS 1000 มิลลิกรัม มีปริมาณ โครเมียมอยู่ A มิลลิกรัม

10 มิลลิกรัม มีปริมาณ โครเมียมอยู่ $\frac{(10 \times A)}{1000}$ B มิลลิกรัม

ดังนั้น ดิน 0.25 กรัมจะมีปริมาณ โครเมียมอยู่ B มิลลิกรัม

ในดิน 1000 กรัมจะมีปริมาณ โครเมียมอยู่ $= \frac{(1000 \times B)}{0.25}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

A = ความเข้มข้นของ โครเมียมในตัวอย่างดินที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรมิเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาณ โครเมียมในดิน 0.25 กรัม (มิลลิกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณปริมาณโครเมียมที่มีอยู่ในสารละลาย

วิธีการหาปริมาณโครเมียมในสารละลาย (จากกราฟมาตรฐาน $y = 0.0455x + 0.0004$)

ในการหาปริมาณโครเมียมในสารละลายที่ใช้ดินตัวอย่าง 1	กรัม
1000 มิลลิลิตร จะมีโครเมียมอยู่	A มิลลิกรัม
10 มิลลิลิตร SDS มีปริมาณโครเมียมอยู่	$\frac{(10 \times A)}{1000}$
=	B มิลลิกรัม
ดังนั้น ดิน 1 กรัมเมื่อชะล้างจะมีโครเมียมออกมา	B มิลลิกรัม
ดิน 1000 กรัมจะมีโครเมียมออกมา	$\frac{(1000 \times B)}{1}$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

A = ปริมาณโครเมียมในตัวอย่างดิน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B = ปริมาณโครเมียมในดิน 0.25 กรัม (มิลลิกรัม)

การคำนวณเปอร์เซ็นต์โครเมียมในดินและในสารละลาย

ที่ระยะเวลาเริ่มต้น

ดินชุดที่ 1 มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ A มิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัม

ที่ระยะเวลา 7 วัน

ดินชุดที่ 1 มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในดิน B มิลลิกรัมต่อ
กิโลกรัม

คิดเป็น $\frac{B}{A} \times 100$ เปอร์เซ็นต์

ดินชุดที่ 1 มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่ถูกชะออกมาในสารละลาย C มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

คิดเป็น $\frac{C}{A} \times 100$ เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นมีปริมาณโครเมียมสูญหาย $\frac{[A - (B + C)]}{A} \times 100$ เปอร์เซ็นต์

A = ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

B = ปริมาณโครเมียมในดินที่ระยะเวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

C = ปริมาณโครเมียมในสารละลายที่ระยะเวลาต่างๆ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณประสิทธิภาพในการล้างโครเมียมในดิน

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น} - \text{ปริมาณโครเมียมที่ระยะเวลาต่าง})}{\text{ปริมาณโครเมียมเริ่มต้น}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงปริมาณโครเมียมที่วิเคราะห์ได้ในดินชุดต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในดินและในสารละลาย					
	ดินชุดที่ 1		ดินชุดที่ 2		ดินชุดที่ 3	
	ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)	ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)	ในดิน (mg/kg)	ในสารละลาย (mg/kg)
0	7.73	-	51.28	-	166.15	-
	10.15	-	79.39	-	205.71	-
	9.75	-	54.88	-	192.53	-
7	7.95	0.07	27.95	0.05	61.23	44.44
	11.25	0.08	28.76	0.049	58.22	50.56
	6.54	0.07	26.34	0.049	59.45	44.26
50	6.89	0.07	66.22	0.15	41.75	30.41
	8.10	0.04	55.81	0.18	61.43	29.43
	11.58	0.03	50.21	0.19	40.36	20.72
60	5.88	0.06	56.99	0.19	44.18	14.42
	6.46	0.08	55.16	0.19	42.43	16.16
	5.13	0.06	53.63	0.16	56.37	13.07
80	5.66	0.06	57.00	0.19	139.86	1.84
	4.86	0.08	55.03	0.20	87.94	2.34
	4.87	0.13	51.01	0.18	101.22	2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นและพีเอชของดินชุดต่าง ๆ

ตัวอย่างดิน	น้ำหนักดิน ก่อนอบ (g)	น้ำหนักดิน หลังอบ (g)	เปอร์เซ็นต์ ความชื้น (%)	ค่าพีเอช
ดินชุดที่ 1	5.0001	4.6787	6.43	5.21
	5.0005	4.6601	6.81	5.32
	5.0007	4.6666	6.68	5.34
ดินชุดที่ 2	5.0004	4.5987	8.03	5.28
	5.0001	4.6487	7.02	5.44
	5.0006	4.5894	8.22	5.36
ดินชุดที่ 3	5.0005	4.6845	6.31	5.26
	5.0004	4.6235	7.53	5.42
	5.0003	4.6428	7.14	5.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้