

การกำจัดสิ่งก่สึจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยสารลดแรงตึงผิว



นางสาว รุจิเรข จันทรอำไพ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

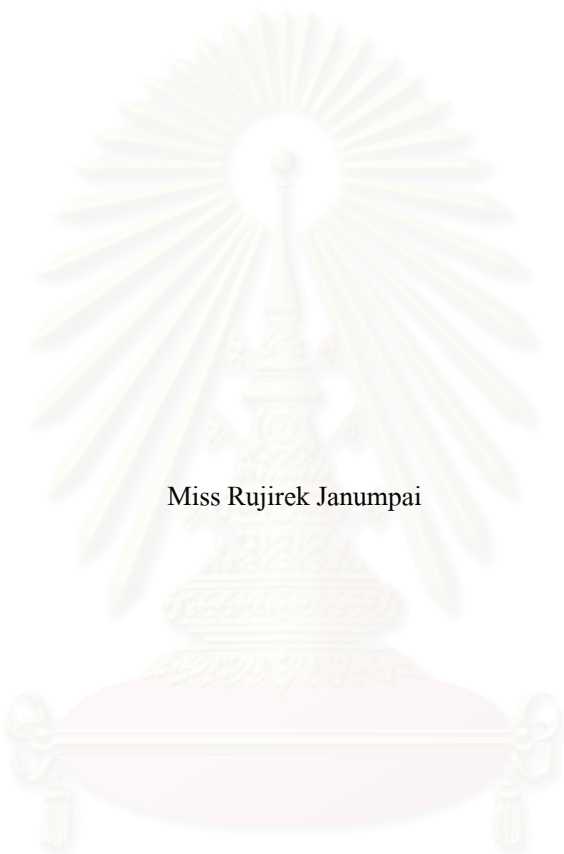
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4468-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ZINC REMOVAL FROM SOIL CONTAMINATED WITH USED LUBRICATING OIL
BY SURFACTANTS



Miss Rujirek Janumpai

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4468-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสังกะสีจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยสารลดแรงตึงผิว
โดย น.ส. รุจิเรข จันทร์อำไพ
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนีย์)

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รุจิเรข จันทรอำไพ : การกำจัดสังกะสีจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยสารลดแรงตึงผิว.

(Zinc Removal from Soil Contaminated with Used Lubricating Oil by Surfactant)

อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : - จำนวนหน้า 98 หน้า. IBSN 974-17-4468-4

การทดลองนี้ได้ทดลองถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภทได้แก่ประจุลบ (Dowfax 8390) และไม่มีประจุ (Triton X-100) ในการกำจัดสังกะสีจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 1 2 5 และ 10 เท่าความเข้มข้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) และทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5 และ 10 ในแต่ละความเข้มข้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยดินที่ใช้เป็นดินร่วนปนทรายที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับวิธีการล้างดิน และน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้จากการเก็บตัวอย่างจากสถานีบริการน้ำมัน โดยมีความเข้มข้นสังกะสีประมาณ 1,390 ส่วนในล้านส่วน โดยเป็นการทดลองแบบเบซต์

ผลการทดลองพบว่าสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติที่ดีในการทำให้ไฮโดรคาร์บอนละลายน้ำได้ส่งผลถึงปริมาณสังกะสีที่กำจัดได้ เนื่องจากปริมาณสังกะสีหลังการดูดซับนั้นยังคงอยู่ในส่วนน้ำมันและดูดซับในดินเป็นจำนวนที่เท่าๆกัน ซึ่งเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติของโมเลกุลเป็นไมเซลล์นั้นทำให้เพิ่มการละลายน้ำของสารประกอบไม่มีขี้ผึ้งได้ดี และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นส่งผลให้การกำจัดสังกะสีมากขึ้นไปด้วย โดยสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบสามารถทำให้สังกะสีหลุดออกมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ ผลของการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างส่งผลถึงการกำจัดสังกะสีคือที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 กำจัดสังกะสีได้น้อยกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการกำจัดสังกะสียังคงน้อยกว่าสภาวะที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และหลังจากการล้างดิน 3 ครั้งด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบความเข้มข้น 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ สามารถกำจัดสังกะสีได้ ร้อยละ 87

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา...2546.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-

##4470496621 : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : SURFACTANT/USED OIL/SOIL

RUJIREK JANUMPAI : ZINC REMOVAL FROM SOIL CONTAMINATED WITH
USED LUBRICATING OIL BY SURFACTANTS. THESIS ADVISOR : MANASKORN
RACHAKORNKIJ, Ph.D., 98 pp. ISBN : 974-17-4468-4

This experiment was done to determine the efficiency of two types of surfactant, which were anionic (Dowfax 8390) and non-ionic (Triton X-100) in order to remove zinc from soil contaminated with used lubricant oil. The concentration of surfactant was varied from 1, 2, 5, and 10 times of critical micelle concentration (CMC). Each concentration was done under different pH of 5 and 10 to compare with natural condition without pH adjustment. Studied soil was loamy-sand. This soil is practical for soil washing to remediate. Used lubricant oil was taken from gas station containing 1,390 ppm of zinc. The experiment was done in batch test.

Result from the experiment showed good efficiency of dissolving hydrocarbon into water so that zinc was able to remove. The amount of zinc that was dissolved in oil and adsorbed into soil was the same, therefore using surfactant with micelle properties promote the solubility of non-polar substance. The removal efficiency of zinc was increased when using higher surfactant concentration. Anionic surfactant gave more capability of removing zinc than non-ionic surfactant. Zinc removal efficiency was higher in natural condition followed by at pH 10 and 5, respectively. After washing soil for three times by anionic surfactant at 10 times of CMC, zinc removal efficiency reached to 87%.

Department....Environmental Engineering..... Student's signature.....

Field of study ...Environmental ..Engineering..... Advisor's signature.....

Academic year...2003.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.มนัสกร ราชากรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำการวิจัยตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ กรรมการ รศ.ดร. ธารศ ศรีสถิตย์ และ อ.ดร. เขมรัฐ โอสถาปนธ์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ คำปรึกษาและความรู้ต่างๆแก่ผู้วิจัยมาตลอดการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจากโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียนัตราาย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากทุนการวิจัยบางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณคุณครูจันทวรรณและพี่กมลกาญจน์ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆในการทำวิจัยใน ห้องปฏิบัติการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อ ประสานงานขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องๆที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลที่เป็น ประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอบคุณในความช่วยเหลือของ พี่โบ๊ต พี่เจ และขอบคุณ ปาล์ม โป้ พี่เหนียว พี่เอก พี่อ้อย หน้อย ชู๊ ก้อง เมธ อาร์ม พี่ไอ้ต รวมถึงเพื่อนๆที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกคน

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ครู-อาจารย์ และญาติพี่น้องที่ได้ให้การอบรมสั่ง สอนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งจบการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	
2.1 สารลดแรงตึงผิว.....	3
2.2 น้ำมันหล่อลื่น.....	4
2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน.....	5
2.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์.....	5
2.2.3 สารเพิ่มคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์.....	7
2.2.4 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น.....	9
2.3 สังกะสี.....	14
2.4 องค์ประกอบของดิน.....	17
2.4.1 ฮิวมัส (humus).....	18
2.4.2 แร่ดินเหนียว (Clay Minerals).....	18
2.4.2.1 Silicate Clays.....	21
2.4.2.2 Iron-Aluminium Oxide และ Hydrus Oxide.....	22
2.5 การดูดซับหรือดูดติดผิว (Adsorption).....	19
2.5.1 กลไกการดูดซับ (Adsorption Mechanism).....	22
2.5.2 การเคลื่อนที่ของการดูดซับ (Adsorption Kinetic).....	25
2.5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	25
2.5.4 สมดุลย์ของการดูดซับ (Adsorption Equilibria).....	26
2.5.5 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant Adsorption Isotherm).....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 กลไกการล้างดิน (Soil Washing Mechanism).....	26
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย	
3.1 แผนการทดลอง.....	31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
3.3 สารเคมี.....	32
3.4 การดำเนินการทดลอง.....	32
3.4.1 การหาคุณสมบัติของดิน.....	32
3.4.2 การหาปริมาณสังกะสี.....	33
3.4.3 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของ สารลดแรงตึงผิวบนดินตัวอย่าง.....	33
3.4.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของสังกะสี ในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง.....	34
3.4.5 การหาไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว บนดินตัวอย่าง.....	35
3.4.6 การหาไอโซเทอมการดูดซับของสังกะสี ในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วบนดินตัวอย่าง.....	35
3.4.7 วิธีการดำเนินการล้างดิน.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ลักษณะของดินตัวอย่าง.....	39
4.2 ไอโซเทอม	
4.2.1 ไอโซเทอม Triton X-100.....	41
4.2.2 ไอโซเทอม Dowfax-8390.....	43
4.2.3 ไอโซเทอมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว.....	45
4.3 ผลจากการล้างดิน	
4.3.1 ผลการกำจัดสังกะสี.....	48
4.3.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC).....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 ผลการทดลองหลังการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	68
ภาคผนวก ข ระดับเกณฑ์โลหะหนัก.....	80
ภาคผนวก ค ข้อมูลการกระจายตัวของดินที่ใช้ในการทดลอง.....	83
ภาคผนวก ง ข้อมูลเวลาสมมูลย์และไอโซเทอม.....	86
ภาคผนวก จ ข้อมูลความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวหลังการล้างดินในสภาวะปกติและ สภาวะการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารเพิ่มคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่น.....	8
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เป็นสารอันตรายในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ในปี ค.ศ.1983.....	11
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว.....	12
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว กับน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์.....	13
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว.....	14
ตารางที่ 3.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้.....	32
ตารางที่ 3.2 การหาคุณสมบัติดินและวิธีวิเคราะห์.....	32
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนการใช้ปริมาณบัพเฟอร์และสารลดแรงตึงผิวเพื่อ ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง.....	36
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสังกะสีหลังการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ด้วยสารชะล้าง.....	49
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลายหลังการล้างดินตัวอย่าง ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	52
ตารางที่ 4.3 ปริมาณสังกะสีหลังผ่านการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ด้วยสารชะล้างที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5 และ 10.....	57
ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลายหลังการล้างดินตัวอย่าง ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วด้วยสารลดแรงตึงผิวหลังการปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง 5 และ 10.....	58
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสังกะสีที่ล้างได้และที่คงเหลือหลังการล้างดิน.....	58

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว.....	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่ำกว่า และสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์.....	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ ซิงก์ไดออกไซด์ไดโรฟอสเฟต (ZDDP).....	15
รูปที่ 2.4 การดูดซับของประจุบวกโดยคอลลอยด์ฮิวมัสในดิน.....	18
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Silicate Clay.....	20
รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวกรณีประจุของสารลดแรงตึงผิว เป็นประจุตรงข้ามกับประจุที่ผิวหน้าตัวกลาง.....	25
รูปที่ 2.7 การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	27
รูปที่ 3.1 การดำเนินการเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวที่ ดูดซับบนดินตัวอย่าง.....	33
รูปที่ 3.2 การดำเนินการเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ดูดซับบนดินตัวอย่าง.....	34
รูปที่ 3.3 วิธีการล้างดินเพื่อกำจัดสังกะสีที่มีในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว.....	37
รูปที่ 3.4 การดำเนินการล้างดินซ้ำในกรณีที่มีปริมาณสังกะสีที่คงเหลือ มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน.....	38
รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดดิน 3 ชนิดสำหรับเตรียมดินตัวอย่าง.....	39
รูปที่ 4.2 ดินที่ใช้ในการเตรียมดินตัวอย่าง.....	40
รูปที่ 4.3 ดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	40
รูปที่ 4.4 เวลาสมมูลย์ของ Triton X-100 บนดินตัวอย่าง.....	42
รูปที่ 4.5 ไอโซเทอมของ Triton X-100 บนดินตัวอย่าง.....	42
รูปที่ 4.6 เวลาสมมูลย์ของ Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง.....	44
รูปที่ 4.7 ไอโซเทอมของ Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง.....	44
รูปที่ 4.8 เวลาสมมูลย์ของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง.....	46
รูปที่ 4.9 ไอโซเทอมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 ส่วนของเหลวแยกชั้นหลังผ่านการปั่นเหวี่ยง.....	47
รูปที่ 4.11 การแยกชั้นของเหลว.....	47
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในส่วนที่ 1 ระหว่างDowfax-8390 และTriton X-100 ที่ความเข้มข้น 1 2 5 และ10 เท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์.....	50
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในส่วนที่ 2 ระหว่างDowfax-8390 และTriton X-100 ที่ความเข้มข้น 1 2 5 และ10 เท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์.....	50
รูปที่ 4.14 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ผ่านการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวและน้ำกลั่น.....	51
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณสังกะสีหลังผ่านการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว ที่ความเข้มข้นเท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์.....	51
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลายสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภทที่ความเข้มข้น 1 2 5 และ10 เท่าความเข้มข้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์....	54
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดระหว่างสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภทที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 และ 10.....	54
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในส่วนที่ 1 ระหว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 10.....	55
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในส่วนที่ 2 ระหว่าง ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 10.....	55
รูปที่ 4.20 ลักษณะดินที่ผ่านการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบ ด้วยความเข้มข้น 10 เท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์.....	59
รูปที่ 4.21 ปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ล้างออกได้ในการล้างดินเทียบกับจำนวนการล้าง.....	60

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการบำบัดดินที่ปนเปื้อนมักทำได้หลายวิธีเช่น การนำไปเผา การใช้ความร้อน การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การสกัดด้วยสารที่เป็นตัวทำละลาย การบำบัดทางชีววิทยา การนำไปฝังกลบ หรือการนำดินไปล้าง ซึ่งการล้างดินนั้นนิยมใช้สารช่วยชะล้างให้สารปนเปื้อนออกจากดินได้โดยง่าย ไม่ว่าจะเป็น สารลดแรงตึงผิว สารคีแลนต์ หรือใช้กรด-ด่าง ซึ่งดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องนิยมใช้สารลดแรงตึงผิวอย่างกว้างขวาง (Candida และ Jeffrey, 1999) เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติการเป็นไมเซลล์ทำให้ช่วยเพิ่มการละลายของน้ำมันในน้ำมากขึ้น และจากองค์ประกอบของน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วประกอบไปด้วยโลหะหนักต่างๆเช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สังกะสี สารหนู วานาเดียม ฯลฯ (Mueller Association, Inc., 1989) สารลดแรงตึงผิวก็มีคุณสมบัติในการทำให้โลหะหนักต่างๆหลุดออกด้วยเนื่องจากส่วนที่มีขั้วที่มีประจุตรงกันข้ามกับโลหะหนักทำให้โลหะหนักหลุดออกจากดินโดยง่ายซึ่งในปัจจุบันได้มีการทิ้งน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่ดินตามอุ้มรถต่างๆ โดยไม่ได้มีการจัดการเหมาะสมในการวิจัยนี้มุ่งไปที่การกำจัดสังกะสีที่มีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วให้ออกจากดินเนื่องจากถ้ามีปริมาณมากแล้วจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นมนุษย์หรือพืช ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกวิธีนำดินไปล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวสามารถเพิ่มการละลายของสังกะสีในสารละลายสารลดแรงตึงผิว ทำให้สังกะสีเกิดการหลุดออกจากดินได้ดีขึ้น

ปริมาณสังกะสีในดินของประเทศไทยนั้นได้มีการกำหนด ระดับเกณฑ์พื้นฐานของสังกะสีในดินของประเทศไทย (ภาคผนวก ข) แต่ค่าที่กำหนดดังกล่าวไม่ได้บ่งบอกว่าเป็นระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ จึงได้ใช้ค่าที่แนะนำสำหรับปริมาณสังกะสีมากที่สุดในดินที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชซึ่งเป็นของประเทศออสเตรเลียและแคนาดา (ภาคผนวก ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้สารลดแรงตึงผิว ในการกำจัดสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วออกจากดิน
2. ศึกษาถึงประสิทธิภาพของการใช้สารลดแรงตึงผิว ในการกำจัดสังกะสีจากดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวอย่างดินประเภทดินร่วนปนทราย เนื่องจากลักษณะดินที่มีทรายเป็นส่วนประกอบค่อนข้างมากนี้เหมาะกับการบำบัดดินด้วย วิธีล้างดิน โดยดินที่นำมาใช้นั้นเป็นดินที่ไม่มีกรปนเปื้อนใดๆมาก่อนหน้านี้ และน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้มาจาก สถานีบริการน้ำมัน โดยมีความเข้มข้นของสังกะสีประมาณ 1,380 ส่วนในล้านส่วน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้กับการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นสารประกอบชนิดมีขั้วและไม่มีขั้วที่มีส่วนประกอบเป็นโลหะหนักชนิดอื่น
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆที่ได้ถูกทิ้งลงดินหรือที่การรั่วไหลลงสู่ดิน สำหรับดินประเทศไทย

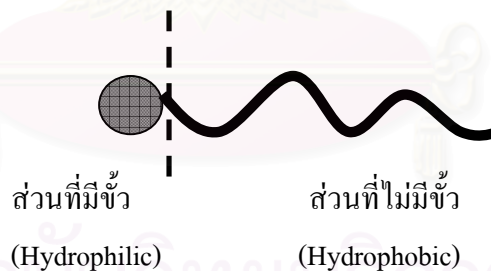
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

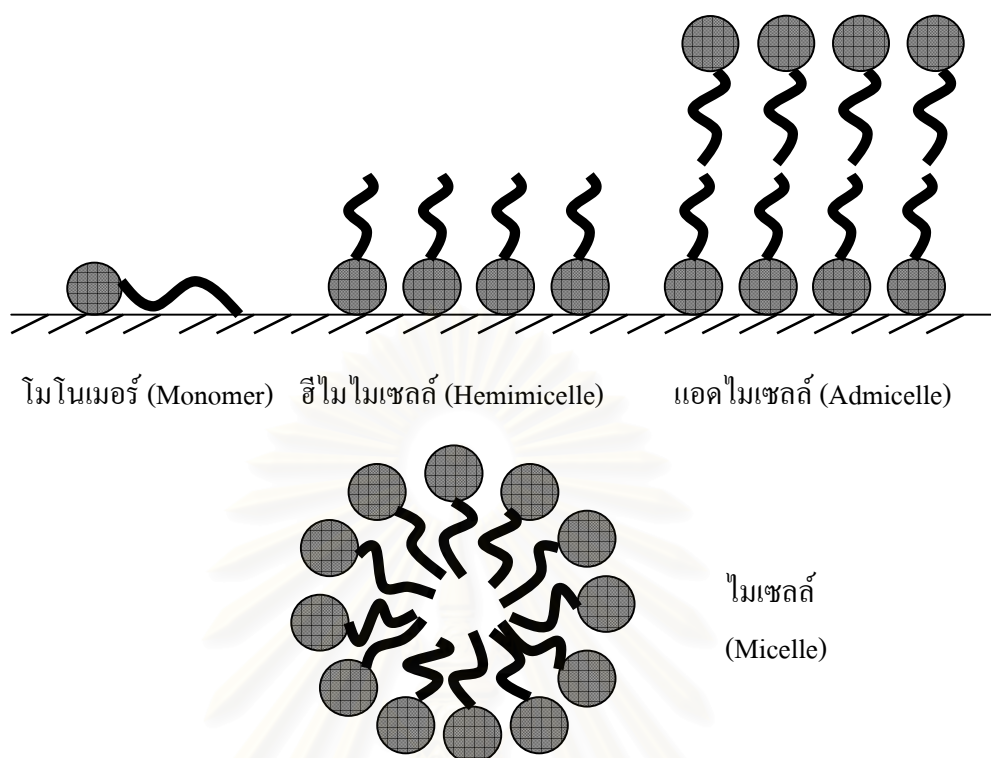
ทบทวนเอกสาร

2.1 สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)

สารลดแรงตึงผิวมีคุณสมบัติในการดูดซับบนผิวของตัวกลาง โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบแอมฟิ-ฟาทิก (Amphiphatic Structure) คือ ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Portion) และ ส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Portion) ดังรูปที่ 2.1 ส่วนที่มีขั้วเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้และส่วนที่ไม่มีขั้วละลายน้ำได้ต่ำ ส่วนมากเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการกำจัดสารปนเปื้อนขึ้นกับการรวมตัวของโมเลกุลเป็นไมเซลล์ (Micelle) โดยโมเลกุลจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มโดยหันส่วนที่มีขั้วออกมาด้านนอกและด้านในเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วดังรูปที่ 2.2 ซึ่งความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่จะทำให้โครงสร้างรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ได้นั้น จะต้องมีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC) เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำกว่าจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (CMC) การรวมตัวของโมเลกุลจะเป็นแบบ ฮีไมไมเซลล์(Hemimicell) และ แอดไมเซลล์ (Admicelle) (Candida และ Jeffrey, 1999)



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว (Candida และ Jeffrey, 1999)



รูปที่ 2.2 ลักษณะการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่ำกว่าและสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) (Candida และ Jeffrey, 1999)

2.1.1 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว

แบ่งตามลักษณะของส่วนที่มีขั้วได้ดังนี้

ประเภทประจุลบ (Anionic) เช่น $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^-\text{Na}^+$ (Alkylbenzenesulfonate)

ประเภทประจุบวก (Cationic) เช่น $\text{RNH}_3^+\text{Cl}^-$, $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$

ประเภทมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Zwitterionic) เช่น $\text{RN}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$ (Sulfobetaine)

ประเภทไม่มีประจุ (Nonionic) เช่น $\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$ (Polyoxyethylenatedalkylphenol)

2.2 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil)

สารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารหรือวัสดุที่ใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ซึ่งแบ่งได้หลายสถานะ คือ ของแข็งที่บดเป็นผง ของเหลว และก๊าซ แต่สารหล่อลื่นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางอยู่ในสถานะของเหลว เช่น น้ำมันหล่อลื่น หรือสารที่มีลักษณะเหนียวเช่น จาระบี เป็นต้น (ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2536)

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil) หรือที่เรียกทั่วไปว่า น้ำมันเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมมีลักษณะเป็นของเหลวใช้กับชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่มีลักษณะปิด เช่น ภายในเพลลาข้อเหวี่ยง ห้องเกียร์ และเฟืองท้าย เป็นต้น ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นโดยใช้สารเพิ่มคุณภาพต่างๆลงในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2536)

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil) แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันพีชหรือสัตว์ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ โดยส่วนมากจะใช้น้ำมันแร่นำมาผลิตเป็นน้ำมันเนื่องจากราคาถูกและคุณภาพดี น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดนี้เป็นผลผลิตอันหนึ่งซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในหอกถัน ส่วนเบาที่มีจุดเดือดต่ำ ได้แก่ ก๊าซ แก๊สโซลีน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล โดยจะระเหยแยกออกมา ส่วนหนักที่มีจุดเดือดสูงไม่ระเหยเป็นไอและเหลืออยู่คือน้ำมันเตา ไข และยางมะตอยซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยนำมาหลั่นภายใต้สุญญากาศ แยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใสและชนิดข้นออกมา น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอาจแบ่งได้ 3 ประเภทตามความหนืด ดังนี้

- ดัชนีความหนืดสูง (High Viscosity Index)
- ดัชนีความหนืดปานกลาง (Medium Viscosity Index)
- ดัชนีความหนืดต่ำ (Low Viscosity Index)

2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (ธำรง โชตะมังสะ, 2521) วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยทั่วไปต้องประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีคาร์บอนประมาณ 25 ถึง 35 หรืออาจถึง 40 อะตอม โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีในน้ำมันหล่อลื่นประกอบด้วยส่วนที่เป็นโซ่ยาวที่ต่อกับสารที่เป็นวงหรือกิ่ง สารประกอบส่วนใหญ่เป็นพาราฟิน แนฟทีน ที่ประกอบด้วยวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่พาราฟิน โดยที่สารประกอบอะโรมาติกที่มีในน้ำมันหล่อลื่นนั้นปกติจะมีวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่ยาวพาราฟิน โดยที่สารประกอบอะโรมาติกอาจอยู่ในรูปไบฟีนิลและอนุพันธ์ของไบฟีนิล ส่วนสารประกอบพวกโพลีไซคลิกอิมิตันนั้นอาจมีวงแหวนทั้งหมดในระบบที่รวมเป็นกลุ่มเดียวหรืออาจมีระบบวงแหวนสองวงหรือมากกว่าแยกกันโดยโซ่แอลคิล กล่าวโดยสรุปว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นแบ่งได้ 3 กลุ่ม

- สารประกอบพาราฟินประเภทโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง
- สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิมิตันพวกโพลีไซคลิกหรือชนิดที่มีวงแหวนหลอมติดกัน ซึ่งอาจเป็นวงแหวนแบบไซโคลเพนเทนหรือไซโคลเฮกเซน สารประกอบเหล่านี้รวมกันเรียกว่า แนฟทีน (Naphtene)

- สารประกอบอะโรมาติก สารประกอบในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นวงแหวนเดี่ยวหรือหลายวง ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างวงแหวนที่ไม่มีอิมตัว

2.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ (ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2536)

- มีความหนืดหรือความข้นใสที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน (Optimum Viscosity)

มีค่าดัชนีความข้นใสสูง (High Viscosity Index) เพราะช่วยรักษาความหนืดไว้ได้ดีกว่าทำให้การหล่อลื่นมีประสิทธิภาพสูง

- มีคุณสมบัติในการชะล้าง (Detergent) เนื่องจากขณะที่เครื่องยนต์กำลังเผาไหม้ทำให้เกิด คราบเขม่า ขางเหนียว เถ้า และสิ่งสกปรกต่างๆ ติดเป็นคราบอยู่ตามชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เพราะฉะนั้น น้ำมันเครื่องต้องช่วยชะล้างสิ่งสกปรกต่างๆออกไปได้

- มีคุณสมบัติในการกระจายสิ่งสกปรก (Dispersancy) เมื่อสิ่งสกปรกชะลงมาในอ่างน้ำมันเครื่อง ต้องสามารถกระจายสิ่งสกปรกไม่ให้มารวมกันเป็นก้อน เพราะอาจส่งผลให้ท่อทางเดินน้ำมันอุดตันได้

- มีสารป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจน (Anti Oxidant) เนื่องจากสารเหล่านี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเครื่องกับออกซิเจนในอากาศเกิดได้ช้าลง

- มีค่าความเป็นด่างที่เหมาะสม (Total Base Number, TBN) เนื่องจากเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดกรดซัลฟิวริกเพราะมีกำมะถันอยู่ในน้ำมันเครื่อง เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนภายในดังนั้นจึงต้องใช้ น้ำมันหล่อลื่น ในการทำลายกรดที่เกิดจากก๊าซไอเสียหรือไอเสียที่ผ่านเข้าไปในห้องเพลวข้อเหวี่ยง และปรับสภาพน้ำมันเครื่องให้มีค่าเป็นกลางซึ่งช่วยป้องกันการสึกหรอที่จะเกิดขึ้นได้

- มีสารป้องกันการสึกหรอ (Anti Wear) สารนี้จะช่วยทำให้ฟิล์มของน้ำมันเครื่องคงทนต่อแรงเสียดทานได้ดี ช่วยลดการสึกหรอที่จะเกิดมากกว่าปกติตรงบริเวณวาล์วและลูกเบี้ยวของเพลวลูกเบี้ยวได้

- มีสารป้องกันการเกิดฟอง (Anti Foam) เพราะการเกิดฟองน้ำมันเครื่องในห้องเพลวข้อเหวี่ยง นั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบการหล่อลื่นลดลง ซึ่งสารป้องกันการเกิดฟองช่วยให้ฟองอากาศละลายตัวได้ง่าย

- มีสารป้องกันสนิม (Anti Rust) สารนี้จะช่วยเคลือบไม่ให้ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ทำด้วยเหล็กเป็นสนิมขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน

- มีสารลดความฝืด (Friction Modifier) สารนี้จะช่วยเพิ่มความลื่นในน้ำมันเครื่องทำให้ความฝืดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ลดลง เป็นผลทำให้ความร้อนในน้ำมันลดลงไปด้วยยังทั้งช่วยประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย

-มีการระเหยตัวต่ำ (Low Volatility) น้ำมันเครื่องที่ดีต้องมีจุดวาบไฟสูง ทำให้เกิดการระเหยตัวต่ำ และทนต่อความร้อนสูงๆได้ ไม่เกิดการเผาไหม้ง่าย

-มีจุดไหลเทต่ำ (Low Pour Point) เพื่อที่จะนำน้ำมันเครื่องไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้

2.2.3 สารเพิ่มคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมักมีคุณภาพไม่เพียงพอในการทำงานต่างๆได้ จึงต้องมีการเพิ่มสารบางอย่างเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับประเภทของงาน ซึ่งตัวอย่างสารเพิ่มคุณภาพสำหรับเครื่องยนต์มีดังนี้ (ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2536)

สารต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor)

สารช่วยชะล้างทำความสะอาด (Detergent)

สารช่วยกระจายเขม่าตะกอน (Dispersant)

สารต้านทานการสึกหรอ (Anti Wear Agent)

สารต้านทานการเกิดฟอง (Antifoamant)

สารเพิ่มค่าดัชนีความข้นใส (VI Improver)

สารช่วยลดจุดไหลเท (Pour Depersant) และสารต้านการรวมตัวกับออกซิเจน (Anti Oxidant)

นอกจากสารเพิ่มคุณภาพที่กล่าวมาแล้ว อาจมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพชนิดอื่นเพื่อเพิ่มคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นให้สูงขึ้นอีก ซึ่งตัวอย่างสารเพิ่มคุณภาพที่เติมในน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารเพิ่มคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่น (ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ, 2536)

ประเภทของสารเพิ่มคุณภาพ	ชนิดของสารเคมี	ประโยชน์
<p>1. สารเพิ่มคุณภาพด้านเคมี</p> <p>- สารต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anti Oxidants)</p> <p>- สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors)</p> <p>- สารป้องกันการสึกหรอ (Anti Wear Additives)</p> <p>- สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (Detergents and Dispersants)</p>	<p>- ซิงก์ไดอัลคิล ไดโรฟอสเฟต (ZDDP)</p> <p>- บิสฟีนอล</p> <p>- อะโรมาติกเอมีน</p> <p>- สารเพิ่มความเป็นด่างซัลโฟเนต ฟอสเฟต</p> <p>- ไฮดรอกซีเบนซีน</p> <p>- ซิงก์ไดอัลคิล ไดโรฟอสเฟต (ZDDP)</p> <p>- ฟอสโฟซิลฟูโรซเทอริป</p> <p>- ซิงก์ไดอัลคิล ไดโรฟอสเฟต (ZDDP)</p> <p>- ไตรครีซิลฟอสเฟต</p> <p>- เมทาลิกซัลโฟเนต ฟีนิต และฟอสเฟต</p> <p>- เอมีน ฟีนอล</p> <p>- อัลคิลซัลฟิเดต ซาลิไซเลต</p> <p>- ซักซินิมิด</p> <p>- โพลีไอโซบิวทิลีน</p> <p>- เมทาครีเลท</p> <p>- อะครีเลต โคลิโพลิเมอร์</p> <p>- เมทาครีเลท โพลีเมอร์</p> <p>- แวกซ์อัลคิลเลท ฟีนอลและอีดีเอส โพลีเมอร์</p> <p>- แวกซ์อัลคิลเลต และเนพทาไลน์</p> <p>- ซิลิโคน โพลีเมอร์</p> <p>- ออร์แกนิก โพลีเมอร์</p>	<p>ใช้กับน้ำมันหล่อลื่นในงานที่มีอุณหภูมิสูงและน้ำมันต้องสัมผัสกับอากาศ ใช้ลดการเกิดยางเหนียวและตะกอนจากน้ำมัน ยืดอายุการใช้งาน</p> <p>ใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น กรดที่จะกระทำต่อผิวชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล</p> <p>ใช้เพื่อป้องกันการสึกหรอของผิวชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่รับภาระน้ำหนักสูง</p> <p>ใช้ชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวชิ้นส่วนของเครื่องจักร และกระจายมิให้รวมตัวเป็นโคลนตะกอน ซึ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์</p> <p>ใช้ลดอัตราการเปลี่ยนแปลงความข้นใสตามอุณหภูมิของน้ำมัน</p> <p>ใช้ลดการแข็งตัวของน้ำมันซึ่งเกิดจากไขในน้ำมันแยกตัวเป็นผลึก โดยป้องกันมิให้ไขเกาะตัวกันเป็นกลุ่ม</p> <p>ใช้ป้องกันการเกิดฟองฉาวเมื่อน้ำมันถูกหมุนเวียนในระบบ เช่น ในอ่างน้ำมันเครื่อง เกียร์ไฮดรอลิก</p>

2.2.4 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นถูกใช้งานตามคุณสมบัติต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วเมื่อใช้งานไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ทำให้คุณสมบัติที่มีนั้นลดลงไปจนไม่สามารถใช้งานได้อีก ซึ่งสาเหตุการเสื่อมของน้ำมันเครื่องอาจมาจากหลายสาเหตุ ดังนี้

1. การเสื่อมสลายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

อาจจะเกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจนในอากาศ (Oxidation and Nitration) โดยเฉพาะเมื่อใช้งานในที่ที่อุณหภูมิและความดันสูง อีกทั้งถ้ามีเศษและไอออนของโลหะเช่น สังกะสี ตะกั่ว เหล็ก หรือทองแดง ปะปนอยู่ในน้ำมัน เศษโลหะเหล่านี้จะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วยิ่งขึ้นและจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจนหรือไนโตรเจนทำให้เกิดผลเสีย ดังนี้

- เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ
- น้ำมันกลายสภาพเป็นยางเหนียว ทำให้ชิ้นส่วนภายในสกปรกทำให้ระบบน้ำมันเวียนอุดตัน
- ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น
- เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

2. สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไป

เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพเป็นสารเคมี ซึ่งเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งสารเหล่านี้ก็จะแปรสภาพหมดไปทำให้น้ำมันเครื่องไม่มีคุณสมบัติที่ดีต่อไปได้

3. สิ่งที่เกิดจากภายในเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์

สิ่งที่เกิดจากภายในเครื่องยนต์ที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพ คือ

- น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การทำงานที่มีอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เกิดกรด ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นและเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

- เขม่าเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ผลทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นและเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

- สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ ผลทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

- น้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด มีผลทำให้ความหนืดลดลง

- การรั่วของ อดีหรือก๊าซที่เผาไหม้ผ่านแหวนลูกสูบลงสู่อ่างน้ำมันเครื่องมีผลทำให้น้ำมันเครื่องสกปรก

- เศษและไอออนของโลหะที่เกิดจากการสึกหรอมีผลทำให้ความหนืดสูงขึ้น และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโคลนน้ำมัน

4. สารจากภายนอกเข้าไปปะปน

สารจากภายนอกเข้าไปปะปนกับน้ำมันเครื่องส่งผลถึงน้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพได้ดังนี้

- กรณีฝุ่นผงที่มาจากสภาพแวดล้อมในระหว่างเครื่องยนต์ทำงาน ส่งผลถึงความหนืดของน้ำมันที่สูงขึ้น

สารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วทำให้สมบัติของน้ำมันหล่อลื่น เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อน ซึ่งมีการแบ่งสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็น 2 ประเภท

1. สมบัติทางเคมี
2. สมบัติทางกายภาพ

โดยคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Mueller Associates, Inc.,1989) ตามตารางที่ 2.2 ได้แสดงองค์ประกอบของสารที่เป็นอันตราย (Hazardous Materials) ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยแสดงค่าเป็น Mean, Median(50th), 75th, 90th และ range

จากตารางที่ 2.2 เห็นได้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มากคือ ตะกั่ว ตั้งแต่ 0-21,700 ppm แต่แนวโน้มของตะกั่วน่าจะลดลงเนื่องจากในปัจจุบันมีการเลิกใช้สารตะกั่วในน้ำมัน และความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบรองลงมาได้แก่ สังกะสีและแบเรียม เนื่องจากเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่เติมในน้ำมันหล่อลื่นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เป็นสารอันตรายในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในปี ค.ศ.1983 (Mueller Associates, Inc.,1989

Contaminant	Total sample	Sample with detected contaminants		Mean Conc. (ppm)	Median Conc. (ppm)	Conc. at 75 th percentile (ppm)	Conc. at 90 th percentile (ppm)	Concentration range (ppm)	
		Number	%					Low	High
Metals									
Arsenic	537	135	25	17.26	5	5	18	< 0.01	100
Barium	752	675	89	131.92	48	120	251	0	3,906
Cadmium	744	271	36	3.11	3	8	10	0	57
Chromium	756	592	78	27.97	6.5	12	35	0	690
Lead	835	760	91	664.50	240	740	1200	0	21,700
Zinc	810	799	98	580.28	480	872	1130	< 0.5	8,610
Chlorinated Solvents									
Dichlorodifluoromethane	87	51	58	373.27	20	160	640	< 1	2,200
Trichlorotrifluoroethane	28	17	60	62,935.88	160	1,300	100,000	< 20	550,000
1,1,1-Trichloroethane	616	388	62	2,800.41	200	1,300	3,500	< 1	110,000
Trichloroethylene	608	259	42	1,387.63	100	200	800	< 1	40,000
Tetrachloroethylene	599	352	58	1,420.89	106	600	1,600	< 1	32,000
Total Chlorine	590	568	96	4,995	1,600	4,000	9,500	40	86,700
Other Organic									
Benzene	236	118	50	961.20	20	110	300	< 1	55,000
Toluene	242	198	81	2,200.48	380	1,400	4,500	< 1	55,000
Xylene	235	194	82	3,385.54	550	1,400	3,200	< 1	139,000
Benz(a)anthracene	27	20	74	71.30	12	30	40	< 5	660
Benzo(a)pyrene	65	38	58	24.55	10	12	16	< 1	405
Naphthalene	25	25	100	475.20	330	560	800	110	1,400
PCBs	753	142	18	108.51	5	15	50	0	3,800

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Mueller Associates, Inc., 1989) จากตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เช่น จุดวาบไฟมีค่าอยู่ระหว่าง 60-525 °F (15-274 °C) เมื่อเทียบกับจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100- 400 °F (37-204 °C) และตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับเชื้อเพลิงบริสุทธิ์ พบว่าโลหะหนักบางชนิดเช่น ตะกั่ว โซเดียม เหล็ก โพแทสเซียม ทองแดง โครเมียม เป็นต้นมีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น และโลหะบางชนิดเช่น สังกะสี ฟอสฟอรัส แมงกานีส เป็นต้นมีค่าลดลง

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Mueller Associates, Inc., 1989)

Properties	No. of sample	Mean	Median	Range	
				Low	High
Flash Point	289	210	-	60	525
Viscosity, cSt @ 100 °F (37.78 °C)	70	71	47	1	513
API gravity, °API	48	28	27	13	80
Energy content, Btu/lb.	231	16,495	17,200	4,142	23,045
Bottom sediment and water, %	320	19	9	0	99
Water only, %	36	11	5	0	67

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วใน พ.ศ. 2543 ปริมาณโลหะหนักที่พบมากเป็นแนวโน้มเดียวกับที่พบในน้ำมันหล่อลื่นดังที่ตารางที่ 2.2 แต่จะเห็นได้ชัดว่า ปริมาณตะกั่วในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วสำหรับโครงการในตารางที่ 2.5 น้อยกว่าตารางที่ 2.2 อาจเนื่องมาจากในปัจจุบันมีการใช้ตะกั่วในน้ำมันส่งผลให้ปริมาณตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วลดลงไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์

(Mueller Associates, Inc., 1989)

Property	Used Lubricant Oil (ULO)	Virgin lube	Fuel		
			No.2 Fuel	No.6 Fuel	Coal
Physical Properties					
Specific gravity	0.91	0.882	0.836	0.979	-
Viscosity, SUS at 37.78 °C	324	-	36	-	-
Bottom sediment and water, % vol	12.3	0	0	1.0	-
Carbon residue, % wt	3.0	0.82	-	-	-
Ash, % wt	1.3	0.94	0.002	0.25	10.5
Flash point, °C	175	-	165	210	-
Pour point, °C	37	-37	-20	40	-
Chemical Properties					
Saponification No.	12.7	3.94	-	-	-
Total acid No.	4.4	2.2	-	-	-
Total base No.	1.7	4.7	-	-	-
Nitrogen, % wt	0.428	0.05	-	-	-
Sulfur, % wt	0.42	0.32	0.30	2.15	3.0
Heavy metal contaminated, ppm					
Lead	7,535	0	0	2.9	71
Calcium	1,468	1,210	-	48	15,536
Zinc	1,097	1,664	-	-	123
Phosphorus	931	1,397	-	-	32
Magnesium	309	675	-	14	2,723
Barium	297	37	-	-	258
Iron	205	3	-	120	14,466
Sodium	118	4	-	241	469
Potassium	31	<1	-	-	-
Copper	29	0	-	0.5	64
Silicon	24	4	-	-	24,160
Chromium	15	0	-	13.7	24
Tin	13	0	-	-	276
Manganese	4	0	-	-	101
Molybdenum	-	-	-	2.3	16
Titanium	-	-	-	5.5	1,889
Vanadium	-	-	-	-	30

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (แสง บุญญาสวัสดิ์, 2543)

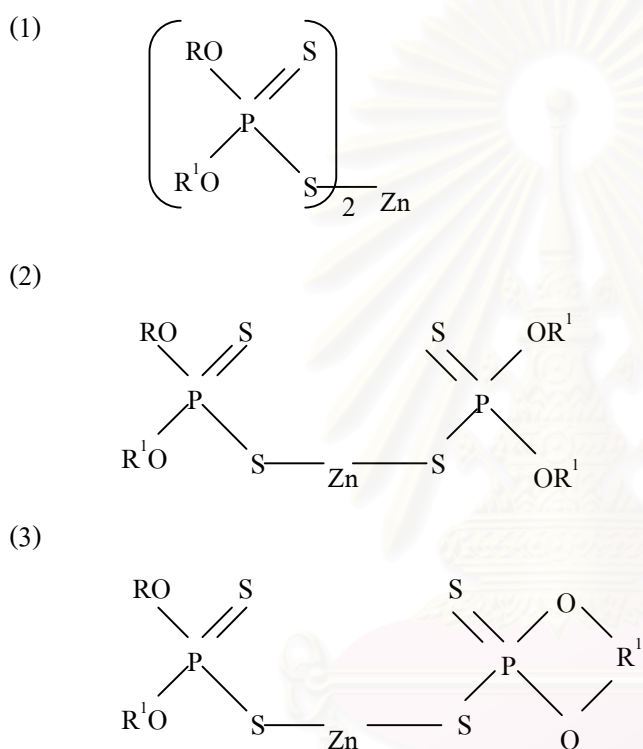
Parameter	No. sample	Minimum	Maximum	Average
Flash point, °C	35	126	265	227.6
Viscosity @ 50 °C, cst.	35	46.34	182.11	83
Insoluble, %wt				
Pentane	35	0.04	75	7.65
Toluene	35	0.02	2,989	572
Water, % vol	30	0.1	2.7	0.52
Ash, %wt	5	0.11	1.35	0.75
Heating value, Kcal./Kg.	35	10,530	10,771	10,646
Heavy metal, ppm				
Aluminum	35	2	46	12.74
Calcium	35	27	3,796	1,143
Copper	35	2	1,194	190.46
Iron	35	12	1,055	313
Magnesium	35	2	1,055	261
Phosphorus	35	147	1,121	805
Lead	35	0.05	24	3.82
Zinc	35	0.01	1,158	538.17

2.3 สังกะสี

สังกะสีเป็นโลหะหนักสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย เลขอะตอม 30 อยู่ในหมู่ 2B ของตารางธาตุ มีจุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส (°C) ความถ่วงจำเพาะ 7.14 ที่ 20 องศาเซลเซียส (°C) สังกะสีมีสมบัติเป็นสารพวกแอมโฟเทอริก (Amphoteric) ทำให้สังกะสีสามารถละลายได้ทั้งในสารละลายกรดและเบส สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยเป็นตัวการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และนอกจากนั้นสังกะสียังเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคนและสัตว์อีกด้วย (อมรา จันทราภานนท์, 2522) โดยปกติแล้วสังกะสีในรูปธาตุไม่

ปรากฏความเป็นพิษแต่ถ้าสารประกอบของสังกะสีบางชนิดอาจแสดงความเป็นพิษได้ถ้าได้รับในปริมาณมากไม่ว่าจะเป็นพืช คน หรือ สัตว์

สังกะสีในน้ำมันเครื่องเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่เติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชื่อว่า ซิงก์ไดอัลคิลไดโรฟอสเฟต (ZDDP) ซึ่งเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่สำคัญดังตารางที่ 2.1 ซึ่งทำให้ยังคงมีปริมาณสังกะสีคงเหลือในน้ำมันเครื่องใช้แล้วค่อนข้างมาก โครงสร้างของซิงก์ไดอัลคิลไดโรฟอสเฟต (ZDDP) เป็นดังนี้ (จตุพร บ้านแก่ง, 2539)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ ซิงก์ไดอัลคิลไดโรฟอสเฟต (ZDDP) (จตุพร บ้านแก่ง, 2539)

โดยที่ R เป็นกลุ่มของไฮโดรเจนและคาร์บอนที่อยู่ด้วยกัน โดยมีจำนวนคาร์บอนอย่างน้อย 4 อะตอม และ R¹ เป็นกลุ่มของไฮโดรเจนและคาร์บอนที่อยู่ด้วยกัน โดยมีจำนวนคาร์บอนอย่างน้อย 12 อะตอม และอื่นๆเช่น

- กลุ่ม $\text{C}=\text{N}$ หรือ

- กลุ่ม $-(\text{C}_n\text{H}_{2n-p}\text{R}^2)_p\text{O}_q-$, โดยที่ R² เป็นกลุ่มอัลคิล, n เป็นเลขจำนวนเต็มจาก 2 ถึง 5, p เป็น 0 หรือ เป็นเลขจำนวนเต็มจาก 1 ถึง 5 และ q เป็นเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 2 ขึ้นไป

ความเป็นพิษของสังกะสี

- สำหรับสิ่งมีชีวิต

โลหะหนักที่เจือปนจะถูกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนำไปสะสมในเนื้อเยื่อของมัน สัตว์เหล่านี้ได้แก่ ไล่เดือน หนอน ตัวอ่อนแมลงซึ่งอาศัยในดินที่มีสารอินทรีย์สารอยู่จะสะสมสารพิษเอาไว้ในตัวแล้วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์อื่นที่มากินมันเข้าไป (Beyer และ Gish, 1980) ทำให้โลหะหนักเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อาหารได้ ไล่เดือนเป็นอาหารของสัตว์ต่างๆ เช่น นก สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ตลอดจนสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมบางชนิด ดังนั้นผลจากที่โลหะหนักอาจตกค้างไปยังสิ่งมีชีวิตอื่นได้ มีรายงานว่าปริมาณสังกะสีในอาหารสด 50-500 ppm สามารถทำให้ลูกหนูตายได้ (Grimmett และคณะ, 1937:216-223 อ้างอิงใน วิชาวดี โสมเกษตริินทร์, 2534) เห็นได้ว่าบริเวณที่มีสัตว์ที่กินพวกไล่เดือนในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสังกะสีเป็นอาหารเป็นเวลานานก็อาจได้รับสังกะสีสะสมในร่างกายได้ นอกจากนั้นสังกะสีที่ความเข้มข้น 1-10 ไมโครโมล เป็นตัวยับยั้งการหายใจของไมโตรคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาวที่บริเวณคอนไซโตรโครม-ซี อีกด้วย (วิชาวดี โสมเกษตริินทร์, 2534) ในมนุษย์พบว่าพิษของสังกะสีทำให้มีอาการเป็นไข้ อาเจียน ปวดท้องและเกร็ง รวมทั้งมีอาการท้องเสียอีกด้วย (Underwood, 1971) ถ้าสูดดมฝุ่นของสังกะสีเข้าไปจะทำให้เกิดอาการที่ระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินหายใจ ทำให้ตัวเขียว ผิวหนังอักเสบ และมีเนื้องอกที่โพรงจมูกอีกด้วย (อมรา จันทรากานนท์, 2522)

- สำหรับพืช

ปริมาณสังกะสีในสารละลายธาตุอาหารที่พืชเจริญเติบโตถ้ามีมากเกินไปเกินความต้องการนั้นจะมีผลต่อการดูดซึมและกระจายของธาตุเหล็กในพืช ทำให้พืชไม่สามารถลำเลียงธาตุเหล็กจากรากไปสู่ต้นและใบได้ตามปกติ เป็นเหตุให้ใบขาดธาตุเหล็กและการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ถูกรบกวน (Rosen และคณะ, 1977) นอกจากนั้นสังกะสีที่มีปริมาณมากจะส่งเสริมการลำเลียงของธาตุแมงกานีสไปสู่ส่วนยอดมากขึ้น ทำให้พืชเกิดการผิดปกติจากการมีธาตุแมงกานีสที่มากเกินไปโดยทำให้ใบมีลักษณะหงิก งอ ม้วน (Crinkle leaf) ส่วนสังกะสีเองโดยตรงทำให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองจนกระทั่งเกิดการตายของเนื้อเยื่อ (Necrosis) (Amber และคณะ, 1970) เมื่อมีความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ 40 ส่วนในล้านส่วน ทำให้ผักกาดเขียววางตุ้งมีอาการดังกล่าว อีกทั้งยังทำให้รากหยุดเจริญและเน่าอีกด้วย (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2525) ยังมีรายงานอีกว่าเมื่อมีความเข้มข้นของสังกะสีเท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน ทำให้เกิดอาการผิดปกติในโหระพาและผักกวางตุ้งโดยทำให้เกิดอาการซีดที่ใบอ่อน (Chlorosis) และเกิดการสะสมของสังกะสีที่รากของโหระพาและผักกวางตุ้งอีกด้วย (กิตติ เอกอำพน, 2522)

2.4 องค์ประกอบของดิน

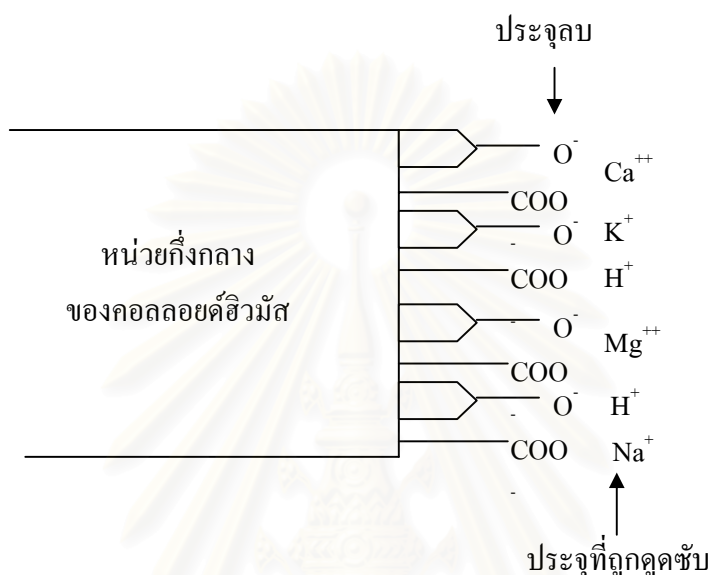
โดยลักษณะของดินในประเทศไทยเป็นดินที่มีส่วนประกอบเป็นดินเหนียวค่อนข้างมาก การจำแนกดินในระดับ Soil Family ในแต่ละภาคได้ดังนี้

- ภาคเหนือลักษณะดินส่วนมากเป็นดินเหนียวละเอียด (Fine Clayey) ซึ่งเป็นดินที่มีอนุภาคดินเหนียวประมาณร้อยละ 35 ถึง 59 ในดินทั้งหมด โดยที่ชั้นแร่ของดิน (Mineralogy Classes) เป็นพวก Mix Mineralogy Classes คือมีแร่ดินหลายประเภทเป็นองค์ประกอบ ทั้งพวกที่เป็นดินเหนียวและไม่เป็นดินเหนียว แร่ดินเหนียวที่องค์ประกอบได้แก่ Kaolinite, Montmorillonite และ Illite (นิพนธ์ ช่อผกา และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์, 2526)
- ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือลักษณะดินส่วนมากเป็นดินเหนียว (Clay) และดินร่วนประเภทเนื้อละเอียด (Fine Loamy) ซึ่งดินเหนียว (Clay) เป็นดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมากกว่าร้อยละ 35 ในดินทั้งหมด และดินร่วนประเภทเนื้อละเอียด (Fine Loamy) เป็นดินที่มีอนุภาคดินเหนียวประมาณร้อยละ 18 ถึง 35 ในดินทั้งหมด และมีอนุภาคที่เป็นหินกรวดน้อยกว่าร้อยละ 35 ในดินทั้งหมด สำหรับชั้นแร่ของดินเป็นพวก Mix Mineralogy Classes และ Kaolinite family (บุญญะ เผ่าทองคำ และคณะ, 2525)
- ภาคกลางลักษณะดินส่วนมากเป็นดินเหนียวละเอียดมาก (Very Fine Clayey) ซึ่งเป็นดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมากกว่าร้อยละ 60 ในดินทั้งหมด และยังเป็นดินเหนียวละเอียด (Fine clayey) อีกด้วย ชั้นแร่ของดิน (Mineralogy Classes) เป็นพวก Mix Mineralogy Classes (เฉลิษา แจ่มไพโร และคณะ, 2525)
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือลักษณะดินส่วนมากเป็นดินเหนียวละเอียด (Fine clayey) และ ดินร่วนประเภทเนื้อละเอียด (Fine Loamy) ชั้นแร่ของดิน (Mineralogy Classes) เป็นพวก Mix Mineralogy Classes (ปราโมทย์ เหมศรีชาติ, 2526)

องค์ประกอบของดิน

ซึ่งองค์ประกอบของอนุภาคแข็งของดิน (Solid Particles) โดยทั่วไปประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ สารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) ซึ่งสารอินทรีย์เป็นส่วนที่สลายตัวจากเศษซากพืชและสัตว์ อนุภาคอินทรีย์ที่สลายตัวสมบูรณ์แล้ว เรียกว่า ฮิวมัส (Humus) และสารอนินทรีย์เป็นส่วนที่สลายตัวจากหินและแร่ปฐมภูมิ (Primary Minerals) หรือเป็นแร่ทุติยภูมิ (Secondary Minerals) เช่น แร่ดินเหนียว (Clay Minerals) ซึ่งทั้ง ฮิวมัส (Humus) และแร่ดินเหนียว (Clay Minerals) เป็นส่วนที่สำคัญในการจับตัวกับประจุบวก

2.4.1 ฮิวมัส (humus) คล้ายกับคอลลอยด์ของสารอินทรีย์ที่มีประจุเป็นลบ โดยมีธาตุหลักได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุหลัก และมี ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์, ฟอสฟอรัส และธาตุอื่นๆ เป็นธาตุรอง โดยกลุ่มคาร์บอกซิลิก (-COOH) และกลุ่มฟีนอกซิล (c1ccccc1O) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ฮิวมัสเป็นประจุลบและสามารถดูดซับประจุบวกต่างๆ ได้ ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 การดูดซับของประจุบวกโดยคอลลอยด์ฮิวมัสในดิน (Brady, 1974)

2.4.2 แร่ดินเหนียว (Clay Minerals) จะประกอบไปด้วย 2 กลุ่มสำคัญคือ Silicate Clay และ Iron-Aluminium Oxide กับ Hydrus Oxide

1. Silicate Clays

- Montmorillonite เป็น ซิลิเกตแบบ 2 ต่อ 1 ชั้น โดยที่มีโครงสร้างเป็นระนาบแปดเหลี่ยมและใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกับระนาบทรงสี่เหลี่ยมที่ประกอบอยู่ทั้งบนและล่าง สำหรับแร่ดินเหนียวชนิดนี้มีคุณสมบัติการเป็นคอลลอยด์สูงและรวมถึงมีแรงยึดเหนี่ยว มีความบวมตัวสูง และหดตัวสูงอีกด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลเล็กน้อยต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ดังรูป 2.5(a)

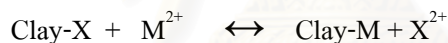
- Kaolinite โครงสร้างโมเลกุลเกิดจากการซ้อนทับของระนาบสี่เหลี่ยมบนระนาบแปดเหลี่ยม เป็นซิลิเกตแบบ 1 ต่อ 1 ชั้น เป็นผลึก 6 เหลี่ยม ขนาดประสิทธิผล (Effective Diameter) ประมาณ 0.2-2 ไมโครเมตร โดยทั่วไปเป็นแร่ดินเหนียวหยาบที่มีสภาพการเป็นคอลลอยด์ต่ำ แรงยึดเหนี่ยว ความบวมตัว และความหดตัวต่ำ ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ดังรูป 2.5(b)

- Illite โครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับ Montmorillonite คือ มีระนาบแปดเหลี่ยม 1 ระนาบ ประกบด้วยระนาบสี่เหลี่ยม 2 ระนาบ อะตอมของซิลิกอนในระนาบซิลิกาส่วนหนึ่งถูกยึดด้วยอะตอมของอะลูมิเนียมทำให้เกิดประจุลบสุทธิสูงในระนาบสี่เหลี่ยม ประจุของโพแทสเซียมยึดติดประจุลบดังกล่าวระหว่างผลึกและทำหน้าที่เป็นตัวประสานคั้งนั้น อนุภาคนี้อาจจะใหญ่กว่า Montmorillonite มาก ดังรูปที่ 2.5(c)

2. ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม (Iron-Aluminium Oxide) และ ออกไซด์ของไฮโดรเจน (Hydrous Oxide)

ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ทั่วไปในดินเหนียว เกิดเป็นธาตุหลายรูปแบบทั้งอนุภาคเดี่ยวหรือเกิดร่วมกับผิวหน้าของแร่ธาตุตัวอื่น แม้ว่าสารดังกล่าวจะมีในปริมาณน้อยกว่าแร่ธาตุใน Silicate Clay ซึ่งอาจจะมีความสำคัญต่อคุณภาพดินได้เช่น ออกไซด์ของเหล็กถ้าอยู่ในดินเป็นปริมาณมากจะทำให้ดินมีสีแดง, ส้ม, เหลือง และน้ำตาล

เห็นได้ว่าทั้งสารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) ในดินคั้งที่กล่าวมาแล้วทำให้ประจุตามธรรมชาติของดินเป็นลบ และทำให้ผิวดินดูดซับโลหะหนักได้ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน โดยที่ประจุบวกของโลหะหนักจะแทนที่ประจุบวกที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติ ดังนี้



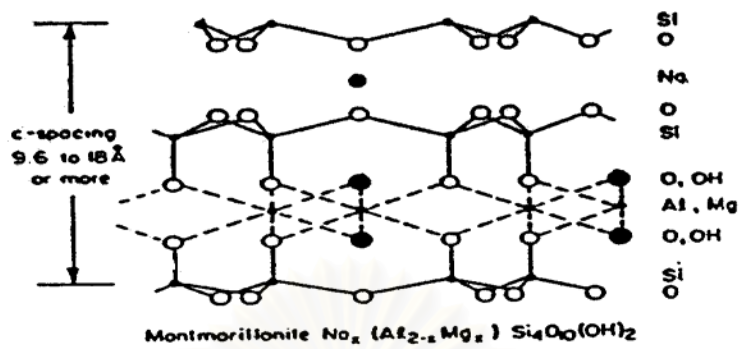
โดยที่ X แทนประจุบวกที่ถูกดูดซับบนผิวดินตามธรรมชาติ
และ M แทนประจุบวกของโลหะหนัก

2.5 การดูดซับหรือดูดติดผิว (Adsorption)

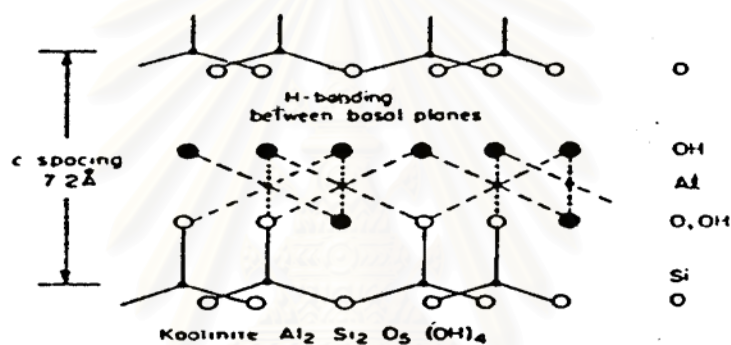
การดูดซับหรือดูดติดผิวเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมความเข้มข้นของอนุภาค ที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิวของสารสองสถานะ ไม่ว่าจะเป็นสถานะของแข็งหรือของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีพื้นผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent)

2.5.1 กลไกการดูดซับ (Adsorption Mechanism)

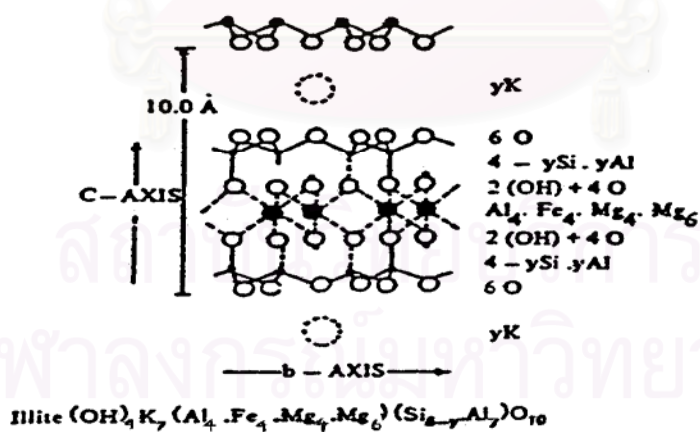
กระบวนการการดูดซับสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแรงที่เกี่ยวข้อง



(a) montmorillonite



(b) kaolinite



(c) illite

รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของ Silicate Clay

ที่มา: Bohn และคณะ (1979)

การดูดซับทางกายภาพของแข็งเชื่อว่าเป็นคุณสมบัติของแรงระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) แรงดังกล่าวเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและนิวเคลียสของระบบ ซึ่งได้แก่แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) และแรงกระจาย (Dispersion Forces) แรงกระจายมีอยู่ทั่วไปในวัตถุทุกชนิดและเป็นแรงดึงดูดระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การดูดซับจะเกิดขึ้นแบบหลายชั้น (Multilayers) โดยแต่ละชั้นของโมเลกุลจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลที่อยู่ก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ หรือจำนวนชั้นของโมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น

การดูดซับทางเคมี (Chemisorption) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับเกิดเป็นสารประกอบทางเคมีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและการเปลี่ยนแปลงรูปของพันธะเคมีระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับผิวหน้าของของแข็ง เนื่องจากการดูดซับทางเคมีเกี่ยวข้องกับพันธะเคมีมักจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและมีความสัมพันธ์กับพลังงานการกระตุ้น (Activation Energy) ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลที่ถูกดูดซับติดอยู่ที่ใดที่หนึ่งเฉพาะที่ และไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้บนพื้นผิวได้ จึงอาจกล่าวได้ว่าการดูดซับทางเคมีเป็นปฏิกิริยาแบบไม่ย้อนกลับและเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

การดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) สามารถแยกออกจากการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) เมื่อมีความเป็นไปได้ตามข้อใดข้อหนึ่ง ดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพเป็นแรงที่เกี่ยวกับสารชนิดเดียวที่สามารถเกิดย้อนกลับได้ กล่าวคือสามารถเกิดการคายสารออก (Desorption) ได้ที่อุณหภูมิเดียวกัน แม้กระบวนการที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างช้าๆเนื่องมาจากกระบวนการแพร่ โดยไม่มีความเกี่ยวข้องกับการแบ่งถ่ายหรือการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งการดูดซับทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับพันธะเคมีและไม่สามารถเกิดการย้อนกลับได้ (Irreversible)

2. การดูดซับทางกายภาพไม่เจาะจงบริเวณที่จะเกิดการดูดซับ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีอิสระที่จะเคลื่อนย้ายได้ตลอดทั้งพื้นผิว สามารถวัดพื้นที่ของของแข็งของสารดูดซับได้ในทางตรงกันข้าม การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับเฉพาะที่ โมเลกุลที่ถูกดูดซับทางเคมีจะติดอยู่กับบริเวณที่เจาะจงให้เกิดการดูดซับเท่านั้น

3. ความร้อนที่เกิดขึ้นของการดูดซับทางกายภาพจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่เกิดขึ้น จากการดูดซับทางเคมีซึ่งขีดจำกัดบนสุดของการดูดซับทางกายภาพอาจสูงกว่า 20 กิโลแคลอรีต่อโมล ของสารที่ถูกดูดซับที่มีรูพรุนเล็กๆ ส่วนความร้อนการดูดซับทางเคมีอยู่ในช่วงค่าที่สูงกว่า 100 กิโลแคลอรีต่อโมล และต่ำกว่า 20 กิโลแคลอรีต่อโมล

2.5.2 การเคลื่อนที่ของการดูดซับ (Adsorption Kinetic)

การเคลื่อนที่ของการดูดซับเกี่ยวข้องกับอัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of Molecular Transfer) ซึ่งมีความสำคัญของการดูดซับ การดูดซับสารละลายโดยการดูดซับที่มีรูพรุน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การดูดซับขั้นแรก เป็นการขนส่งสารถูกการดูดซับทั้งก้อน (Bulk Transport) โดยวิธีการแพร่ของโมเลกุลจากสารละลายไปยังพื้นผิวภายนอกของชั้นของเหลวบางๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิว ของสารดูดซับ เรียกว่า การแพร่ภายนอก (External or film diffusion)

2. การดูดซับขั้นที่สอง เป็นการแพร่ภายใน (Internal diffusion) เกี่ยวข้องกับการขนส่งชั้นฟิล์มของสารถูกดูดซับจากผิวหน้าของอนุภาคเข้าสู่พื้นผิวภายใน (Film Transport) โดยวิธีการแพร่เข้าไปในรูพรุนที่เต็มไปด้วยของเหลวเข้าถึงช่องว่างของสารดูดซับ และเคลื่อนที่ไปตลอดพื้นผิวรูพรุนของของแข็งนั้น (Surface Diffusion)

3. การดูดซับขั้นที่สาม เป็นการดูดซับของสารถูกละลายที่อยู่ในพื้นผิวของรูพรุน ซึ่งมีการแพร่ของสารดูดซับ (Pore Diffusion) กล่าวได้ว่าได้เป็นการขนส่งกันภายในอนุภาค (Intraparticle Transport) การดูดซับในขั้นนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากจึงไม่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่โดยรวม

อัตราการดูดซับทั้งหมดถูกควบคุมโดยขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุด ซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง Internal diffusion และ External or film diffusion อย่างไรก็ตามการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาในบางระบบอาจเกิดระหว่าง Intraparticle Transport และ External or film diffusion

2.5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

1. ธรรมชาติของการดูดซับ (Nature of the adsorbent)

1.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนเนื่องจาก กระบวนการดูดซับเป็นผลของความเข้มข้นของตัวถูกละลายบนพื้นผิว จึงเห็นได้ชัดว่าพื้นที่ผิวมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ โดยการดูดซับสารละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวในการดูดซับเพิ่มขึ้น

1.2 ขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิวของสารดูดซับไม่มีรูพรุนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีเล็กลง จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นหารเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคลดลง อย่างไรก็ตามสำหรับสารดูดซับที่มีรูพรุนสูง พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ที่อยู่ในโครงสร้างของรูพรุนดังกล่าว ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค

1.3 สภาพทางเคมีของพื้นผิว หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของของสารดูดซับมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุบนผิวหน้าระหว่างการดูดซับทางเคมีจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารละลายหลายชนิด

2. ธรรมชาติของสารดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นหากคุณสมบัติของการดูดซับได้แก่ ความยาวของสายโซ่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้โมเลกุลมีการไม่ชอบน้ำมากขึ้นและมีความสามารถละลายได้ลดลง นอกจากนี้มวลโมเลกุลที่มีค่าสูงจะทำให้ขนาดของสารดูดซับใหญ่ขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับ

3. ผลของไฮโดรเจนไอออน

อาจกล่าวได้ว่าเป็นค่าพีเอช เนื่องจากพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ โดยความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายลดลง และจะเพิ่มมากขึ้นถึงขีดสุดเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ pK_a

4. ผลของไอออนตัวอื่นๆ ในน้ำ

องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในน้ำ เช่น Ca^{+2} , Mg^{+2} สามารถส่งผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับสารอนินทรีย์ในน้ำได้ เช่น การมีแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำจะเพิ่มเนื้อที่ในการดูดซับ ของกรดซัลฟูริก เป็นต้น

5. ผลของอุณหภูมิ

เนื่องจากกระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจะลดลง ในทางตรงกันข้ามหารอุณหภูมิลดลงความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

2.5.4 สมดุลย์ของการดูดซับ (Adsorption Equilibria)

การดูดซับของสารละลายเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของตัวถูกละลายที่อยู่บนผิวหน้าของสารดูดซับ เมื่อกระบวนการดูดซับเกิดขึ้น ตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับจะมีแนวโน้มที่จะหลุดออกมาสู่สารละลายอีกครั้งหนึ่ง ตัวถูกละลายจะเกิดการดูดซับและหลุดออกมาในจำนวนเท่าๆกันที่เวลาเดียวกัน จนกว่าจะเกิดสภาวะสมดุล ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของสารดูดซับหรือตัวถูกละลายในสารละลายอีกต่อไป

1. Langmuir Adsorption Isotherm

สมการของ Langmuir เป็นสมการที่อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียว ที่มีสมมติฐานดังนี้

การแสดงปริมาณสารที่ถูกดูดซับหรือตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของสารดูดซับ ในแง่ของความเข้มข้นของสารละลายที่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่เรียกว่า Adsorption Isotherm สมการที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของการดูดซับที่ใช้กันมาก ได้แก่

1. Langmuir Adsorption Isotherm

สมการของ Langmuir เป็นสมการที่อธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียว ที่มีสมมติฐานดังนี้

- โมเลกุลจะถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวที่จำกัดของการดูดซับ
- แต่ละพื้นที่ที่ถูกดูดซับจะเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว
- พื้นที่ในแต่ละแห่งจะถูกจำกัดปริมาณของสารที่ถูกดูดซับด้วยสภาพทางเรขาคณิต ของพื้นผิวนั้นๆ
- พลังงานในการดูดซับจะมีค่าเท่ากัน ในทุกบริเวณพื้นผิวของสารดูดซับ นอกจากนี้โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระตลอดพื้นผิวของสารดูดซับ หรือข้ามไปยังโมเลกุลอื่นได้

สมการการดูดซับของ Langmuir แสดงได้ ดังนี้

$$X = X_m \frac{bC_e}{1+bC_e}$$

โดยที่ $X = x/m$ หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ (x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (m)

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับความสามารถในการเกิด Monolayer

b = ค่าคงที่ของระบบ

2. Freundlich Adsorption Isotherm

สมการของ Freundlich เป็นสมการการดูดซับทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุด ซึ่งมีความสัมพันธ์แสดงได้ดังนี้

$$x/m = KC_e^{1/n}$$

โดยที่ x = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ

m = น้ำหนักของสารดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของตัวถูกละลาย

$K, 1/n$ = ค่าคงที่ของระบบ

3. BET Adsorption Isotherm

เป็นสมการที่ได้รับการพัฒนาโดย Brunauer, Emmett และ Teller (BET) ในการอธิบายการดูดซับแบบชั้นเดียวเช่นเดียวกับสมการของ Langmuir

$$X = X_m BC / (C_s - C_s) \{ 1 + (B-1)C_s / C_s \}$$

โดยที่ $X = x/m$ หรือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับ(x) ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ(m)

C_s = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่สภาวะสมดุล

C_s = ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

X_m = ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ต้องการสำหรับความสามารถในการเกิด monolayer

B,C = ค่าคงที่ของระบบ

2.5.2 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant Adsorption Isotherm)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลวขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของของแข็งนั้นๆ โครงสร้างของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับ และสถานะของเฟตของเหลวขณะนั้น โดยจำนวนโมลของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของแข็ง สามารถหาได้จากกราฟวัดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวก่อนและหลังผสมกับของแข็งในสารละลาย

ชนิดของไอโซเทอมการดูดซับที่จะกล่าวถึงนี้คือ ไอโซเทอมการดูดซับของความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุตรงกันข้ามกับผิวหน้าของของแข็ง (Rosen, 1989) ดังรูปที่ 2.6



ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวที่ภาวะสมดุล

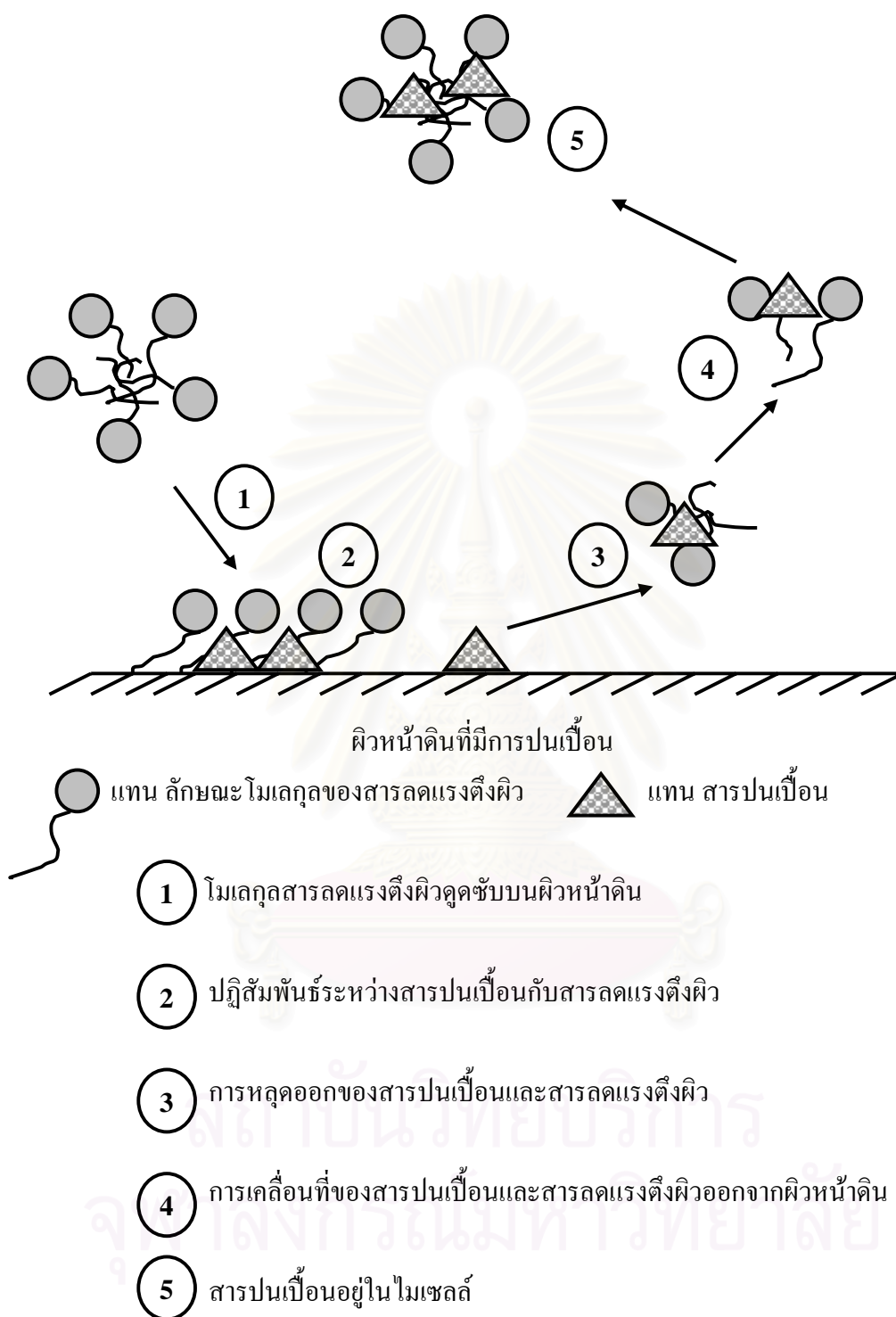
รูปที่ 2.6 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวกรณีประจุของสารลดแรงตึงผิวเป็นประจุตรงข้ามกับประจุที่ผิวหน้าตัวกลาง (Rosen, 1989)

- ช่วงที่ 1 สารลดแรงตึงผิวถูกดูดซับบนผิวหน้าของของแข็งโดยการแลกเปลี่ยนประจุกับส่วนที่ไม่มีขั้วมากหรือน้อยบนตัวกลางของแข็ง โดยความหนาแน่นของประจุ หรือความต่างที่ชั้นผิวสะเทิน (Stem Layer) ก่อนข้างคงที่โดยยังไม่มีกรรวมตัวของสารลดแรงตึงผิว ดังนั้นสารลดแรงตึงผิว (Monomer)
- ช่วงที่ 2 มีการเพิ่มขึ้นของการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวเนื่องมาจากผลของการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนที่ไม่มีขั้วกับประจุของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับก่อนหน้านี้เป็นผลให้เกิดการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวเป็นแบบฮีไมเซลล์ (Hemimicelle Formation)
- ช่วงที่ 3 ความชันของไอโซเทอมลดลงเนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างประจุที่มาจากประจุของสารลดแรงตึงผิวในส่วนของเหลวกับประจุเดิมที่มีอยู่บนผิวหน้าของแข็งเนื่องจากเป็นประจุชนิดเดียวกัน
- ช่วงที่ 4 การดูดซับมาถึงจุดที่สมบูรณ์เมื่อผิวหน้าของของแข็งถูกปกคลุมไปด้วยการเรียงตัวสารลดแรงตึงผิวแบบโมโนเลเยอร์ (Monolayer) หรือไบเลเยอร์ (Bilayer) ซึ่งความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวใกล้ถึงจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC) ความเข้มข้นของโมโนเมอร์ในส่วนของเหลวจะคงที่และจำนวนไมเซลล์ในส่วนของเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมากกว่าความเข้มข้นจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC)

2.6 กลไกการล้างดิน (Soil Washing Mechanism)

การกำจัดสิ่งปนเปื้อนชนิดต่างๆให้ออกจากดินมีอุปสรรคที่สำคัญคือ สารปนเปื้อนแต่ละชนิดมีความสามารถละลายน้ำต่ำเนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่ไม่มีขั้วและขนาดโมเลกุลใหญ่ หรืออาจจากสารปนเปื้อนที่มีขั้วดูดซับกับสารอินทรีย์ในดิน โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นที่จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC) จะช่วยในการละลายของสารปนเปื้อนต่างๆจากผิวหน้าตัวกลางต่างๆให้มากขึ้น

โดยการกำจัดสิ่งปนเปื้อนให้ออกจากดินประกอบไปด้วยกลไก 2 กลไกคือ การช่วยเพิ่มการละลายน้ำและการฟุ้งขึ้นของดิน ซึ่งกลไกการช่วยเพิ่มการละลายน้ำนี้เป็นการรวมตัวภายในของไมเซลล์ ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งจะเป็นส่วนที่จับกับสารปนเปื้อน และการลดแรงตึงผิวประจันระหว่างสารปนเปื้อนที่ประกอบไปด้วยสารละลายสารลดแรงตึงผิวกับผิวหน้าตัวกลางของแข็ง เพื่อให้สารปนเปื้อนถูกกำจัดออกไปโดยกลไกการฟุ้งขึ้นของดิน



รูปที่ 2.7 การกำจัดสารปนเปื้อนด้วยสารลดแรงตึงผิว (Catherine และคณะ, 1999)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ruey-an และคณะ (1998) ศึกษาถึงการใช้สารลดแรงตึงผิวในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมจากพื้นที่ใน ประเทศไต้หวัน ซึ่งมีการปนเปื้อนมานานถึง 20 ปี ดินประกอบด้วย ทรายร้อยละ 22 ทรายแป้งร้อยละ 45 อนุภาคดินเหนียวร้อยละ 33 ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.8 และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 8.8 เซนติโมลต่อกิโลกรัมดิน โดยมีแคดเมียมประกอบอยู่ 14.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน ตะกั่ว 29.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และ สังกะสี 45.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ประเภทประจุลบได้แก่ โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS) ประเภทไม่มีประจุได้แก่ Triton-X100 และ ประเภทประจุบวกได้แก่ ซิวิไตรเมทริวแลมโมเนียมโบรมาด์ (CTAB) ใช้อัตราส่วนของดินต่อสารละลายคือ 1ต่อ10 ผลที่ได้พบว่า โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS) สามารถกำจัดโลหะต่างๆได้ดีที่สุด ดังนี้ สามารถกำจัด แคดเมียมได้ร้อยละ 15.5 ตะกั่วร้อยละ 51.8 และสังกะสี 29.6 ส่วน Triton-X100 สามารถกำจัดแคดเมียมได้ร้อยละ 14.4 ตะกั่วร้อยละ 20.8 และสังกะสี 18.9 สำหรับซิวิไตรเมทริวแลมโมเนียมโบรมาด์ (CTAB) สามารถกำจัดโลหะต่างๆได้น้อยที่สุดคือ กำจัดแคดเมียมได้ร้อยละ 5.6 ตะกั่วร้อยละ 1.91 และสังกะสี 2.46 แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกไม่เหมาะกับการนำมาใช้เพื่อการหลุดออกจากดินของโลหะหนัก

Thirumalia และคณะ (1996) ศึกษาถึงการใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดโครเมียมจากผิวน้ำดินที่มีการเตรียมขึ้นโดยใช้ดินจาก 2 แหล่งคือ จาก Canadian River Allurium (CRA) ซึ่งประกอบไปด้วย ทรายร้อยละ 72 ทรายแป้งร้อยละ 22.4 อนุภาคดินเหนียวร้อยละ 5.6 และจาก Elizabeth City ได้มีการแบ่งการทดลองให้มี 2 แบบคือ การใช้คอลัมน์ และการใช้แบบเบตซ์ โดยกำหนดความเข้มข้นของโครเมียมสำหรับการทดลองแบบคอลัมน์เท่ากับ 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และความเข้มข้นของโครเมียมสำหรับการทดลองแบบเบตซ์เท่ากับ 168 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการทดลองแบบเบตซ์ใช้อัตราส่วนของดินต่อสารละลายเท่ากับ 3 กรัมของดินต่อ 15 มิลลิลิตร การทดลองแบบคอลัมน์ใช้คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และยาว 15 เซนติเมตร โดยใช้อัตราไหลของสารละลายสารลดแรงตึงผิวคือ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ทั้งแบบเบตซ์และคอลัมน์ก็มากกว่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) สำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ได้แก่ ประเภทประจุลบ ได้แก่ โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS), Aerosol OT (AOT) และ Dowfax-8390 ประเภทไม่มีทั้งประจุบวกและลบ (Switter Ionic) ได้แก่ Deriphath-160 และประเภทไม่มีประจุ (Nonionic) ได้แก่ T-Maz 20 ผลการทดลองแบบเบตซ์พบว่าเมื่อใช้ Deriphath-160 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5 มิลลิโมลาร์ (ความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) เท่ากับ 0.62 มิลลิโมลาร์) สามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดคือ 7.4 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และ โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ (ความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC)

เท่ากับ 8.2 มิลลิโมลาร์) สามารถกำจัดโครเมียมได้ 6.4 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และเมื่อใช้ Dowfax-8390 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์ (ความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์(CMC) เท่ากับ 3.0 มิลลิโมลาร์) สามารถกำจัดโครเมียมได้ 5.6 ส่วนในล้านส่วนแต่เมื่อใช้ Dowfax-8390 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ สามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดคือ 135 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน โดยที่ใช้โซเดียมโดดีซิลซัลเฟต (SDS) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 20 มิลลิโมลาร์ สามารถกำจัดโครเมียมได้ 106 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และจากการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่าเมื่อใช้ Dowfax-8390 ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิโมลาร์ สามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดคือ 2.2 ส่วนในล้านส่วน ที่ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 24.4 จากการทดลอง จึงได้พบว่าเมื่อใช้ Dowfax-8390 ที่ความเข้มข้นน้อยกว่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) ก็สามารถทำงานทำให้โครเมียมหลุดออกมาจากดินได้ดีเช่นกัน

Abdul และคณะ (1990) ศึกษาถึงการใช้น้ำ สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบและไม่มีประจุจำนวน 10 ชนิดใช้ทำความสะอาดดินทรายที่ปนเปื้อนด้วย Automatic Transmission Fluid (ATF) ประกอบด้วยน้ำมันร้อยละ 90 โดยมีความยาวของสายคาร์บอนประมาณ 24 และประกอบด้วยสารเติมแต่งต่างๆ ดินตัวอย่างเป็นดินจากชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินประเภทดินทรายค่อนข้างละเอียดถึงปานกลาง ประกอบด้วยอนุภาคที่ใหญ่กว่า 0.5 มิลลิเมตร ร้อยละ 5 และขนาดเล็กกว่า 0.053 มิลลิเมตร น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยการใช้การทดลองแบบเบดซ์ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ ร้อยละ 0.05 ถึง 5 โดยอัตราส่วนระหว่างดินกับสารละลายสารลดแรงตึงผิวคือ ดิน 5 กรัมต่อสารละลายสารลดแรงตึงผิว 100 มิลลิลิตร โดยใช้แท่งเหล็กคนนาน 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเทส่วนที่เป็นสารละลายออก จากนั้นล้างดินซ้ำอีกครั้งด้วยสารละลายสารลดแรงตึงผิว 100 มิลลิลิตร จากนั้นล้างดินด้วยน้ำเปล่า 50 มิลลิลิตร สรุปได้ว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุมีประสิทธิภาพในการกำจัด Automatic Transmission Fluid (ATF) ได้ร้อยละ 33-84 โดยใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ร้อยละ 0.5 ปริมาตรต่อปริมาตร และสำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ ประสิทธิภาพในการกำจัด Automatic Transmission Fluid (ATF) ได้ร้อยละ 56-81 และถ้าใช้น้ำล้างเพียงอย่างเดียวจะสามารถกำจัด Automatic Transmission Fluid (ATF) ได้เพียงร้อยละ 23

Dipak และ James (1997) ได้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวคือ Triton X-100 เพื่อช่วยให้ไตรคลอโรอีธีน (Trichloroethene) หลุดออกจากดินโดยมีการเพิ่มความเข้มข้นต่างควบคู่ไปด้วย การทดลองนำได้นำดินจากชั้นน้ำใต้ดินที่มีการปนเปื้อนไตรคลอโรอีธีน (Trichloroethene) เป็นเวลา 20 ปี โดยดินมีไตรคลอโรอีธีน (Trichloroethene) ปนเปื้อนอยู่ 1100 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ที่ลักษณะดินเป็นทรายเป็นทรายค่อนข้างละเอียดถึงปานกลาง ดินบางส่วนยังมีถ่านหินเป็นส่วนประกอบค่อนข้างสูงด้วย สารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินเท่ากับ ร้อยละ 1.04 โดยนำดินมาฝังลมน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยแบ่งการทดลองเป็นแบบเบดซ์และคอลัมน์ ซึ่งการทดลองแบบเบดซ์จะใช้ดินที่ผ่านการฝังลมน้ำให้แห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

และการทดลองแบบคอลัมน์จะใช้ดินที่ผ่านการฟุ้งลมให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การทดลองแบบ แบทช์ ใช้ความเข้มข้นของ Triton X-100 เท่ากับ 94 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 เปรียบเทียบ การใช้น้ำล้างที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และการใช้น้ำที่เป็นบัฟเฟอร์ค่าความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 10 โดยอัตราส่วนระหว่างดินกับต่อสารละลายสารลดแรงตึงผิวคือ 6 กรัมต่อ 12 มิลลิลิตร เขย่าโดยเครื่อง เขย่าแบบหมุนรอบที่อุณหภูมิห้อง การทดลองแบบคอลัมน์ใช้คอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ใช้ความเข้มข้นของ Triton X-100 เท่ากับ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้เวลาในการล้างดินน้อยกว่า 450 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น ของ Triton X-100 เท่ากับ 94 มิลลิกรัมต่อลิตร มีไทรโคลอโรโออีธีน (Trichloroethene) ละลายในสารละลาย อยู่มากกว่าตอนไม่ใช้ Triton X-100 และเมื่อหลังจากการล้างดินเป็นเวลามากกว่า 450 ชั่วโมง พบว่าไทร คลอโรโออีธีน (Trichloroethene) ละลายในสารละลายละลายในสารละลายเป็นปริมาณใกล้เคียงกับเมื่อไม่ ใช้ Triton X-100 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความเป็นกรดต่างที่ 7 กับ 10 พบว่าเมื่อใช้ ค่าความเป็นกรด ต่างที่ 10 จะทำให้มีไทรโคลอโรโออีธีน (Trichloroethene) ละลายในสารละลายอยู่มากกว่าใช้ค่าความเป็น กรดต่างเท่ากับ 7 จากผลการทดลองแบบคอลัมน์คล้ายกับการทดลองแบบแบตช์ คือเมื่อใช้ Triton X-100 และค่าความเป็นกรดต่างที่มากขึ้นจะทำให้ไทรโคลอโรโออีธีน (Trichloroethene) ดูดซับบนดินลดลง

จตุพร บ้านแก่ง (2539) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวประจุลบมีผลต่อการ สกัดไอออนเชิงซ้อนของสังกะสีออกจากน้ำมันหล่อลื่นโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง ซึ่งไอออนเชิงซ้อนของสังกะสีในน้ำมันหล่อลื่นน้ำมันหล่อลื่นคือ ซิงค์ไดอัลคิลไดฟอสเฟต โดยศึกษาถึง ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสังกะสีคือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนของสารละลายสกัดต่อสารป้อน และความเข้มข้นเริ่มต้นของสังกะสี ผลการทดลองพบว่าสาร ลดแรงตึงผิวประจุลบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดไอออนเชิงซ้อนของสังกะสีโดยอาศัยคุณสมบัติ การเกิดเป็นไมเซลล์และการเพิ่มความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสังกะสี แต่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่มีผลต่อร้อยละการสกัดสังกะสี

บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

1. การหาเวลาสมมูลย์ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวและสังกะสีในน้ำมันเครื่องกับดินตัวอย่าง
2. การหาไอโซเทอมสารลดแรงตึงผิวและสังกะสีในน้ำมันเครื่องกับดินตัวอย่าง
3. การล้างดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้สารชะล้าง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องเขย่า (Shaker)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centifuge)
3. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC) ของ O-I-Analytical รุ่น 1010
4. เครื่องวัดพีเอชของ Horiba รุ่น F-13
5. เครื่องชั่งละเอียดของ Satorius รุ่น HR 200
6. เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction Spectrometer, XRD) เครื่อง JEOL รุ่น JDX 8030 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV Spectrophotometer)
8. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) แบบเปลวเพลิงของ Varian รุ่น Spectr AA-10 Plus
9. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
10. เครื่อง Microwave Digestion and Extraction System ของ MILESTONE รุ่น ETHOS SEL 1600
11. กระดาษกรอง GF/C ขนาดรู 0.45 ไมครอน ขนาด 4.7 ซม.
12. เครื่องแก้ว

3.3 สารเคมี

1. สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ ได้แก่ Sodium-n hexadecyldiphenyloxydisulfonate (Dowfax 8390) จากบริษัท Dow Chemical ลักษณะเป็นของเหลวความบริสุทธิ์ร้อยละ 35

2. สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ ได้แก่ Polyethoxylate(10)octylphenol (Triton X-100) จาก บริษัทอิตัลมาร์(ประเทศไทย) จำกัด ลักษณะเป็นของเหลวความบริสุทธิ์ร้อยละ 100

ตารางที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้

ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี	สูตรโครงสร้าง	CMC (mM)	น้ำหนักโมเลกุล
Dowfax 8390	Sodium-n hexadecyldiphenyloxydisulfonate	$C_{16}H_{33}C_{12}H_7O(SO_3Na)_2$	3.0*	643
Triton X-100	Polyethoxylate(10)octylphenol	$C_{14}H_{21}O(C_2H_4O)_{10}H$	0.24**	646

* (Dow Chemical Company)

** (Edwards และคณะ, 1994)

3. กรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65

4. บัฟเฟอร์พีเอช 4 และ 10

5. น้ำมันมาตรฐานความเข้มข้นสังกะสี 5000 ส่วนในล้านส่วน

3.4 การดำเนินการทดลอง

3.4.1 การหาคุณสมบัติของดิน ดังนี้

ตารางที่ 3.2 การหาคุณสมบัติดินและวิธีวิเคราะห์

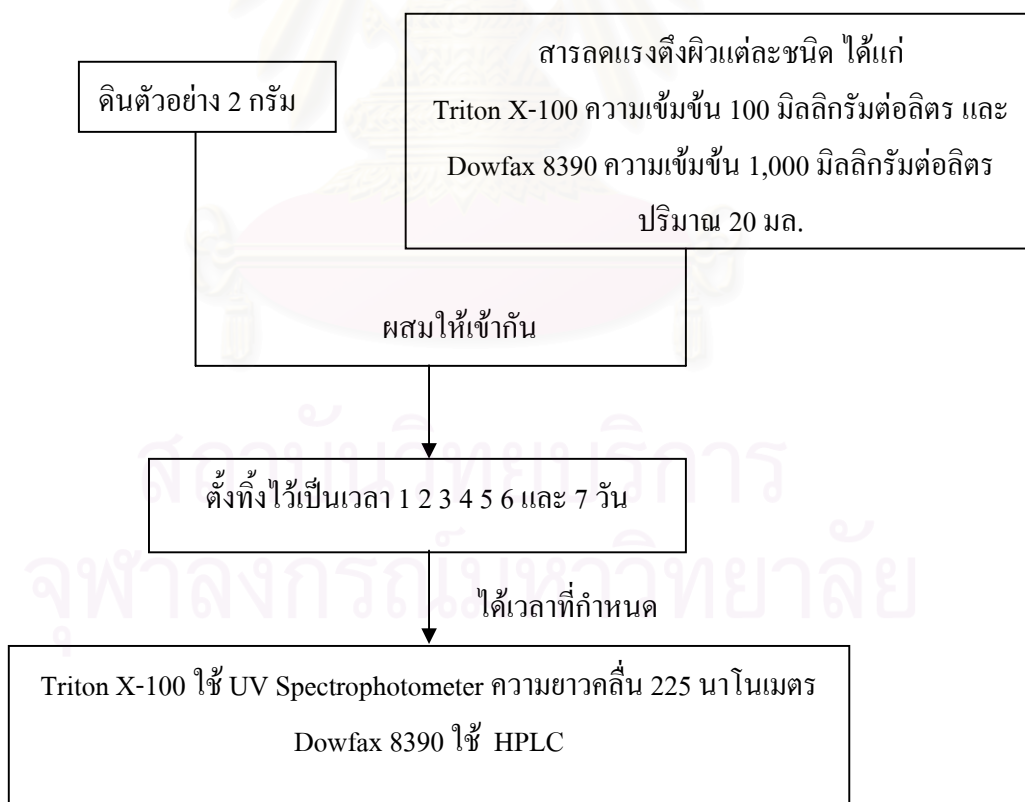
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
การกระจายตัวของดิน (Particle Size Analysis)	ASTM D422-63
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity)	EPA Method 9081
Clay Mineral	X-Ray Diffraction (XRD)
สารอินทรีย์ในดิน (Organic matter)	Walkley-Black Method
ความเป็นกรด-ด่างของดิน	ASTM D4972-95a
ปริมาณสังกะสีในดิน	EPA 3051, AAS

3.4.2 การหาปริมาณสังกะสี

หาปริมาณสังกะสีในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจากตัวอย่างน้ำมันเครื่องที่ได้จากสถานีบริการน้ำมันและปริมาณสังกะสีของเหลวหลังจากผ่านการล้างดินแล้วโดยเตรียมตัวอย่างตามวิธี EPA 3051 และหาปริมาณสังกะสีโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

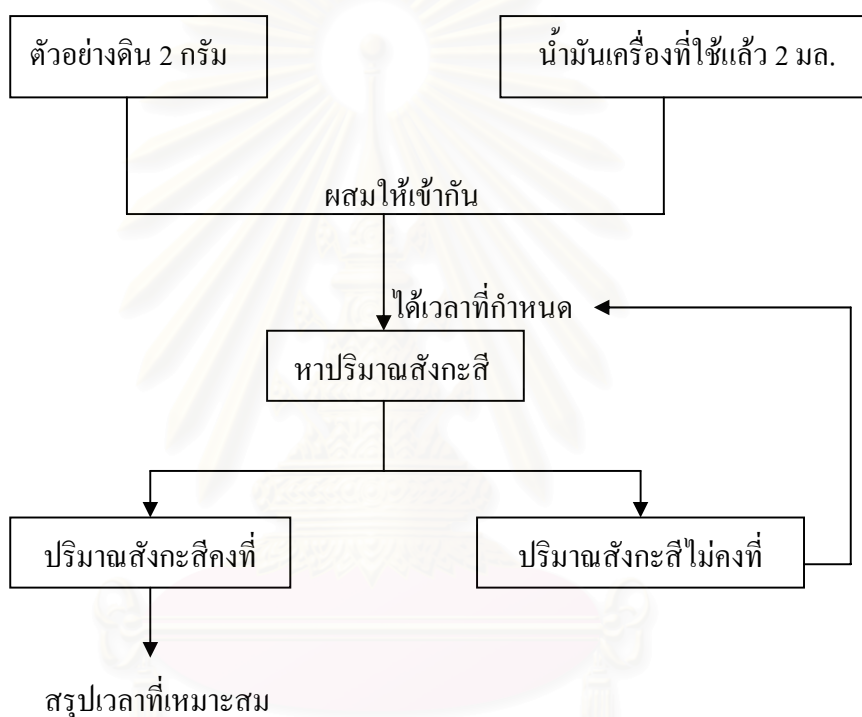
3.4.3 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนดินตัวอย่าง

นำดินตัวอย่าง 2 กรัม ใส่สารละลายสารลดแรงตึงผิว สำหรับ Triton X-100 ใช้ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Dowfax 8390 ใช้ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปริมาณ 20 มิลลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 2 3 4 5 6 และ 7 วัน โดยทำการทดลองสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิด ครั้งละ 3 ตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกัน หลังจากเมื่อถึงเวลาที่กำหนดแล้วนำสารละลายมาหาปริมาณสารลดแรงตึงผิวโดยใช้ UV Spectrophotometer โดยใช้ความยาวคลื่นสำหรับ Triton X-100 คือ 225 สำหรับ Dowfax 8390 ใช้เครื่อง HPLC โดย mobile phase 90% เมทานอลในน้ำ flow rate 0.2 มิลลิตรต่อนาที ความยาวคลื่นคือ 225 นาโนเมตรใช้คอลัมน์ชนิดคาร์บอน 18 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การดำเนินการเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวที่ถูกดูดซับบนดินตัวอย่าง

3.4.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง
ดินตัวอย่าง 2 กรัม จากนั้นใส่น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้น
ปล่อยให้แห้งเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สังกะสีในส่วนที่เป็นของเหลวคงที่ โดยแต่ละเวลาที่ต่างกันนี้จะใช้
ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างเปรียบเทียบกัน จากนั้นเมื่อถึงเวลาที่กำหนด นำน้ำมันเครื่องหาปริมาณสังกะสีโดย
ใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การดำเนินการเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว
ดูดซับบนดินตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.5 การหาไอโซโทมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว

ดินตัวอย่าง 2 กรัมใส่หลอดทดลองที่มีจุกปิด จากนั้นใส่สารละลายลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ 10 มล. โดยทดลองแต่ละชนิดของสารลดแรงตึงผิว นำหลอดทดลองเขย่าในแต่ละวัน ตามเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.4.3 จนแน่ใจว่าถึงการดูดซับสมดุลแล้ว แยกส่วนระหว่างของเหลวและของแข็งโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที โดยแต่ละตัวอย่างใช้ตัวอย่างเปรียบเทียบ 3 ตัวอย่างจากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวมาหาความเข้มข้นสมดุลโดยใช้ UV Spectrometer โดยใช้ความยาวคลื่นสำหรับ Triton X-100 และ Dowfax 8390 คือ 225 และ 237 นาโนเมตรตามลำดับที่ความเข้มข้นสูงใช้เครื่อง HPLC ในการหาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสำหรับ Triton X-100 ใช้ mobile phase 87% เมทานอลในน้ำ flow rate 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่นคือ 275 นาโนเมตร สำหรับ Dowfax 8390 ใช้ mobile phase 90% เมทานอลในน้ำ flow rate 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที ความยาวคลื่นคือ 225 นาโนเมตรใช้คอลัมน์ชนิดคาร์บอน 18 ทั้ง 2 ประเภทสารลดแรงตึงผิว

3.4.6 การหาไอโซโทมการดูดซับของสังกะสีจากน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

นำดินตัวอย่าง 0.25 0.5 1 2.5 5.0 7.5 15 20 25 และ 28.0 กรัมใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรใส่น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วปริมาณ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้เป็นเวลาที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.4.4 โดยกวนผสมก่อน 30 นาทีจึงเก็บตัวอย่าง ในแต่ละปริมาณของดินที่เปลี่ยนไป โดยแต่ละตัวอย่างใช้ตัวอย่างเปรียบเทียบ 3 ตัวอย่างหาปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีโดยใช้ เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

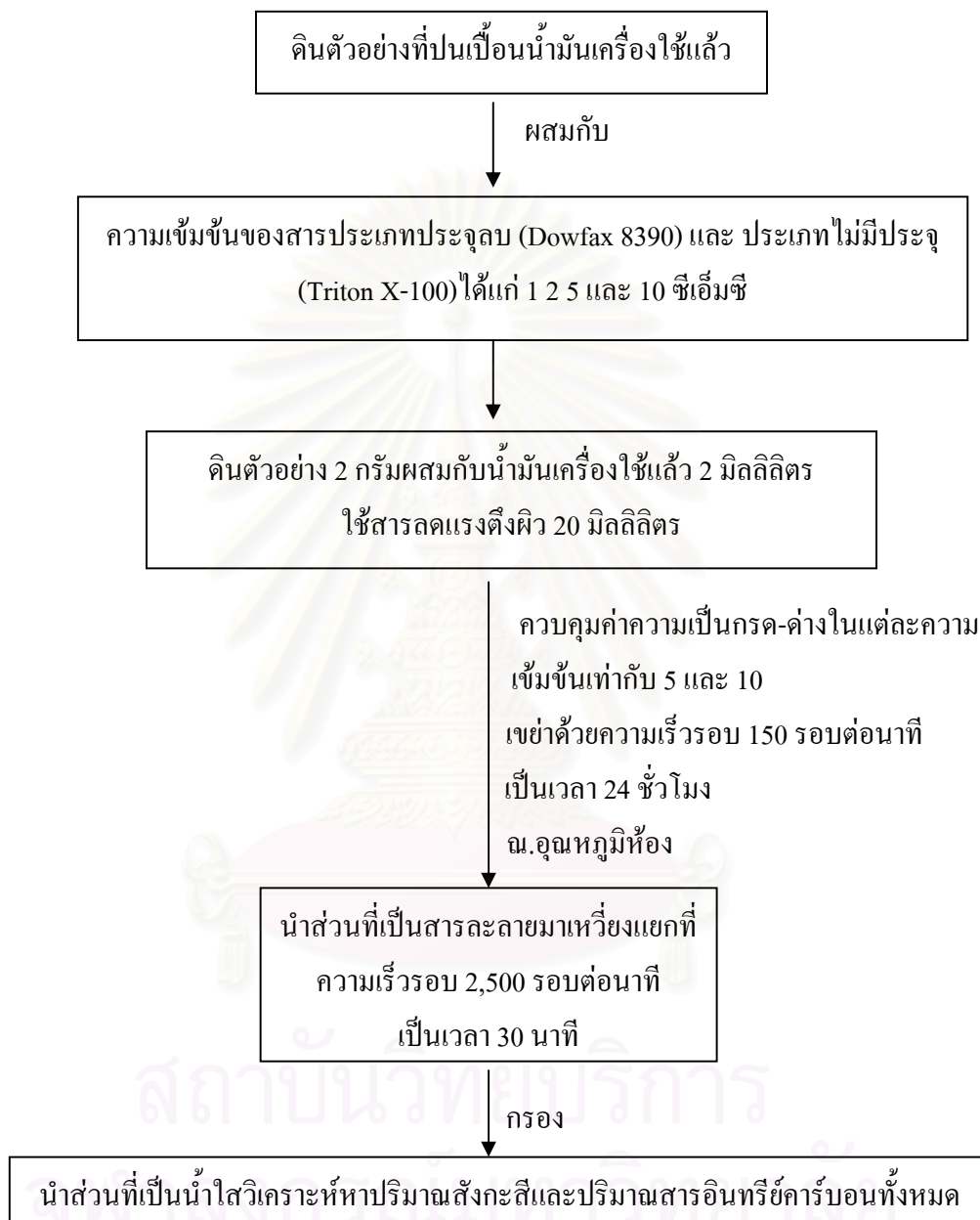
3.4.7 วิธีการดำเนินการล้างดิน

นำดินตัวอย่าง 2 กรัม ผสมกับน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว 2 มิลลิลิตรทิ้งไว้เป็นเวลาที่ได้จาก 3.4.1 ใส่หลอดพลาสติกที่มีฝาปิดขนาด 50 มิลลิลิตร ใส่สารละลายลดแรงตึงผิวความเข้มข้น ได้แก่ 1 2 5 และ 10 ซีเอ็มซี โดยใช้สารละลายลดแรงตึงผิว 20 มิลลิลิตรโดยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละความเข้มข้นเท่ากับ 5 และ 10 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ใช้บัฟเฟอร์พีเอช 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 ใช้บัฟเฟอร์ 10 อัตราส่วนดังตาราง 3.3 ตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบจะใช้น้ำกลั่นที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่พีเอชเท่ากับ 5 จะใช้บัฟเฟอร์พีเอช 4 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 15 มิลลิลิตรและที่พีเอช 10 จะใช้บัฟเฟอร์พีเอช 10 ปริมาณ 20 มิลลิลิตร โดยไม่ใช้น้ำกลั่นผสม เพื่อเทียบกับการทดลองแต่ละความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวนั้นๆและน้ำกลั่นที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และใช้สารละลายสารลดแรงตึงผิวแต่ละความเข้มข้นโดยไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เขย่าตัวอย่างด้วยความเร็วรอบ

150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำส่วนที่เป็นสารละลายมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนที่เป็นของเหลววิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี โดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS) และหาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ดังรูปที่ 3.3

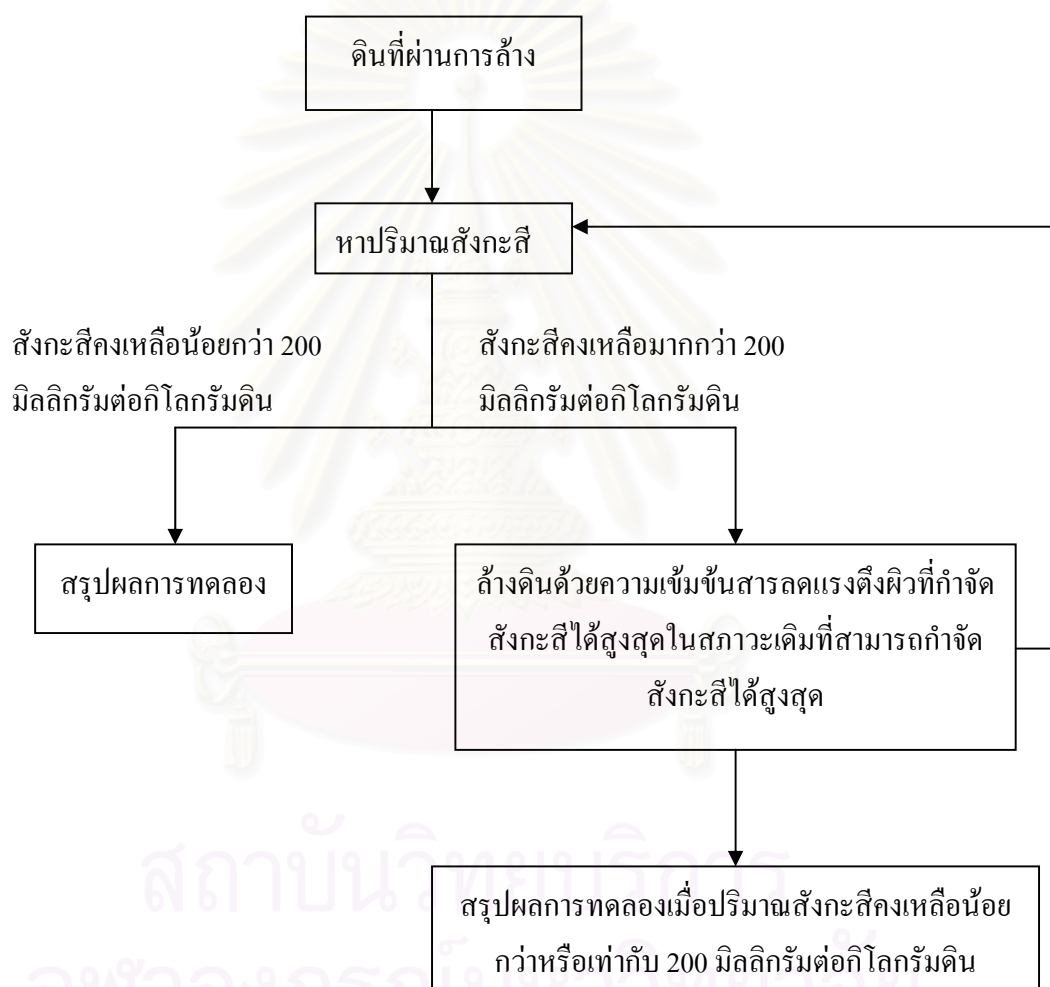
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนการใช้ปริมาณบัฟเฟอร์และสารลดแรงตึงผิวเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง

สารชะล้าง	ความเข้มข้น สารลดแรงตึงผิว (ซีเอ็มซี)	ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 5		ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 10	
		ปริมาณบัฟเฟอร์ พีเอช 4 (มิลลิลิตร)	ปริมาณ สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)	ปริมาณบัฟเฟอร์ พีเอช 10 (มิลลิลิตร)	ปริมาณ สารลดแรงตึงผิว (มิลลิลิตร)
Dowfax- 8390	1	2	18	5	15
	2	4	16	8	12
	5	8	12	10	10
	10	10	10	10	10
Triton X- 100	1	4	16	6	14
	2	6	14	8	12
	5	8	12	10	10
	10	10	10	10	10



รูปที่ 3.3 วิธีการล้างดินเพื่อกำจัดสังกะสีที่มีในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว

หลังจากผ่านการล้างดินแล้ว หากปริมาณสังกะสีที่หลุดออกมาในสารละลายในแต่ละความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวแล้วพบว่า ปริมาณสังกะสีที่คงมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแล้ว นำดินตัวอย่างเดิมที่ผ่านการล้างมาแล้วล้างซ้ำด้วยสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นที่สามารถกำจัดปริมาณสังกะสีสูงสุด โดยจะใช้สภาวะเดิมที่สามารถกำจัดสังกะสีที่มากที่สุดด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 3.4



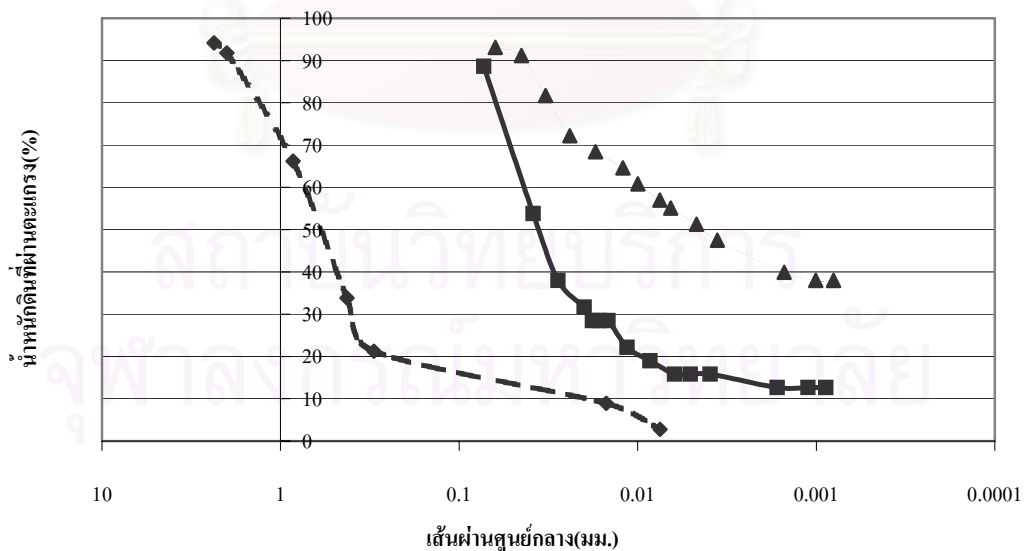
รูปที่ 3.4 การดำเนินการล้างดินซ้ำในกรณีที่ปริมาณสังกะสีคงเหลือมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะดินตัวอย่าง

ในการเตรียมดินตัวอย่างใช้ดิน 3 ชนิด ดังนี้

1. ดินชนิดที่ 1 จากรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคดิน ระหว่าง 2.36 ถึง 0.0075 มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 90 ดังนั้นดินชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นดินทราย ตัวอย่างดินชนิดที่ 1 ดังรูปที่ 4.2(ก)
2. ดินชนิดที่ 2 จากรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคดิน ระหว่าง 0.7 ถึง 0.002 มิลลิเมตรประมาณร้อยละ 75 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติอนุภาคส่วนใหญ่เป็นทรายแป้ง (Silt) ตัวอย่างดินชนิดที่ 2 ดังรูปที่ 4.2(ข)
3. ดินชนิดที่ 3 จากรูปที่ 4.1 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคดิน น้อยกว่า 0.002 มิลลิเมตร ประมาณร้อยละ 50 แสดงคุณสมบัติเป็นดินเหนียวและทรายแป้ง ตัวอย่างดินชนิดที่ 3 ดังรูปที่ 4.2(ค)



รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดดิน 3 ชนิดเพื่อเตรียมดินตัวอย่าง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ดินที่ใช้ในการเตรียมดินตัวอย่าง (ก) ดินชนิดที่ 1 (ข) ดินชนิดที่ 2 และ (ค) ดินชนิดที่ 3



รูปที่ 4.3 ดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

หรือกล่าวได้อีกนัยว่า ดินชนิดที่ 1 ประกอบด้วยทรายประมาณร้อยละ 90 ดินชนิดที่ 2 ประกอบด้วยทรายแป้งประมาณร้อยละ 75 อนุภาคดินเหนียวประมาณร้อยละ 25 และดินชนิดที่ 3 ประกอบด้วยทรายแป้งประมาณร้อยละ 30 อนุภาคดินเหนียวประมาณร้อยละ 70

ในการเตรียมดินตัวอย่างที่ประกอบไปด้วยทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวประมาณร้อยละ 52 36 และ 12 ตามลำดับ โดยดินชนิดที่ 1 ได้นำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อกำจัดทรายแป้ง และดินเหนียว และส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 10 ออกเพื่อกำจัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร ตัวอย่างการเตรียมดินตัวอย่างเช่น ต้องการดินตัวอย่างจำนวน 10 กรัมต้องชั่งดินชนิดที่ 1 จำนวน 5.2 กรัม ดินตัวอย่างที่ 2 จำนวน 3.4 กรัมและดินตัวอย่างที่ 3 จำนวน 1.4 กรัม จะได้ดินตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.3

โดยที่ดินตัวอย่างที่เตรียมดังกล่าวมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 4.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ค่าอินทรีย์วัตถุร้อยละ 0.47 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.0 และความเข้มข้นสังกะสีในดิน 24.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน แร่ดินเหนียวประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนมาก

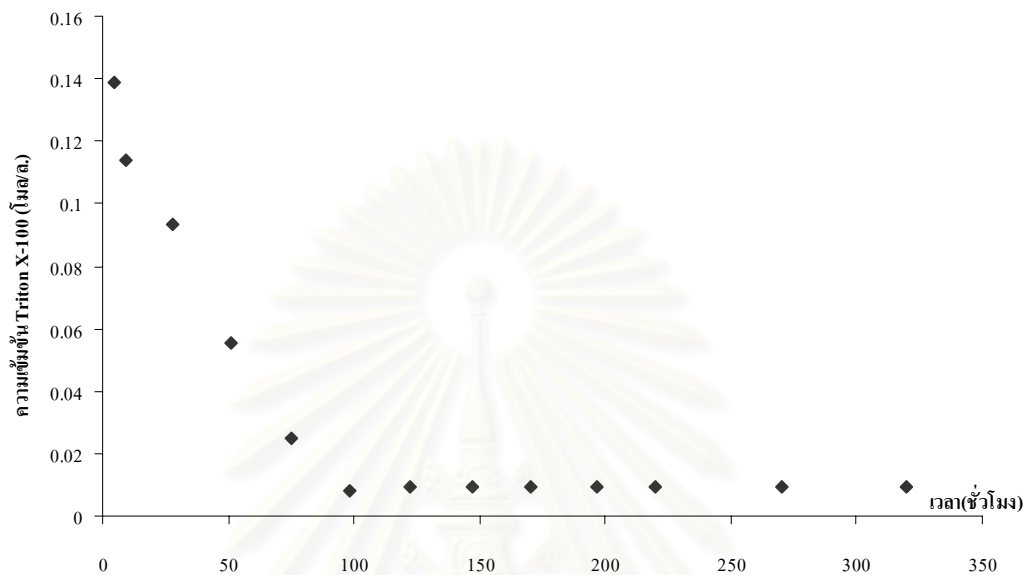
4.2 ไอโซเทอม

4.2.1 ไอโซเทอม Triton X-100

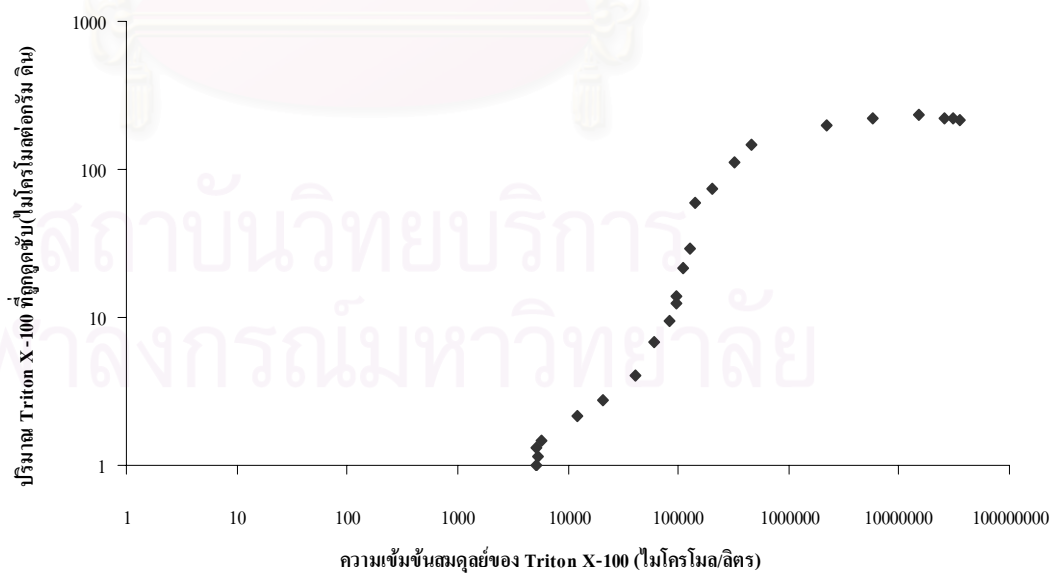
ผลการทดลองพบว่าที่เวลาประมาณ 100 ชั่วโมงการดูดซับของ Triton X-100 ถึงจะเกิดได้โดยสมบูรณ์ ความเข้มข้นคงที่ที่ 0.0084 โมลต่อลิตร จากรูปที่ 4.4

กราฟไอโซเทอมที่ได้เป็นแบบ S-Shape ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งไอโซเทอมที่ได้สามารถแบ่งได้เป็น 5 ช่วง โดย Triton X-100 สามารถดูดติดบนดินด้วยส่วนที่มีขั้ว (Hydrophilic group) หันเข้าหาผิวดิน (Clunie และ Ingram, 1983)

ช่วงที่ 1 ช่วงความเข้มข้นต่ำจาก 5 ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนมีขั้วคือ โพลีเอทิลีนออกไซด์ (Polyethyleneoxide group) การดูดติดบนอนุภาคดินขึ้นกับพันธะไฮโดรเจนระหว่าง ซิลิกา-ไฮดรอกไซด์ (Si-OH) กับผิวน้ำอนุภาคดินและออกซิเจนของออกซีเอทิลีน (Oxethylene group) ในช่วงนี้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเรียงตัวบนผิวดินแบบนอน เนื่องจากออกซิเจนของส่วนไม่มีขั้ว (Hydrophobic) เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้า (Electrostatic) หรือแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waal Force) กับประจุลบของผิวน้ำอนุภาคดินโดยดึงเอาโปรตอนจากน้ำทำให้ได้ประจุบวก การดูดติดในช่วงนี้เป็นการดูดติดแบบอ่อนและการรวมตัวของโมเลกุลเป็นแบบโมโนเมอร์



รูป 4.4 เวลาสมมูลของ Triton X-100 บนดินตัวอย่าง



รูป 4.5 ไอโซเทอมของ Triton X-100 บนดินตัวอย่าง

ช่วงที่ 2 ยังคงเป็นการอิมมัลชันแบบโมโนเมอร์ด้วยโมเลกุลที่รวมตัวแบบนอนทำให้เกิดการลดความชันจากช่วงความเข้มข้น 12 ถึง 83 มิลลิกรัมต่อลิตรในช่วงนี้โมเลกุลของตัวทำละลายจะถูกแทนที่ไปสู่สารลดแรงตึงผิว โดยบางที่อาจเป็นการทำปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ยังคงเป็นไปโดยต่อเนื่องของโมเลกุลของตัวทำละลายที่ผิวหน้า (Interfacial layer)

ช่วงที่ 3 การดูดซับผิวจาก ความเข้มข้น 95 ถึง 143 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปฏิกิริยาระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ (Adsorbate-Adsorbate Interaction) เป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากมีแรงดึงดูดมากระหว่างส่วนมีขั้วและผิวหน้าอนุภาคดิน กลุ่มอัลคิลจะถูกแทนที่และมีปฏิกิริยาข้างเคียงระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ติดกันเนื่องจากแรงดึงดูดส่วนไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งการรวมตัวของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวเป็นแบบแอดไมเซลล์ (Admicelle)

ช่วงที่ 4 การดูดซับจากความเข้มข้น 201 ถึง 458 มิลลิกรัมต่อลิตร ความชันลดลงขึ้นกับแรงผลักระหว่างสารลดแรงตึงผิวในชั้นบางๆระหว่างช่วงแอดไมเซลล์บนผิวหน้าอนุภาคดิน การดูดซับผิวของสารลดแรงตึงผิวในรูปแบบไมเซลล์บนผิวหน้าอนุภาคดินนั้นจะเกาะรวมกันในช่วงความเข้มข้นที่ราบ

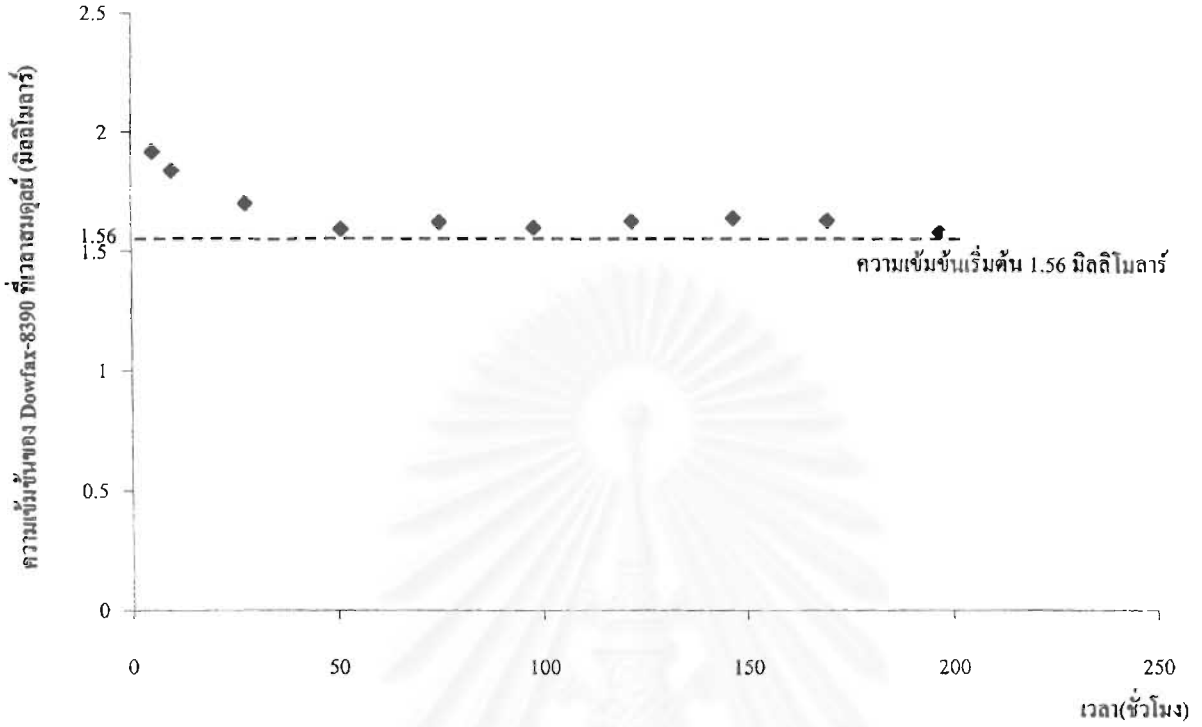
4.2.2 ไอโซเทอม Dowfax-8390

เมื่อใช้ดิน 2 กรัมกับสารละลายสารลดแรงตึงผิว 20 มิลลิตรผสมในเวลาต่างๆกัน พบว่าเมื่อ 50 ชั่วโมง ความเข้มข้นสารละลายสารลดแรงตึงผิวในสารละลายคงที่ที่ 1.6 มิลลิโมลาร์ ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่าทุกช่วงเวลาในการทดลองความเข้มข้นสารละลายสารลดแรงตึงผิวมากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.7 เป็นการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างก็เป็นประจุลบ สำหรับกรณีนี้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะถูกผลักออกจากผิวหน้าอนุภาคดินโดยแรงผลักรวมกัน (Coulombic repulsion) (พินิตา ธรรม-สถิตมัน, 2538) การดูดซับสามารถหาได้จากการคำนวณตามสมการการดูดซับ (The Gibbs Adsorption, Γ)

$$\Gamma = ((\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น} - \text{ความเข้มข้นสมดุล}) / \text{น้ำหนักดิน}) \times \text{ปริมาตรสารละลาย}$$

เมื่อความเข้มข้นสมดุลหาโดยใช้เครื่อง HPLC ได้มากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น ค่าที่ได้จากสมการที่ 4.1 (Gibbs Adsorption) เท่ากับศูนย์ และสำหรับการดูดซับที่มากกว่าและน้อยกว่าศูนย์มากที่สุดทั้ง 3 ค่านั้นอาจเกิดมาจากการผิดพลาดจากการทดลอง จากผลไอโซเทอมอาจกล่าวสรุปได้ว่า Dowfax 8390 ไม่ดูดซับบนดินตัวอย่างซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย



รูป 4.8 เวลาสมดุขยของ Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง

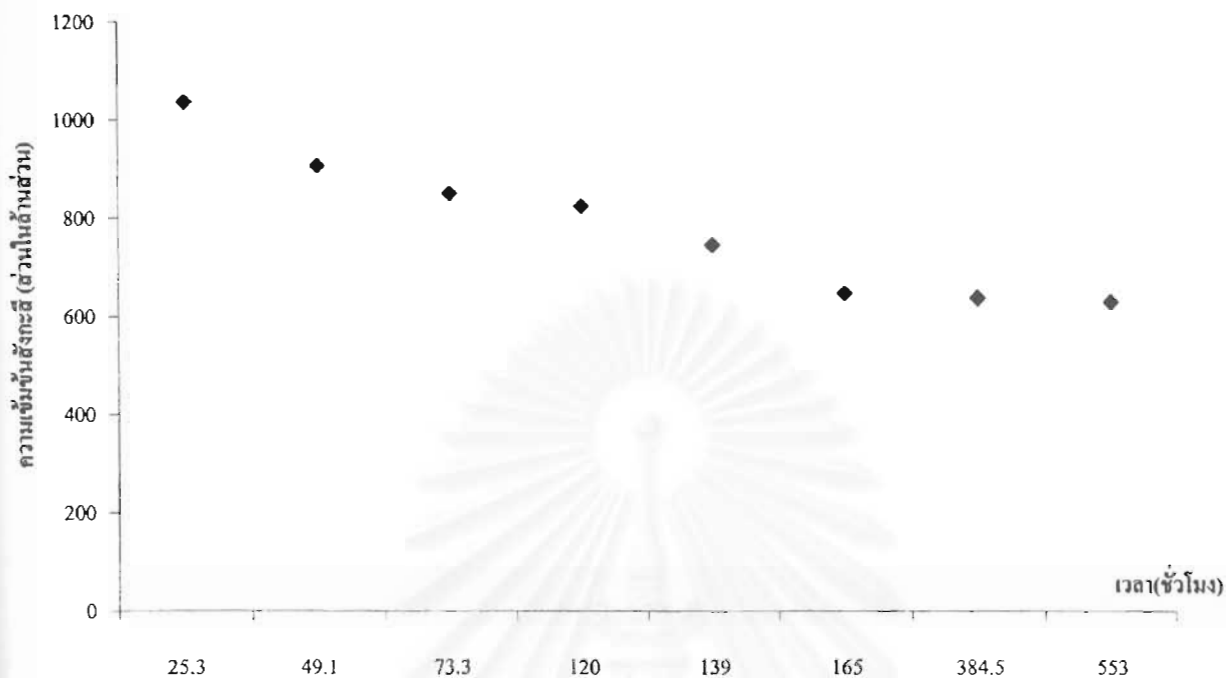


รูปที่ 4.7 ไอโซเทอม Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง

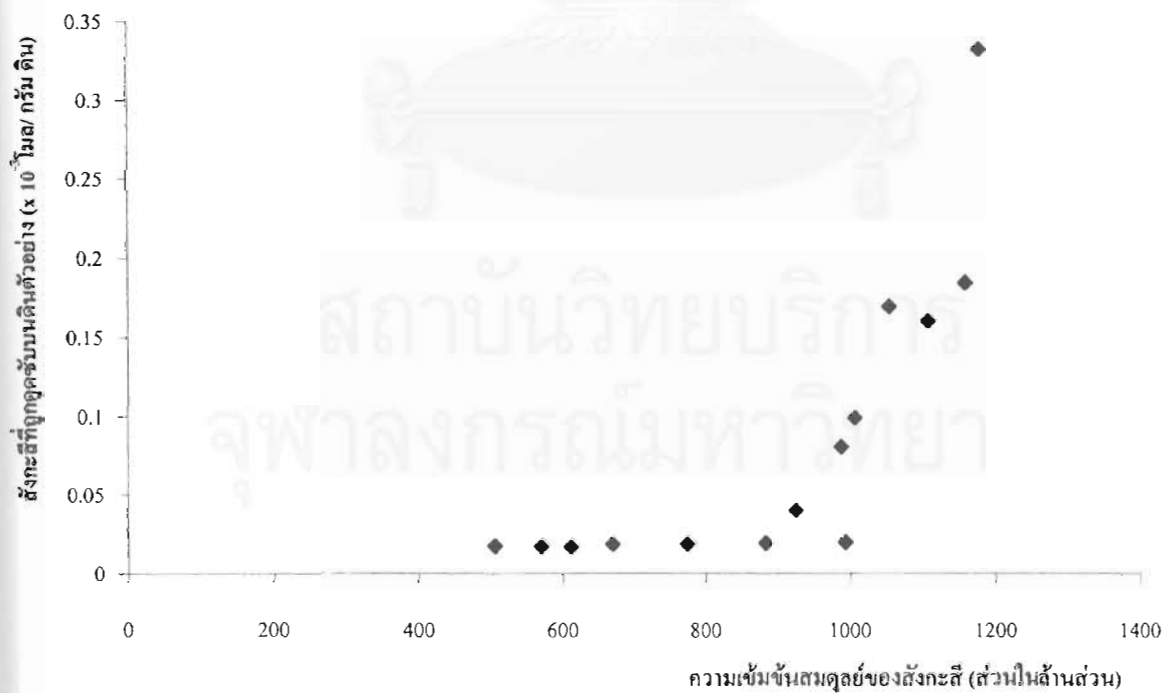
4.2.3 ไอโซโทมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว

ในการทดลองซึ่งใช้น้ำมันเครื่อง 2 มิลลิลิตรผสมกับดินตัวอย่าง 2 กรัม คนผสมในแต่ละวัน ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี ประมาณ 30 นาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 165 ชั่วโมง ปริมาณสังกะสีในสารละลายน้ำมันเครื่องคงที่ที่ประมาณ 630 ส่วนในล้านส่วนดังรูปที่ 4.8 โดยปกติแล้วการดูดซับของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนดินนั้นเป็นการดูดซับแบบเส้นตรงและคงที่ในเวลา 25 วัน โดยความเข้มข้นที่สมดุลนั้นสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเข้มข้นประมาณร้อยละ 30-50 ของความเข้มข้นเริ่มต้น (Ick และคณะ, 1996; Cary และคณะ, 1998)

และไอโซโทมของสังกะสีดังรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณสังกะสีที่ถูกดูดซับบนดินจาก 332.37 ถึง 40.51 มิลลิโมลต่อกรัมดิน ก่อนข้างเป็นเส้นตรง และคงที่ที่ตั้งแต่ 19.852 มิลลิโมลต่อกรัมดิน เนื่องมาจากน้ำมันเครื่องจะประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีทั้งพาราฟินแบบโซ่ตรง โซ่กิ่ง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอิมตัว หรือสารประกอบที่เป็นอะโรมาติกดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3.1 และสารประกอบดังกล่าวล้วนแต่มีคุณสมบัติที่ถูกดูดซับบนดินได้ง่าย (Bernadin, 1976) และการดูดซับของสารประกอบชนิดไม่มีขั้วกับอินทรีย์สารในดินนั้นเป็นการดูดซับแบบเส้นตรง (Stephen และ Shaobai, 1990) แต่ปริมาณสังกะสีกลับยังคงอยู่ในสารละลายน้ำมันเครื่อง อาจเนื่องมาจากตัวดูดซับคือ ดินตัวอย่างเป็นดินประเภทร่วนปนทรายที่มีทรายเป็นองค์ประกอบหลักทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยคือประมาณ 10-40 ตารางเมตรต่อกรัม (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งทำให้ไม่สามารถดูดซับปริมาณไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเครื่องใช้แล้วได้ทั้งหมด ซึ่งสังกะสีในน้ำมันเครื่องนั้นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.3.5 ตำแหน่งที่สังกะสีจับกับกำมะถันในซิงค์ไดอัลคิลไดโรฟอสเฟตนั้นเป็นพันธะเดี่ยวและอาจมีส่วนในการทำให้สังกะสีไม่ถูกดูดซับดินโดยตรง เนื่องจากส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของซิงค์ไดอัลคิลไดโรฟอสเฟตนั้นถูกดูดซับบนดินได้ ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณดินมากถึง 28 กรัมต่อน้ำมันเครื่องใช้แล้ว 20 มิลลิลิตร แต่ปริมาณสังกะสีในสารละลายน้ำมันเครื่องยังคงสูงอยู่คือประมาณ 515 ส่วนในล้านส่วนซึ่งสังกะสีที่ถูกดูดซับบนดินนั้นเพิ่มขึ้นจากเมื่อใช้ดิน 25 กรัมเพียง 45 ส่วนในล้านส่วน



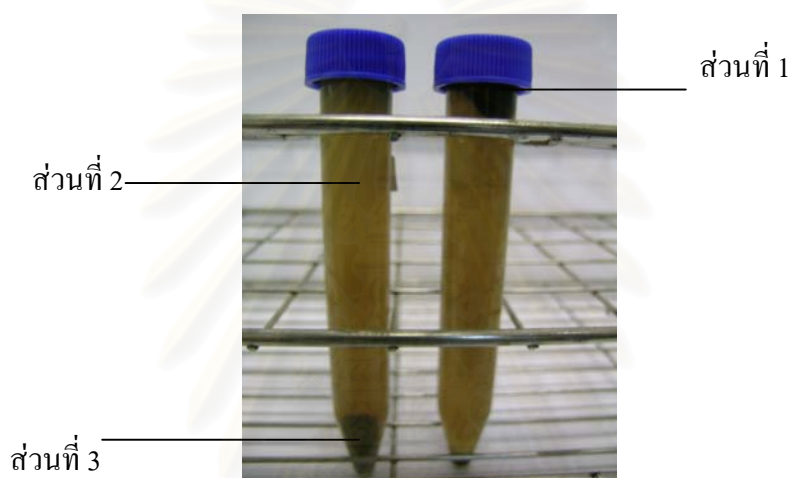
รูปที่ 4.8 เวลาสมมูลย์ของสกัดซีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง



รูปที่ 4.9 ไอโซเทอมของสกัดซีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วบนดินตัวอย่าง

4.3 ผลจากการล้างดิน

หลังจากทำการทดลองล้างดินโดยใช้ดินตัวอย่าง 2 กรัมที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้ว 2 มิลลิลิตรทิ้งไว้เป็นเวลา 165 ชั่วโมง กับสารละลายสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นต่างๆ 20 มิลลิลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำส่วนที่เป็นของเหลวทดสอบหาปริมาณสังกะสี โดยนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ของเหลวดังกล่าวแยกส่วนจากกันได้ 3 ส่วน ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ส่วนของเหลวแยกชั้นหลังผ่านการปั่นเหวี่ยง



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.11 การแยกชั้นของเหลว (ก) ส่วนที่ 1 และ (ข) ส่วนที่ 3

ส่วนต่างๆที่แยกชั้นนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ (Tom และ Bala, 2001)

ส่วนที่ 1 คือส่วนของเฟสน้ำมันที่อิสระจากสารลดแรงตึงผิวและของแข็ง

ส่วนที่ 2 คือสารละลายที่มีน้ำมันละลายหรือการรวมเป็นอิมัลชันของน้ำมันน้อยมาก

และ ส่วนที่ 3 คือส่วนที่สะอาดที่มีการดูดซับของน้ำมันและสารลดแรงตึงผิวน้อยมาก

4.3.1 ผลการกำจัดสังกะสี

เนื่องจากดินที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจากการทดลองพบว่าดินยังคงดูดซับน้ำมันเครื่องไว้ไม่หมดจึงมีน้ำมันเครื่องที่ผิวหน้าดินจึงต้องสมมติว่าสังกะสีที่ต้องการกำจัดมี 2 แหล่ง (Chu, 2003) คือ

- สังกะสีที่ดูดซับในดินด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมี
- สังกะสีที่คงอยู่ในส่วนของเหลว

และกลไกการล้างดินจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน

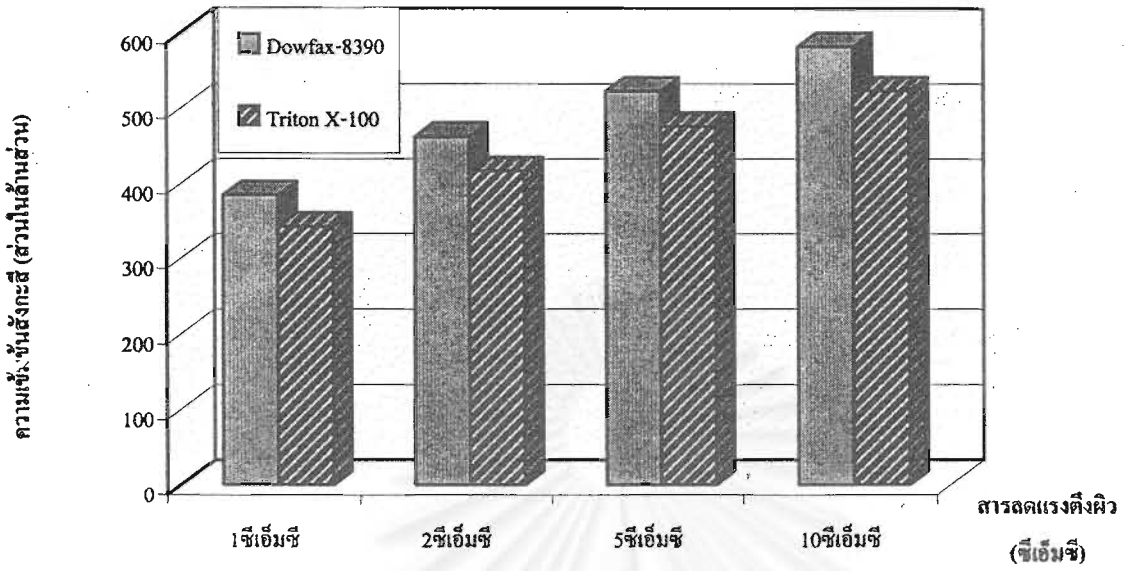
- ส่วนที่ 1 ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมีความสัมพันธ์ไม่มากสำหรับการหลุดออกมาของสังกะสี เป็นขั้นตอนที่ไม่ค่อยมีผลต่อการกำจัดมากนัก โดยการหลุดออกนั้นขึ้นกับคุณสมบัติของสารประกอบที่ไม่มีขั้วของสารปนเปื้อน ซึ่งในส่วนของเหลวนี้เป็นการง่ายที่จะถูกจับด้วยโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต้องการเปลี่ยนที่จาก สังกะสีในน้ำมันสู่ไมเซลล์สารลดแรงตึงผิว เนื่องจากการเคลื่อนที่เกิดเพียงในส่วนที่เป็นของเหลวเท่านั้น
- ส่วนที่ 2 ความเข้มข้นของไมเซลล์ในสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นและสังกะสีในน้ำมันเครื่องที่อยู่ในส่วนของเหลว ลดลง จึงทำให้สังกะสีที่จับกับดินสามารถจับกับไมเซลล์ได้ง่ายขึ้น ทำให้สารประกอบไม่มีขั้วบนดินลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลถึงปริมาณสังกะสีจึงลดลงไปด้วย และสังกะสีในส่วนของเหลวจะถูกละลายโดยสารลดแรงตึงผิวโดยสมบูรณ์ในไมเซลล์

เนื่องจากส่วนที่หลังการปั่นเหวี่ยงแยกได้เป็น 3 ส่วนดังกล่าวจึงนำส่วนที่ 1 และ 2 หาปริมาณสังกะสีในแต่ละส่วนโดยส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 หาโดยใช้ AAS ผลการทดลองพบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนที่ 1 มากกว่าที่พบในส่วนที่ 2 ดังตารางที่ 4.1

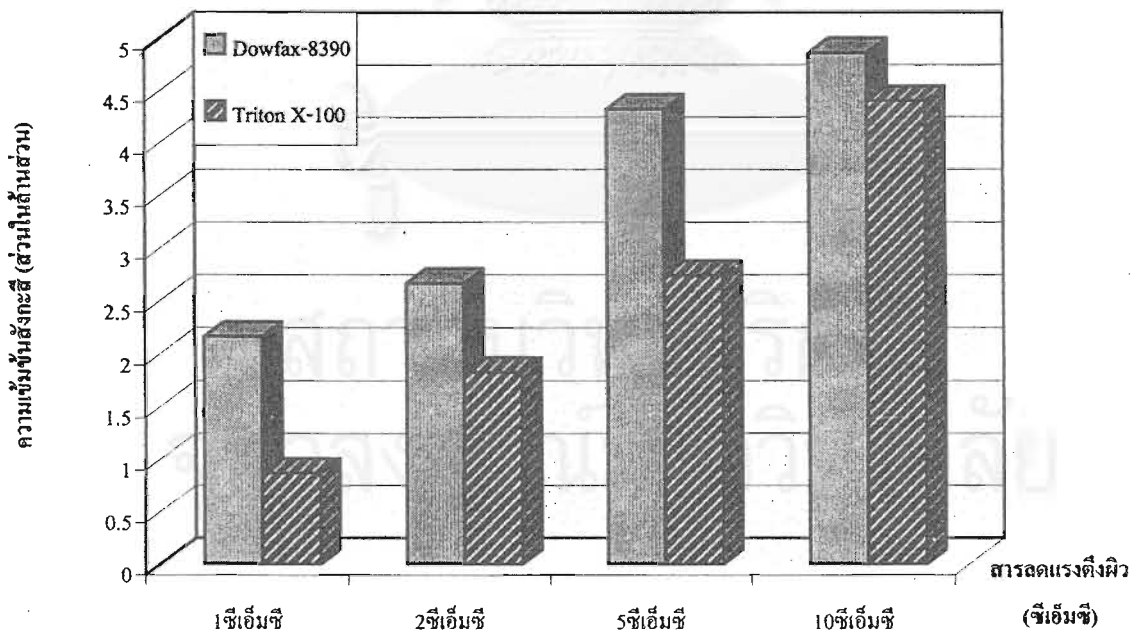
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสังกะสีหลังการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วด้วยสารชะล้าง

ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (มิลลิโมลาร์)	ปริมาณสังกะสีหลังการล้าง (ส่วนในล้านส่วน)			
	ส่วนที่ 1		ส่วนที่ 2	
	Dowfax-8390	Triton X-100	Dowfax-8390	Triton X-100
1ซีเอ็มซี	384.31	342.22	2.16	0.87
2ซีเอ็มซี	462.18	416.95	2.66	1.83
5ซีเอ็มซี	522.62	475.68	4.32	2.74
10ซีเอ็มซี	582.79	522.99	4.86	4.40
น้ำกลั่น	27.49		0.58	

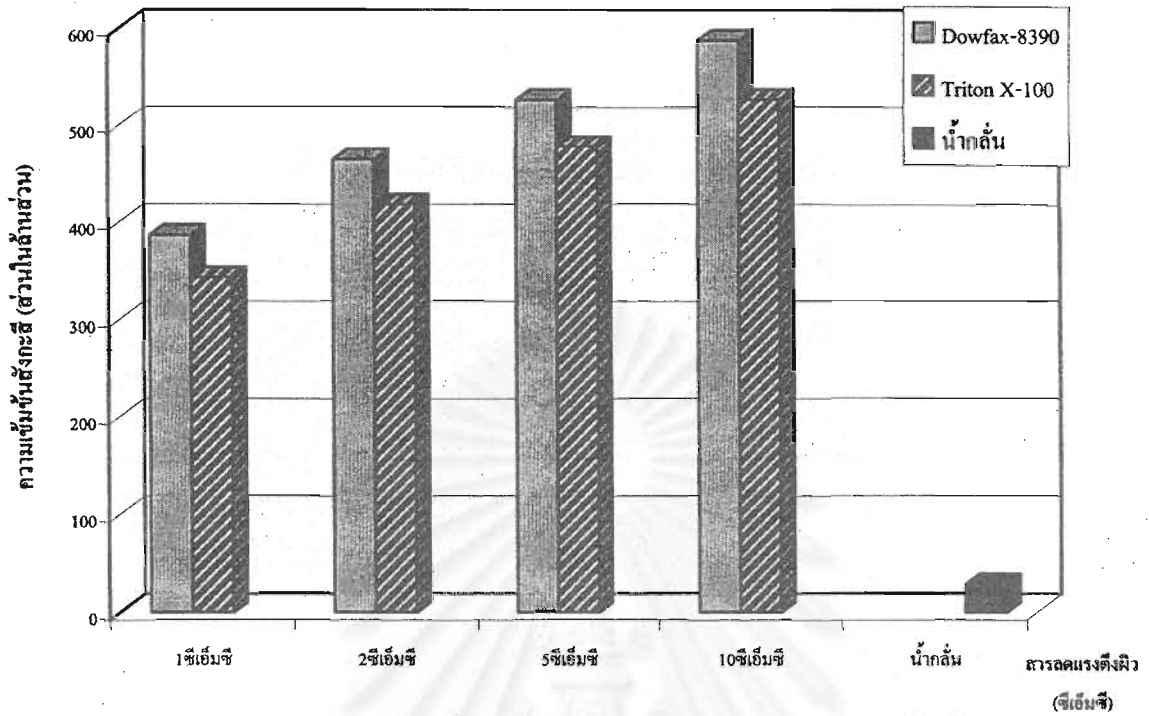
เมื่อเปรียบเทียบสังกะสีที่ล้างออกมาได้ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 สารลดแรงตึงผิวประจุลบมีปริมาณสังกะสีที่ล้างออกมาได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิดสามารถทำให้สังกะสีหลุดออกจากดินได้ โดยที่สารลดแรงตึงผิวประจุลบมีตัวที่มีขั้วเป็นประจุลบซึ่งสามารถจับกับประจุของสังกะสีในน้ำมันเครื่องได้ และประจุในส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวเป็นประจุเดียวกันกับดินทำให้เกิดการผลักออกกระหว่างของสารลดแรงตึงผิวกับดิน ทำให้ผลของสังกะสีที่ล้างออกมาได้ทั้งหมดในการล้างครั้งแรกนั้น สารลดแรงตึงผิวประจุลบดีกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเพียงเล็กน้อยโดยปริมาณสังกะสีที่กำจัดได้สูงสุดคือ 587.65 ส่วนในล้านส่วน จากความเข้มข้นเดิมของสังกะสีคือ 1,396.59 ส่วนในล้านส่วนแต่เห็นได้ว่าปริมาณสังกะสีที่ล้างออกมาได้จากการใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุนั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเมื่อเทียบกับการล้างดินโดยใช้ น้ำกลั่นล้างเห็นว่าการใช้น้ำกลั่นสามารถกำจัดสังกะสีได้เพียง 28.07 ส่วนในล้านส่วน ดังรูปที่ 4.14 เนื่องจากน้ำมันเครื่องไม่สามารถละลายในน้ำจึงส่งผลถึงปริมาณสังกะสีที่กำจัดได้ จากการทดลองเห็นได้ว่าสังกะสีที่กำจัดได้ส่วนมากอยู่ในส่วนที่ 1 เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4.1 สร้างรูปเปรียบเทียบระหว่างส่วนที่ 1 และ 2 ดังรูปที่ 4.15 พบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนที่ 1 มากกว่าส่วนที่ 2 ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับกราฟไอโซเทอมของสังกะสีในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วบนดินตัวอย่าง ที่แสดงให้เห็นว่าสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้วอยู่ในส่วนของเหลวพอกๆกับที่ถูกดูดซับบนดิน และเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวล้างดินตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องนั้น สารลดแรงตึงผิวสามารถเพิ่มการละลายน้ำของน้ำมันเครื่องใช้แล้วตามกลไกที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.6 ทำให้สังกะสีที่อยู่ในส่วนของน้ำมันหลุดออกมาจากดิน



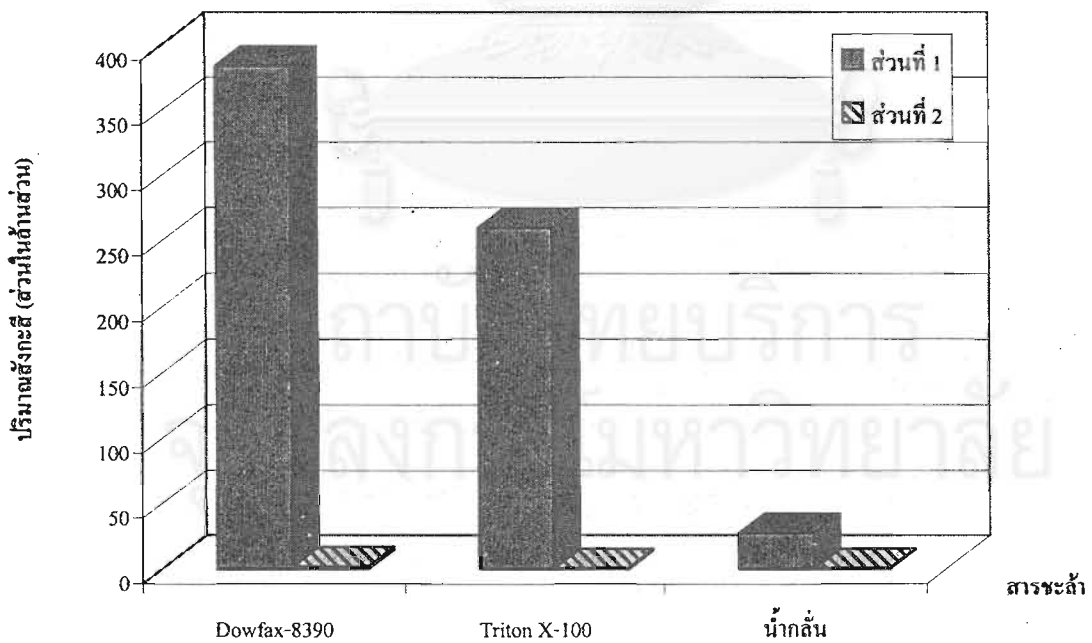
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความเข้มข้นด่างกะสีในส่วนที่ 1 ระหว่าง Dowfax-8390 และ Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 เท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบความเข้มข้นด่างกะสีในส่วนที่ 2 ระหว่าง Dowfax-8390 และ Triton X-100 ที่ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 เท่าจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์



รูปที่ 4.14 ปริมาณสิ่งตกค้างทั้งหมดที่ผ่านการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวและน้ำกลั่น



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณสิ่งตกค้างที่ล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นเท่ากับ จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์และน้ำกลั่นในส่วนที่ 1 และ 2

และออกมาสู่สารละลาย (จตุรพร บ้านแก่ง, 2539) ซึ่งเป็นส่วนที่มีสังกะสีหลุดออกมาน้อย

4.3.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (TOC)

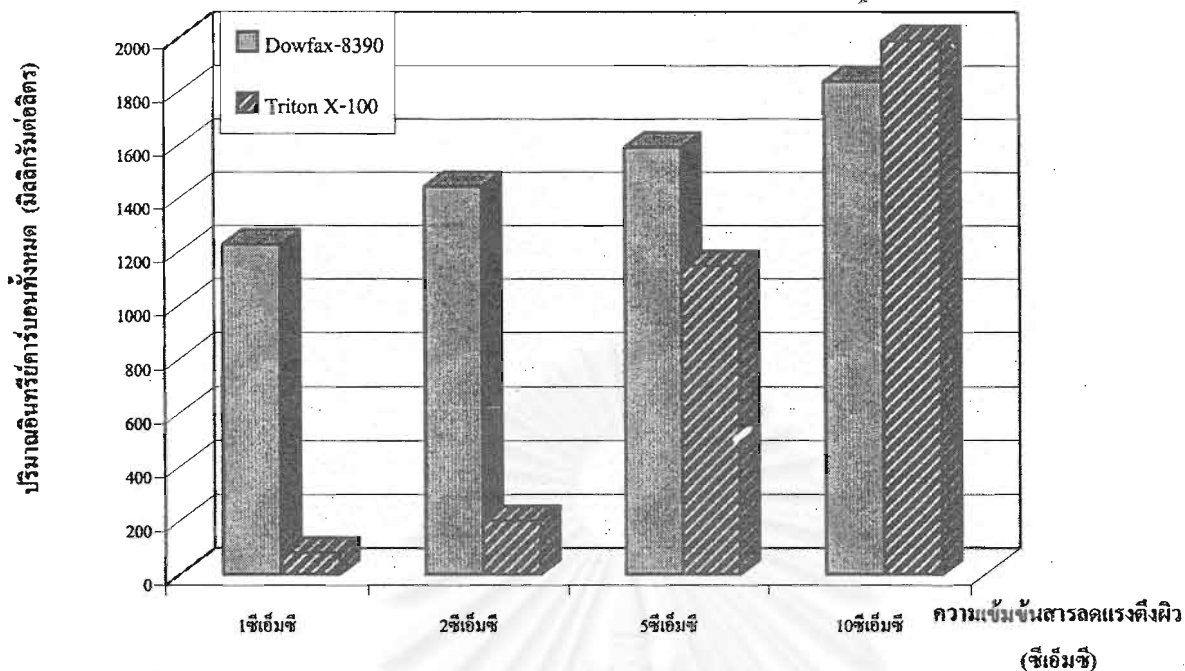
ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดอาจแสดงถึงปริมาณไฮโดรคาร์บอนในสารละลาย สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุสามารถทำให้ไฮโดรคาร์บอนหลุดออกจากดินได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ได้มากที่สุดเท่ากับ 1,989.84 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ได้จากสารลดแรงตึงผิวประจุลบก็ได้ค่าที่ใกล้เคียงกันดังตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ประเภท ดังรูปที่ 4.16 คือเมื่อความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมากปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนก็จะมากตามไปด้วย แต่จากปริมาณสังกะสีที่กำจัดได้เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวประจุลบมีมากกว่ากรณีใช้สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ แต่ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ได้หลังจากการล้างดินของสารลดแรงตึงผิวประจุลบต่ำกว่า ที่ได้จากใช้สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ อาจเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ละลายในสารละลายสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเป็นส่วนของไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเครื่องที่มีสารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสีน้อย แต่สำหรับไฮโดรคาร์บอนที่ละลายในสารละลายสารลดแรงตึงผิวประจุลบนั้นเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสารประกอบเชิงซ้อนในสังกะสีมากกว่า จึงทำให้ปริมาณสังกะสีที่ล้างออกได้ต่างกัน แต่ก็ต่างกันเพียงจำนวนไม่มาก ดังนั้นปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ได้จึงมีความเกี่ยวเนื่องกับปริมาณสังกะสีที่ล้างออกได้ ในกรณีเมื่อความเข้มข้นปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดสูงขึ้นการล้างออกของสังกะสีสูงขึ้นด้วย แต่มิได้แสดงว่าการที่ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดละลายมากที่สุดจะบ่งบอกถึงการกำจัดสังกะสีที่สูงสุดเสมอไป

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลายหลังการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้ด้วยสารลดแรงตึงผิว

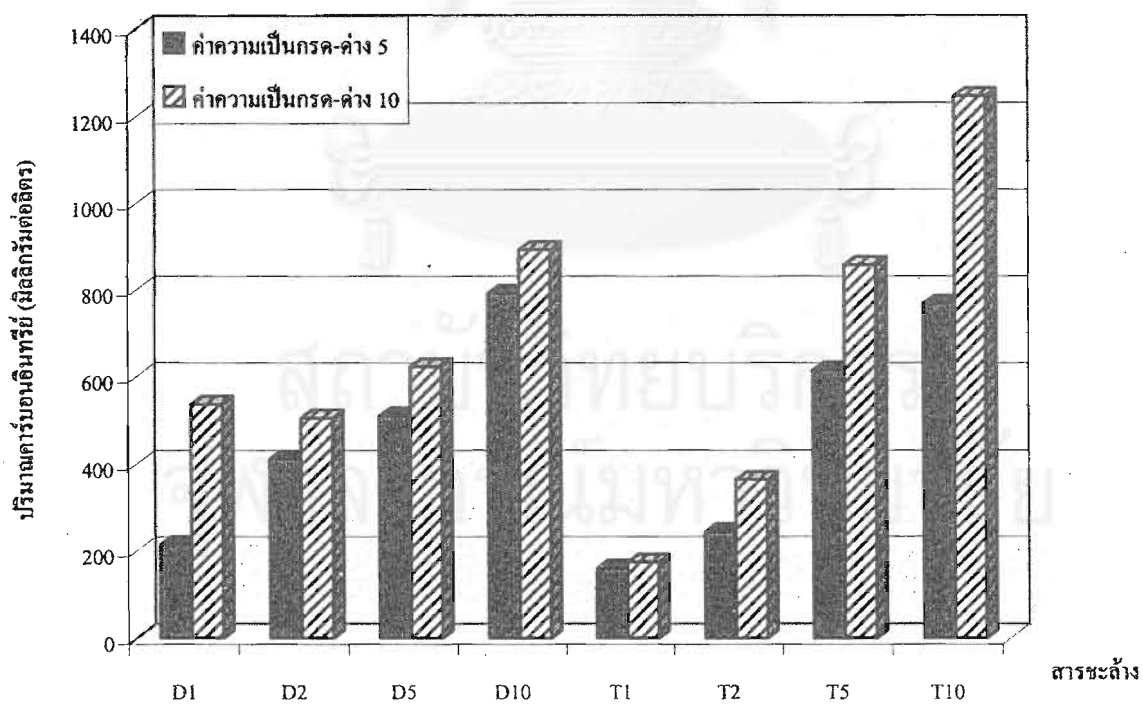
ความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว (ซีเอ็มซี)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	Dowfax-8390	Triton X-100
1ซีเอ็มซี	1,225.78	81.55
2ซีเอ็มซี	1,441.56	199.82
5ซีเอ็มซี	1,589.58	1,144.52
10ซีเอ็มซี	1,838.15	1,989.84

4.3.3 ผลการทดลองหลังการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง

ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่าปริมาณสังกะสีในส่วนที่ 1 มีปริมาณมากกว่าในส่วนที่ 2 เช่นเดียวกับการทดลองที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่ปริมาณสังกะสีที่ล้างออกได้ทั้ง 2 ส่วนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารชะล้างที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ยกเว้นสำหรับในกรณีสารชะล้างเป็นน้ำกลั่น พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่นปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5 จะสามารถล้างสังกะสีให้ออกมาในส่วนที่ 1 ได้ความเข้มข้นสังกะสี 1.26 ส่วนในล้านส่วนมากกว่าใช้น้ำกลั่นที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง(ความเข้มข้นสังกะสีในส่วนนี้คือ 0.58 ส่วนในล้านส่วน)เนื่องจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นนั้น ทำให้สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจับกับอินทรีย์สารของดินได้มากขึ้นส่งผลถึงสังกะสีที่ล้างออกได้ การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นทำให้ทิศทางโครงสร้างของสารประกอบไม่มีขั้วเกิดการเปลี่ยนแปลง (Mark และ James, 1993) โดยปกติแล้วสารลดแรงตึงผิวทำงานได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6-8 (Dipak และ James, 1997) ซึ่งในการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารลดแรงตึงผิวหลังผ่านการล้าง Dowfax-8390 อยู่ในช่วง 7.5 ถึง 8.9 และ Triton X-100 อยู่ในช่วง 6.9-7.5



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด ในสารละลายระหว่างสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภทที่ความชุ่มชื้น 1 2 5 และ 10 เท่าความชุ่มชื้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์

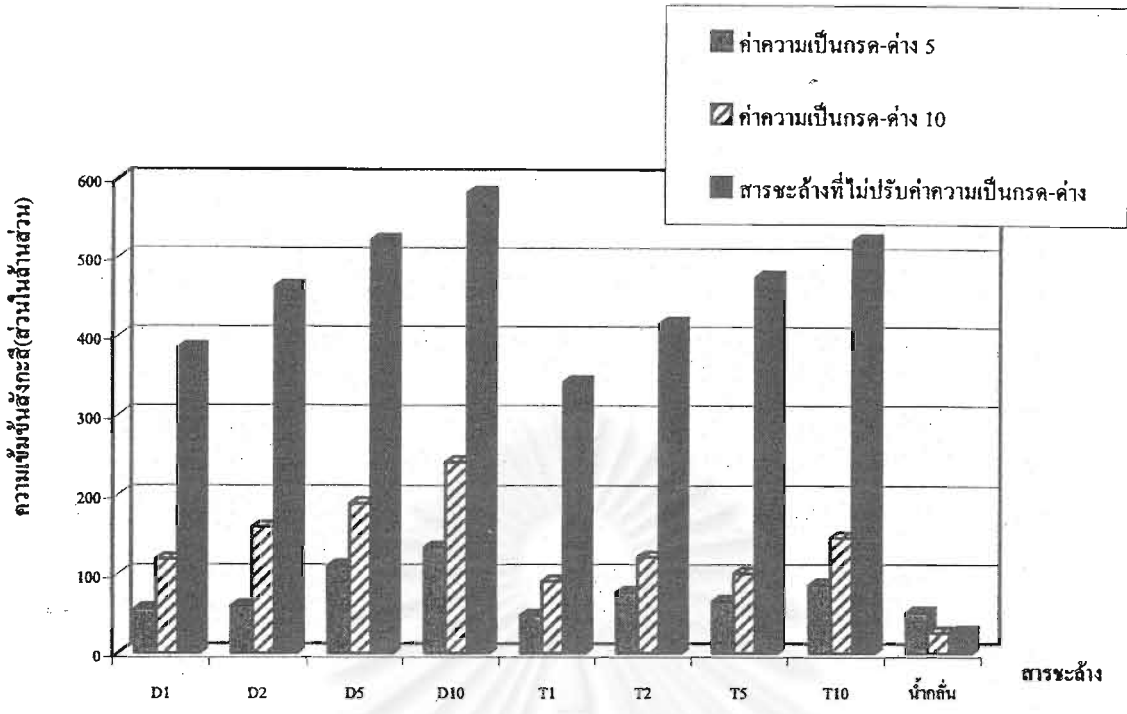


รูป 4. 17 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดระหว่างสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภท ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างกับ 5 และ 10

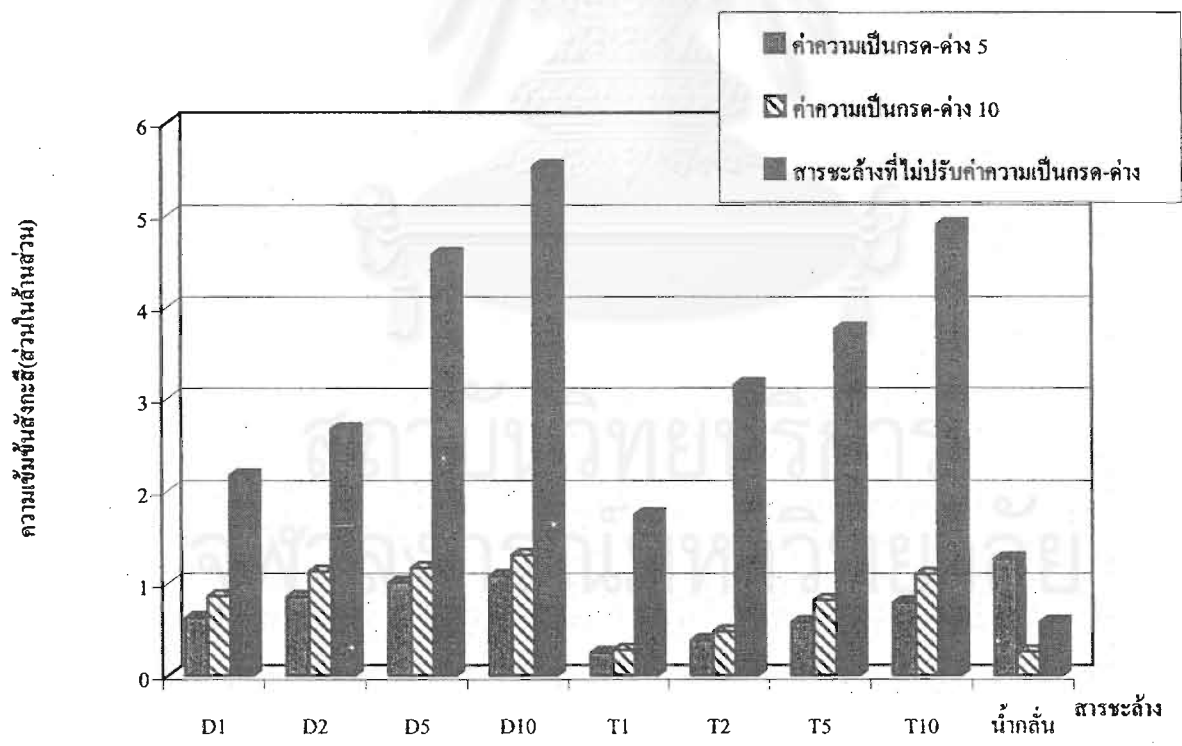
D คือ Dowfax 8390

T คือ Triton X-100

1 2 5 และ 10 คือ จำนวนเท่าความชุ่มชื้นที่จุดวิกฤตการเกิด ไมเซลล์



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในส่วนที่ 1 ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 10



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในส่วนที่ 2 ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 10

D คือ Dowfax 8390

T คือ Triton X-100

1 2 5 และ 10 คือ จำนวนเท่าความเข้มข้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์

สำหรับสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ประเภท เมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 การล้างออกของสังกะสีได้น้อยกว่าเมื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 สำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทการล้างออกของสังกะสีลดลงเนื่องจากที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำนั้น ผิวหน้าของดินจะมีประจุบวกอยู่มาก (หรือที่ความเป็นประจุลบน้อยลง) เพราะผิวหน้าที่มีประจุจะดูดซับโปรตอนที่ได้จากสารละลายมากขึ้นเพื่อปรับสมดุลย์ให้ผิวหน้าเป็นกลาง โดยที่สารลดแรงตึงผิวจะเปลี่ยนจากขั้วเดียวที่สามารถเพิ่มการดูดติดบนตัวกลางที่มีประจุตรงกันข้ามได้ดี โดยโมเลกุลสามารถดูดติดผิวได้เพียงผ่านพันธะไฮโดรเจนหรือจากการกระจายแรง (Dispersion Force) โดยผลที่เกิดขึ้นก็คือสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบจะสามารถดูดซับบนผิวหน้าดินได้ส่งผลถึงการล้างออกของสังกะสีที่ลดลง (Rosen, 1989) ดังเช่นผลที่ได้จากการหาความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวประเภทที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 โดยความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวในของเหลวหลังผ่านการล้างลดลง (ภาคผนวก จ) และสภาวะกรคนั้นมีประจุบวกที่ส่งผลต่อความหนาแน่นในไมเซลล์ส่งผลถึงแรงผลักระหว่างส่วนที่เป็นประจุลดลงดังนั้นจึงมีผลต่อค่าซีเอ็มซี (Eric, 1996) และสำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุนั้น ปริมาณสังกะสีที่ล้างออกได้น้อยกว่าสภาวะที่ไม่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำนั้นส่งผลกระทบต่อโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวในกลุ่มของ Triton X-100 ได้เนื่องจาก Ether Linkages ของส่วนไม่มีขั้วสามารถจับกับโปรตอนได้ดีทำให้ส่วนไม่มีขั้วจับกับไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเครื่องไม่ได้ (Tom และ Bala, 2001) ส่งผลถึงการล้างออกของสังกะสีลดลงไปด้วย และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในของเหลวหลังผ่านการล้างลดลงมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 (ภาคผนวก จ.) แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวที่หายไปอาจเนื่องมาจากการถูกดูดซับในน้ำมันที่อยู่บนดินหรือดูดซับบนดินตัวอย่างโดยตรง ซึ่งส่งผลถึงการล้างออกของสังกะสีที่ลดลงเนื่องจากไม่สามารถละลายออกมาในสารละลายได้ ผลการล้างออกของสังกะสีด้วยสารลดแรงตึงผิวและน้ำกลั่นที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังตารางที่ 4.3

สำหรับความเข้มข้นสังกะสีที่ได้จากการค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 นั้น เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ เห็นได้ว่าความเข้มข้นที่หายไปลดลงมากกว่าสภาวะกรด (ภาคผนวก จ) ทั้งที่ประจุลบที่เติมไปควรมีผลในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับดิน แต่อาจยังคงมีสารลดแรงตึงผิวดูดติดกับน้ำมันที่อยู่ผิวหน้าดินบางส่วนทำให้สังกะสีส่วนใหญ่หลุดออกมาได้บ้าง และสำหรับสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูง (สภาวะด่าง) มีไอออนประจุลบที่มีผลกระทบต่อการรวมตัวของไมเซลล์ทำให้ค่าซีเอ็มซีจึงเปลี่ยนไปด้วย (Martin, 1987) มีความเข้มข้นที่หายไปหลังจากการล้างค่อนข้างน้อย (ภาคผนวก จ) ซึ่งน่าจะเป็นผลดีทำให้สารลดแรงตึงผิวจับกับไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น แต่

ประจุลบที่เพิ่มมานั้นอาจทำให้สารอินทรีย์ในดินจับกับสารประกอบไม่มีขั้วได้ดี ทำให้ปริมาณสังกะสีที่ล้างออกมาได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสังกะสีหลังผ่านการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วด้วยสารชะล้างที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 5 และ 10

สารชะล้าง	ความเข้มข้น (ซีเอ็มซี)	ปริมาณสังกะสีหลังการล้าง(ส่วนในล้านส่วน)					
		ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5			ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10		
		ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	รวม	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	รวม
Dowfax-8390	1	56.43	0.62	57.05	118.35	0.86	119.21
	2	59.88	0.85	60.73	159.25	1.13	160.38
	5	110.63	1.01	111.64	189.15	1.16	190.31
	10	133.42	1.08	134.50	241.55	1.30	242.85
Triton X-100	1	47.84	0.25	48.09	91.01	0.28	91.29
	2	76.83	0.38	77.21	121.28	0.47	121.75
	5	65.87	0.58	66.45	100.93	0.82	101.75
	10	86.92	0.79	87.71	145.88	1.10	146.10
น้ำกลั่น		51.70	1.26	52.96	25.99	0.26	26.25

สำหรับสภาวะที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลกับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดด้วยกล่าวคือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 สารลดแรงตึงผิวจะให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดได้มากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ดังรูปที่ 4.17 และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจากการใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุความเข้มข้น 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 1,247 มิลลิกรัมต่อลิตรดังตารางที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

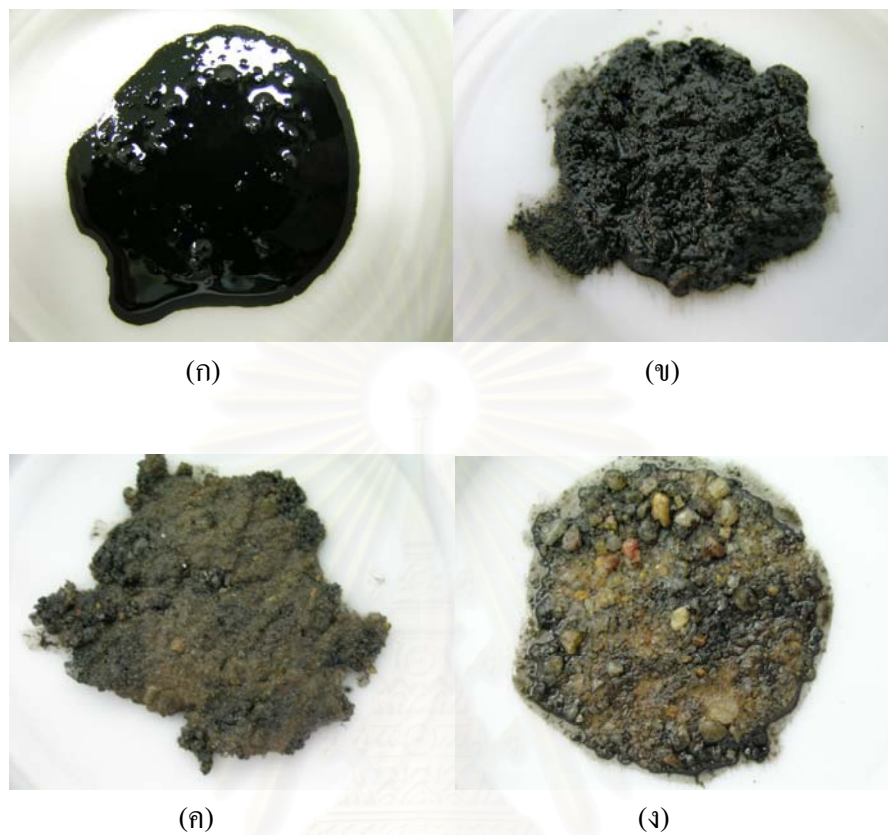
ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลายหลังการล้างดินตัวอย่างปนเปื้อนน้ำมัน
เครื่องใช้ด้วยสารลดแรงตึงผิวหลังการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 5 และ 10

สารชะล้าง	ความเข้มข้น (ซีเอ็มซี)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5	ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10
Dowfax-8390	1	112.48	537.98
	2	412.63	506.35
	5	511.23	623.77
	10	792.47	893.03
Triton X-100	1	160.07	174.01
	2	242.73	362.06
	5	615.73	858.30
	10	767.98	1,247.45
น้ำกลั่น		439.74	79.88

หลังจากผ่านการล้างดินด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์โดยไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นครั้งที่ 2 และ 3 ตามลำดับจากตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณสังกะสีที่ล้างออกเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นแล้วทำให้ปริมาณสังกะสีที่คงเหลือเท่ากับ 438.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ลักษณะดินที่ผ่านการล้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.20 และร้อยละของสังกะสีที่ล้างออกหลังจากการล้างดิน 3 ครั้งเท่ากับ 87.44 ดังรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสังกะสีที่กำจัดได้และที่คงเหลือในดินหลังการล้างดิน

จำนวนการล้าง	สังกะสีที่ล้างออกได้ (ส่วนในล้านส่วน)	ร้อยละที่ล้างได้ (%)	ปริมาณสังกะสีที่คงเหลือ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)
1	587.64	42.08	17,796.9
2	1,070.24	76.63	2,447.6
3	1,121.22	87.44	438.4

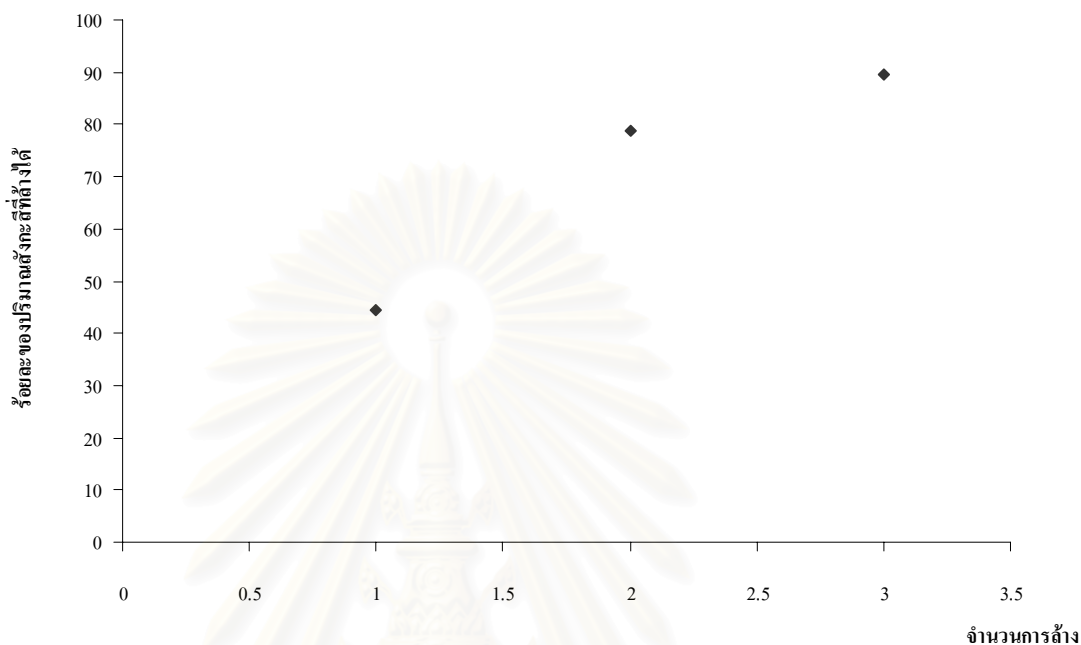


รูปที่ 4.20 ลักษณะดินที่ผ่านการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบด้วยความเข้มข้น 10 เท่าจุด
วิกฤตการเกิดไมเซลล์

(ก) ดินปนเปื้อนน้ำมันเครื่องก่อนการล้างดิน

(ข) ดินที่ผ่านการล้างครั้งแรก (ค) ดินที่ผ่านการล้างครั้งที่ 2 และ (ง) ดินที่ผ่านการล้างครั้งที่ 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 ปริมาณสั้งกะสีทั้งหมดที่ไถ้ออกได้ในกรไถ้ดินเทียบกับจำนวนการไถ้

จากรูปที่ 4.21 เห็นได้ว่าการไถ้ออของสั้งกะสีในการไถ้ทั้ง 3 ครั้งนั้น แนวโน้มของกราฟจะค่อนข้างคงที่ นั่นคือถ้าไถ้ดินในครั้งต่อไปปริมาณสั้งกะสีที่ไถ้ออได้จะมีปริมาณน้อย หรือเพิ่มขึ้นจากเดิมไม่มาก ดังนั้นจึงไม่ทำการไถ้ดินต่อ และสั้งกะสีที่ยังคงเหลือบนเปื้อนในดินคือ 438.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินนั้นไม่เหมาะสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม แต่ก็ไม่เป็นอันตรายกับพื้นที่สำหรับที่อยู่อาศัย (ภาคผนวก ข)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการล้างดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องใช้แล้วด้วยสารลดแรงตึงผิว 2 ประเภทคือ สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบ (Dowfax 8390) และประเภทไม่มีประจุ (Triton X-100) โดยใช้ความเข้มข้น 1 2 5 และ 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ที่สภาวะปกติและปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง สรุปได้ว่า

1. สารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบสามารถล้างสังกะสีออกได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ โดยสังกะสีที่ล้างออกได้ในการล้างดินที่มีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 1,396.59 ส่วนในล้านส่วน (ไม่รวมปริมาณสังกะสีในดิน) ที่ความเข้มข้น 10 เท่าความเข้มข้นจุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ในการล้างครั้งแรกเท่ากับร้อยละ 42.08 ส่วนปริมาณสังกะสีที่ล้างออกได้เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุเท่ากับร้อยละ 37.76 เห็นได้ว่าสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ประเภท สามารถล้างสังกะสีออกได้ดีใกล้เคียงกัน อันเนื่องมาจากคุณสมบัติการเพิ่มการละลายน้ำของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงทำให้สังกะสีที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนในน้ำมันเครื่องละลายออกมาด้วย เมื่อผ่านการล้างดิน 3 ครั้งสังกะสีที่ล้างออกได้ร้อยละ 87.44

2. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวจะส่งผลถึงการกำจัดสังกะสีที่เพิ่มด้วย เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นรวมไปถึงการเพิ่มจำนวนไมเซลล์ในสารละลาย ทำให้การทำงานของสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. การปรับค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อสังกะสีที่ล้างออกได้ ซึ่งบัพเฟอร์ที่เติมลงไปเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนั้นอาจรบกวนการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลหรือการจับกับส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว ทำให้ผลที่ได้ออกมาไม่ดีเท่ากับสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

4. ดินตัวอย่างไม่สามารถดูดซับสังกะสีในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วไว้ได้หมด เนื่องจากลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทรายที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย และสังกะสีที่มีในน้ำมันเครื่องเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจึงทำให้ยังคงมีสังกะสีที่อยู่ในส่วนน้ำมันเครื่องที่อยู่ปกคลุมผิวหน้าดิน

ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว มิใช่จะเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนเสมอไป เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ ลักษณะสารลดแรงตึงผิวจะมีความหนืดสูงจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในการปฏิบัติงานโดยตรง จึงควรมีการศึกษาครั้งต่อไปถึงการทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้งานเพื่อทราบถึงปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวกำจัดสารปนเปื้อนนั่นๆ ให้ได้การกำจัดสูงสุด

2. ดินที่มีการปนเปื้อนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือสารประกอบไม่มีขั้วนั้นเหมาะที่จะใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดสารปนเปื้อน โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ใช้นั้นอาจไม่ใช่ประเภทเดียวในการปฏิบัติงานซึ่งมีการใช้สารลดแรงตึงผิวผสม 2 ชนิดก็อาจสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนได้หรืออาจนำสารลดแรงตึงผิวผสมกับสารเคมีอื่นไม่ว่าจะเป็น สารคีเลตต่างๆ ก็อาจกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ได้เช่นกัน

3. ควรมีการศึกษาในครั้งต่อไป ในกรณีของตัวแปรที่มีผลต่อสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมีส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นที่จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของสารลดแรงตึงผิว

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติ เอกอำพน. 2522. การดูดซึมและกระจายของตะกั่วและสังกะสีในพืชผักบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จตุรพร บ้านแก่ง. 2539. ผลของสารเซอร์แฟคแทนต์ต่อการสกัดไอออนเชิงซ้อนของสังกะสีจากน้ำมันหล่อลื่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เจลิยว แจ้งไพโร, ธีรยุทธ จิตต์จำนงค์, ชาลี นาวานูเคราะห์ และสุวณี ศรีธวัช ณ.อยุธยา. 2525. การจำแนกและกำหนดดัชนีดินในภาคกลางของประเทศไทย. ผลการศึกษาและวิจัย เอกสารทางวิชาการ. ฉบับที่ 34 ตุลาคม. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ธำรง โชตะมังสะ. 2521. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ศึกษานุกูลการพิมพ์
- นิพนธ์ ซ่อพกา และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. 2526. การจำแนกและกำหนดดัชนีดินในภาคเหนือของประเทศไทย. ผลการศึกษาและวิจัย เอกสารทางวิชาการ. ฉบับที่ 42 มกราคม. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- บุญญะ เผ่าศรีทองคำ, วุฒิชชาติ สิริช่วยชู, สุจิรา สุวรรณสถิตกุล และสุวณี ศรีธวัช ณ.อยุธยา. 2525. การจำแนกและกำหนดดัชนีดินในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ผลการศึกษาและวิจัย เอกสารทางวิชาการ. ฉบับที่ 36 พฤศจิกายน. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์, ปานเพชร ชินินทร. 2536. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
- ปราโมทย์ เหมศรีชาติ. 2526. การจำแนกและกำหนดดัชนีดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. ผลการศึกษาและวิจัย. เอกสารทางวิชาการ. ฉบับที่ 37 มกราคม. กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- วิภาวดี โสมเกษตรินทร์. 2534. ผลของแคดเมียมและสังกะสีต่อการทำงานของไมโตรคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สันติ บุญฟ้าประทาน. 2525. ผลของแคดไมโอออนของแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดธาตุเหล็กในพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาพฤกษศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- แสวง บุญญาสวัสดิ์. 2543. แนวทางการแก้ไขน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. เอกสารประกอบการสัมมนา ผลของการรณรงค์การอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร.
- อมรา จันทราภานนท์. 2522. โภชนศาสตร์และโภชนบำบัด. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยพิทยา

ภาษาอังกฤษ

- Abdul, S.A., Bibson, T.L., and Rai, D.V. 1990. Selection of Surfactants for the Removal of Petroleum Products from Shallow Sandy Aquifers. Ground Water 28: 920-926
- Amber, J.E., Brown, J.C., and Gaugh, H.G. 1970. Effect of Zinc on Translocation of Iron in Soybean Plants. Plant Physiology 46: 620-323
- ASTM D 422-63. 1995. Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard, 04.08 Section 4: 10-16
- ASTM D 4972-95a. 1995. Standard Test Method for pH of Soil American Society for Testing and Material. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard, 04.09 Section 4: 27-29
- Bernadin, F.E. 1976. Selecting and Specifying Activated-Carbon-Adsorption System. Chemical Engineering 83: 77-82
- Beyer, W.N., and Gish, C.D. 1980. Persistence in Earthworms and Potential Hazards to Birds of Soil Applied DDT, Dieldrin and Heptachlor. The Journal of Applied Ecology 17: 295-307
- Bohn, H., Mcneal, B.L., and O'Connor G.A. 1979. Soil Chemistry. John Wiley&Sons
- Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soil. 8th. New York. Macmillan

- Candida, C.W. and Jeffrey, H.H. 1999. Surfactants and Subsurface Remediation. Environmental Science and Technology 26: 2324-2330
- Cary, T.C., Susan, E.M., and Daniel, E.K. 1998. Partition Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Soil and Sediments. Environmental Science and Technology 32: 264-269
- Catherine, N.M., Raymond, N.Y., Bernard ,F.G., Susan J. and Bennett, H.P.J. 1999. Metal Removal from Contaminated Soil and Sediments by Biosurfactant Surfactin. Environmental Science and Technology 33: 3812-3820
- Chu, W. 2003. Remediation of Contaminated Soils by Surfactant-Aided Soil Washing. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management. 7:19-24
- Clunie, J.S., and Ingram, B.T. 1983. Adsorption of Nonionic Surfactants, in Adsorption from Solution at Solid/Liquid Interface. Parfit, G.D., and Rochester, C.H., (Editor), Academic Press. London.
- Dipak, S. and James A.S. 1997. Enhanced Trichloroethene Desorption for Long-Term Contaminated Soil Using Triton X-100 and pH Increase. Environmental Science and Technology 31: 1910-1915
- Edward, D.A., Luthy, R.G. and Liu, Z. 1991. Solubilization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Micellar Nonionic Surfactant Solution. Environmental Science and Technology 25: 127-133
- Eric, G.L. 1996. Amphoteric Surfactants, 2nd. Marcel Dekker, Inc . New York, Basel and Hong Kong
- Grimmett, R.E.R., McIntosh, I.G. Wall, E.M. and Hopkirk, C.S. 1937. Agr 54: 216-223 อ้างอิงใน วิกิาวดี โสมเกษตรินทร์. 2534. ผลของแคตเมียมและสังกะสีต่อการทำงานของไมโตรคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Ick, T.Y., Mriganka, M.G., and Chris, D.C. 1996. Kinetic Aspects of Surfactant Solubilization of Soil-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Science and Technology 30:1589-1595
- Mark, A.S., and James, J.M. 1993. Effects of Aqueous Chemistry on Binding of Poly Aromatic Hydrocarbons by Dissolved Humic Material. Environmental Science and Technology 27: 961-969
- Martin, J.S. 1987. Nonionic Surfactant: Physical Chemistry. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel

- Mueller Associated, Inc. 1989. Waste Oil: Reclaiming Technology, Utilization and Disposal. New Jersey, NOYES DATA CORPORATION.
- Rosen, J.A., Pike, C.S. and Golden, M.L. 1977. Zinc, Iron and Chlorophyll Metabolism in Zinc Toxic Corn. Plant Physiology 59: 1085-1087
- Rosen, M.J. 1989. Surfactant and Interfacial Phenomena. 2nd. John Wiley & Sons.
- Ruey-An, D., Ya-Wen, W. and Wen-Gang, L. 1998. Surfactant Enhanced Remediation of Cadmium Contaminated Soils. Water Science Technology 37: 65-71
- Stephen, A.B., and Shaobai, S. 1990. Residual Petroleum and Polychlorobiphenyl Oils as Sorptive Phases for Organic Contaminants in Soil. Environmental Science and Technology 24: 142-144
- Thirumalai, N.B., David, A.S., Bor-Jier, S. and Jeffrey, H.H. 1996. Surfactant Enhanced Remediation of Subsurface Chromium Contamination. Water Resource 30: 511-520
- Tom Veiros and Bala Krishnan. 2001. Surfactant-Enhanced Treatment of Oil-Contaminated Soil and Oil-Based Drill Cutting. U.S.EPA Final Report Grant Number R827015-01-0, Environmental Research Laboratory, U.S.EPA, University of Oklahoma
- Underwood, W.J. 1971. Trace Elements in Human and Animal Nutrient. New York: Academic Press
- U.S. EPA Method 3051. 1998. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludge, Soils and Oils. U.S. Environmental Protection Agency
- U.S. EPA Method 9081. 1998. Cation-Exchange Capacity of Soils (Sodium Acetate). U.S. Environmental Protection Agency



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ASTM D 422-63

Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils

เป็นวิธีที่ครอบคลุมถึงการหาปริมาณของขนาดอนุภาคที่กระจายในดิน โดยขนาดที่ใหญ่กว่า 75 ไมโครเมตร หาโดยการร่อนดินผ่านตะแกรง (Sieving) สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร หาโดยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

วิธีการทดลอง*Sieve Analysis of Portion Retained on No. 200*

1. ชั่งดิน 50 กรัม สำหรับดินประเภทดินเหนียว (Clay) นำดินผึ่งให้แห้ง
2. ชั่งน้ำหนักของตะแกรงทุกขนาด ซึ่งตะแกรงที่ใช้มีดังนี้ เบอร์ 8, 10, 20, 40, 50, 100 และ 200
3. นำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ โดยเริ่มที่ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิดมากที่สุดและเรียงขนาดช่องเปิดจนถึงขนาดเล็กที่สุดคือ เบอร์ 200 ร่อนโดยใช้เครื่องร่อนดิน
4. ชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ บันทึกผลการทดลอง

Hydrometer Test

1. ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ปริมาณ 50 กรัม (สำหรับดินทรายใช้ปริมาณ 100 กรัม)
2. เตรียมสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตทาฟอสเฟตความเข้มข้น 40 กรัมต่อลิตร
3. ใส่ดินลงในภาชนะ (beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตทาฟอสเฟต ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที
4. ใส่ส่วนผสมที่เข้ากันแล้วลงในบีกเกอร์ทรงกระบอกสูงขนาด 1000 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นจนถึงปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ตั้งบีกเกอร์ทรงกระบอกไว้ในที่ไม่เกิดการกระทบกระเทือนได้ง่าย
5. อ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลา 0.25, 0.5 และ 2 นาที
6. เขย่าบีกเกอร์ทรงกระบอกอีกครั้ง จากนั้นอ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์ เมื่อเวลา 2, 5, 15, 30, 60, 250 และ 1440 นาที บันทึกผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับ Sieve Analysis of Portion Retained on No. 200

ค่าที่ได้จากการทดลอง เขียนกราฟระหว่างร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรงแต่ละเบอร์กับ ตะแกรง

สำหรับ Hydrometer Test ค่าที่ได้จากการทดลอง นำมาแทนค่าใน สมการ

$$D = k_2 (Z_r/t)^{1/2}$$

โดยที่ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค, มิลลิเมตร

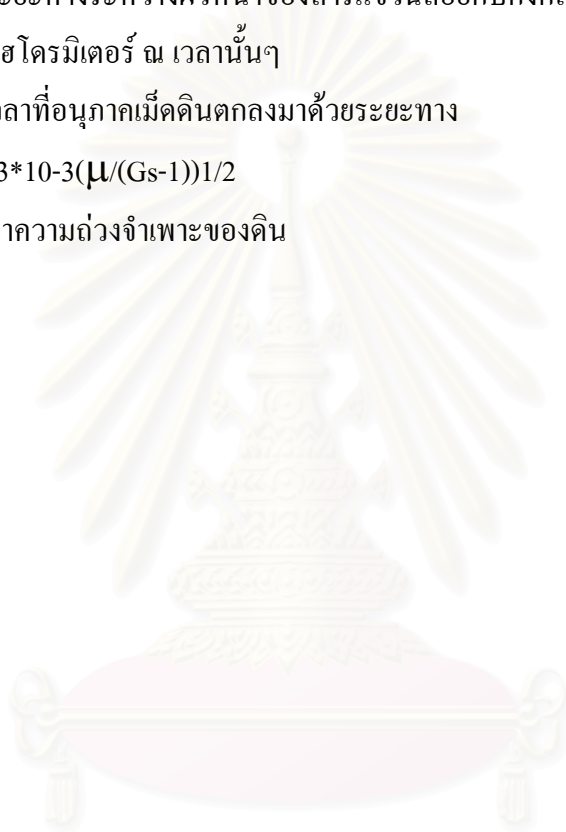
Z_r คือ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของสารแขวนลอยกับกึ่งกลาง

ของไฮโดรมิเตอร์ ณ เวลานั้นๆ

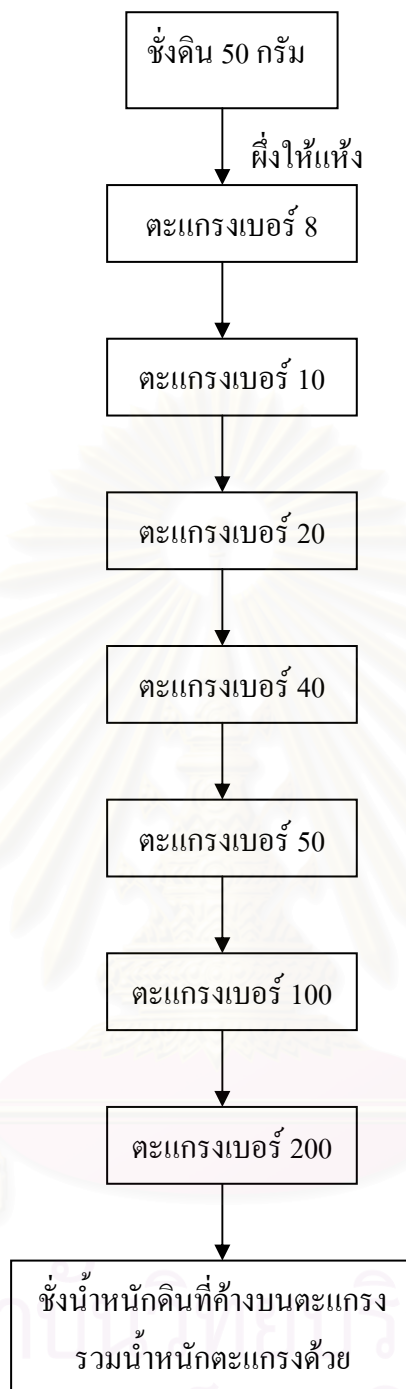
t คือ เวลาที่อนุภาคเม็ดดินตกลงมาด้วยระยะทาง

$$k_2 = 5.53 \cdot 10^{-3} (\mu / (G_s - 1))^{1/2}$$

μ คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-1 การดำเนินการตามวิธีการของ ASTM D 422-63

โดยเป็นวิธีการหาแบบ Sieve Analysis of Portion Retained on No. 200



รูปที่ ก-2 การดำเนินการตามวิธีการของ ASTM D 422-63

โดยเป็นวิธีการหาแบบ Hydrometer Test

ASTM D 4972-95a

Standard Test Method for pH of Soil

วิธีการนี้ครอบคลุมถึงการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของดินสำหรับใช้ทดสอบในการเกษตร, ในสิ่งแวดล้อม และแหล่งธรรมชาติต่างๆ โดยวัดความเข้มข้นของกรดหรือด่างในดินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหรือสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ โดยใช้พีเอชมิเตอร์ ดินที่ใช้ในการวิธีการนี้ต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เนื่องจากอนุภาคที่ใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตรจะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน

วิธีการดำเนินงาน

1. เทียบวัดเครื่องพีเอชมิเตอร์ไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนก่อนการใช้งานทุกครั้ง
2. นำดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ฝั่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เพื่อควบคุมจำนวนน้ำในขณะที่ทำการวัด
3. อัตราส่วนดินตัวอย่าง ต่อ น้ำกลั่น คือ 1 ต่อ 10 ผสมให้เข้ากัน ปล่อยให้ไว้ 1 ชั่วโมง
4. อ่านค่าความเป็นกรด-ด่าง จากเครื่องพีเอชมิเตอร์
5. ดินตัวอย่าง 10 กรัม เติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปล่อยให้ไว้ 1 ชั่วโมง
6. อ่านค่าความเป็นกรด-ด่าง จากเครื่องพีเอชมิเตอร์



รูปที่ ก-3 การดำเนินการตามวิธีการของ ASTM D 4972-95a Standard Test Method for pH of Soil

EPA Method 3051

Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludge, Soils and Oils

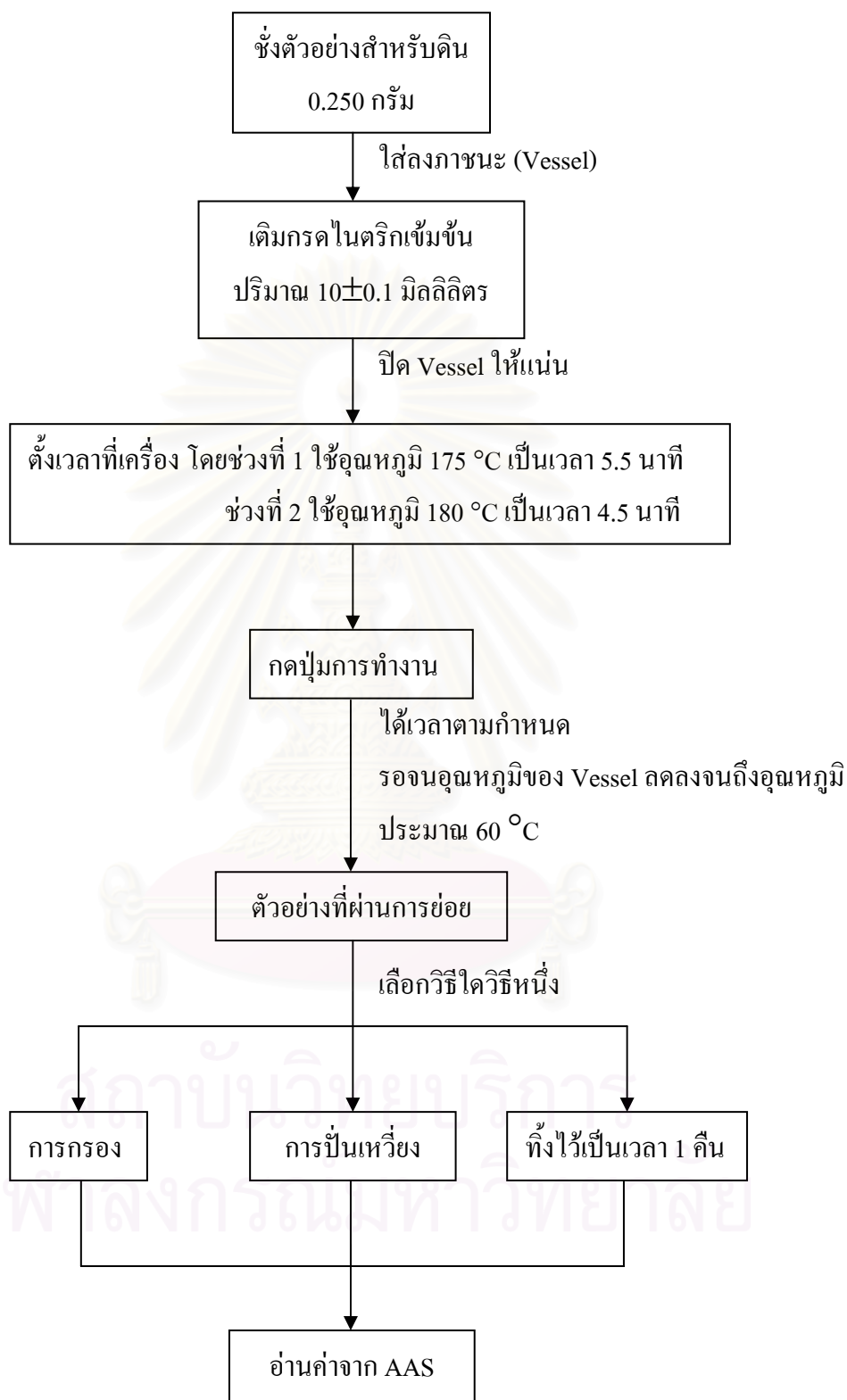
วิธีการนี้ใช้เครื่องไมโครเวฟและกรดเพื่อช่วยย่อยตะกอน, ดินตะกอน, ดิน และน้ำมัน เพื่อหาธาตุต่างๆ ดังนี้

อะลูมิเนียม	แคดเมียม	เหล็ก	โมลิบดีนัม	โซเดียม
แอนติโมนี	แคลเซียม	ตะกั่ว	นิกเกิล	สตรอนเตียม
สารหนู	โครเมียม	แมงกานีส	โพแทสเซียม	ทอลเลียม
โบรอน	โคบอลต์	แมกนีเซียม	เซเลเนียม	วานาเดียม
แบเรียม	ทองแดง	ปรอท	เงิน	สังกะสี

การย่อยโดยวิธีนี้เหมาะเตรียมตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์โดย เครื่อง Flame Atomic Absorption (FLAA), Graphite Furnace Atomic Absorption (GFAA), Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy (ICP-AES) และ Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS)

วิธีการดำเนินงาน

1. ชั่งตัวอย่างสำหรับดิน, ตะกอน, ดินตะกอน ใช้ปริมาณ 0.50 กรัม และสำหรับน้ำมัน ใช้ปริมาณ 0.250 กรัม ใส่ลงภาชนะเฉพาะสำหรับเครื่องไมโครเวฟ (Vessel)
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาณ 10 ± 0.1 มิลลิลิตร ในที่ที่มีเครื่องดูดอากาศ (Hood) ปิด Vessel ด้วยจุกที่มีความหนาที่ใช้สำหรับเครื่องไมโครเวฟ ปิดให้แน่น
3. ตั้งเวลาที่เครื่อง โดยช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 5.5 นาที
ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 4.5 นาที
5. กดปุ่มการทำงาน
6. เมื่อได้เวลาตามที่กำหนด รอจนอุณหภูมิของ Vessel ลดลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 60°C
7. เปิด Vessel ในที่ที่มีเครื่องดูดอากาศ (Hood)
8. นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยมาผ่านกระบวนการที่ทำให้ตัวอย่างใส โดยสามารถใช้วิธีการกรอง, การปั่นเหวี่ยง หรือการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน
9. นำตัวอย่างที่ใสแล้วหาความเข้มข้นของสังกะสี โดยใช้เครื่อง AAS



รูปที่ ก-4 การดำเนินการตามวิธีการของ EPA Method 3051

Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludge, Soils and Oils

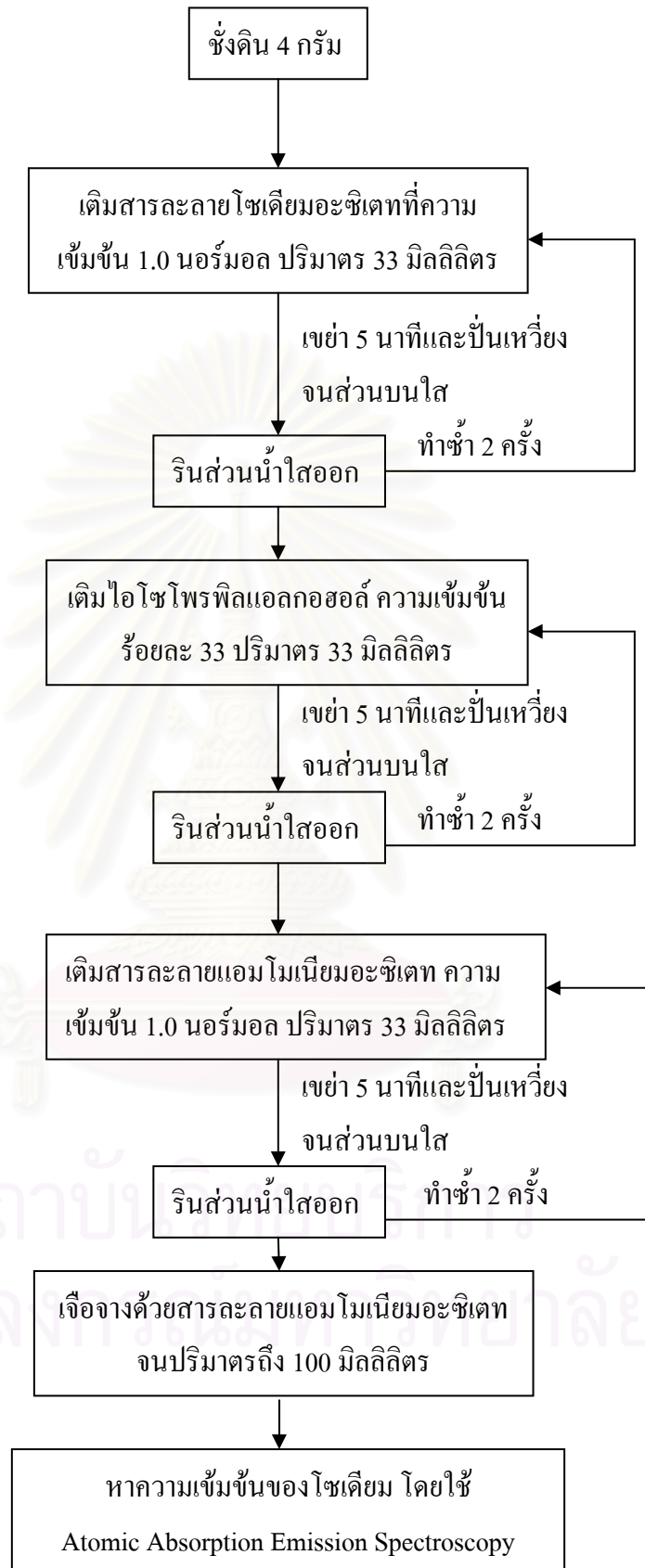
EPA Method 9081

Cation-Exchange Capacity of Soils (Sodium Acetate)

วิธีการนี้เหมาะกับดินส่วนมาก ซึ่งอาจจะเป็นดินที่ประกอบไปด้วยหินปูนหรือไม่ก็ตาม ดินตัวอย่างจะถูกผสมกับสารละลายโซเดียมอะซิเตท ผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยนประจุบวกของโซเดียม หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกล้างด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) และใส่สารละลายโซเดียมอะซิเตท เพื่อแทนที่โซเดียมที่ถูกดูดซับด้วยแอมโมเนียม ความเข้มข้นของโซเดียมที่ถูกแทนที่หาได้จาก Atomic Absorption Emission Spectroscopy

วิธีการทดลอง

1. ชั่งดิน 4 กรัม ในกรณีดินมีอนุภาคค่อนข้างละเอียด-ปานกลาง แต่ถ้าดินมีอนุภาคหยาบต้องใช้ 6 กรัม ใส่ลงในขวดสำหรับเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร (ดินอนุภาคละเอียดคือ ดินที่มีอนุภาคขนาด 0.074 มิลลิลิตร มากกว่าร้อยละ 50, ดินอนุภาคปานกลางคือ ดินที่มีอนุภาคขนาด 0.425 มิลลิลิตร มากกว่าร้อยละ 50 และดินอนุภาคหยาบคือ ดินที่มีอนุภาคขนาด 2 มิลลิลิตร มากกว่าร้อยละ 50)
2. เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทที่มีความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล ปริมาตร 33 มิลลิลิตร เขย่าโดยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงจนส่วนบนเป็นส่วนใส (supernatant)
3. รินส่วนน้ำใสออกและทำซ้ำข้อ 2 อีก 3 ครั้ง
4. เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 33 ปริมาตร 33 มิลลิลิตร เขย่าโดยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงจนส่วนบนเป็นส่วนใส (supernatant) ทำข้อ 4 ซ้ำ 2 ครั้ง
5. เติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล ปริมาตร 33 มิลลิลิตร เขย่าโดยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงจนส่วนบนเป็นส่วนใส (supernatant) รินส่วนน้ำใสออก ทำข้อ 6 ซ้ำ 2 ครั้ง
6. เจือจางส่วนผสมจากการล้างจนถึงปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท และหาความเข้มข้นของโซเดียมโดยใช้ Atomic Absorption Emission Spectroscopy



รูปที่ ก-5 การดำเนินการตามวิธีการของ EPA Method 9081 Cation-Exchange Capacity of Soils (Sodium Acetate)

Walkley-Black Method

วิธีการทดลอง

1. ชั่งดินแห้งหนัก 0.1-2.00 กรัม กรณีดินที่มีสารอินทรีย์น้อย (light colored soils) ชั่งดิน 2 กรัม และดินที่มีสารอินทรีย์มากชั่ง 0.1 กรัม โดยตัวอย่างที่ชั่งนั้นควรประกอบด้วยสารอินทรีย์คาร์บอน ประมาณ 10 ถึง 25 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติม $K_2Cr_2O_7$ ความเข้มข้น 0.167 โมลลาร์ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นอีก 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันพยายามมิให้อุณหภูมิติดกับขอบของขวด
4. ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีโดยขวดรูปชมพู่ควรวางไว้ใน insulation pad ระหว่างการทดลองเพื่อป้องกันมิให้ความร้อนหายไปอย่างรวดเร็ว
5. เจือจางส่วนน้ำใส (suspension) ด้วยน้ำปริมาณ 200 มิลลิลิตรเพื่อเตรียมส่วนที่แวนลอยอยู่ชัดเจนขึ้นจนถึงจุดสุดท้าย (endpoint)
6. เติม H_3PO_4 ความเข้มข้น 85% ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และ NaF 0.2 กรัม ทั้ง H_3PO_4 และ NaF เติมเพื่อจับกับ Fe^{3+} จะได้ไตรเตรท (titration) ถึงจุดสุดท้าย (endpoint)
7. เติม ferroin indicator 10 หยด ซึ่งการเติมนั้นควรเติมก่อนการไตรเตรท (titration) เพื่อป้องกันการดูดติดบนผิวหน้าอนุภาคดินเหนียว
8. จากนั้นไตรเตรท (titration) ด้วย Fe^{2+} ความเข้มข้น 0.5 โมลลาร์ จนถึง จุดสุดท้าย (endpoint) สีของสารละลายตอนเริ่มต้นนั้นเป็นสี เหลืองส้ม ถึง เขียวเข้ม ขึ้นอยู่กับจำนวนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับ $Cr_2O_7^{2-}$ ก่อนถึงจุดสุดท้าย (endpoint) จะเปลี่ยนเป็นสีเทาขุ่น จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีแดงอย่างรวดเร็วเมื่อถึงจุดสุดท้าย (endpoint) การใช้แม่เหล็กช่วยกวนผสม (magnetic stirrer) จะช่วยทำให้เห็นสีสุดท้ายง่ายมากขึ้นกรณีที่อยู่ในระบบมีความขุ่น
9. ใช้สารละลาย (reagent blank) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบโดยไม่ใช้ดินและทำตามขั้นตอน 1 ถึง 7 โดยสารละลาย Fe^{2+} ที่ใช้นั้นควรใช้ภายในวันเดียว
10. การคำนวณ ร้อยละของคาร์บอนและ สารอินทรีย์

ก. % Easily Oxidizable Organic C

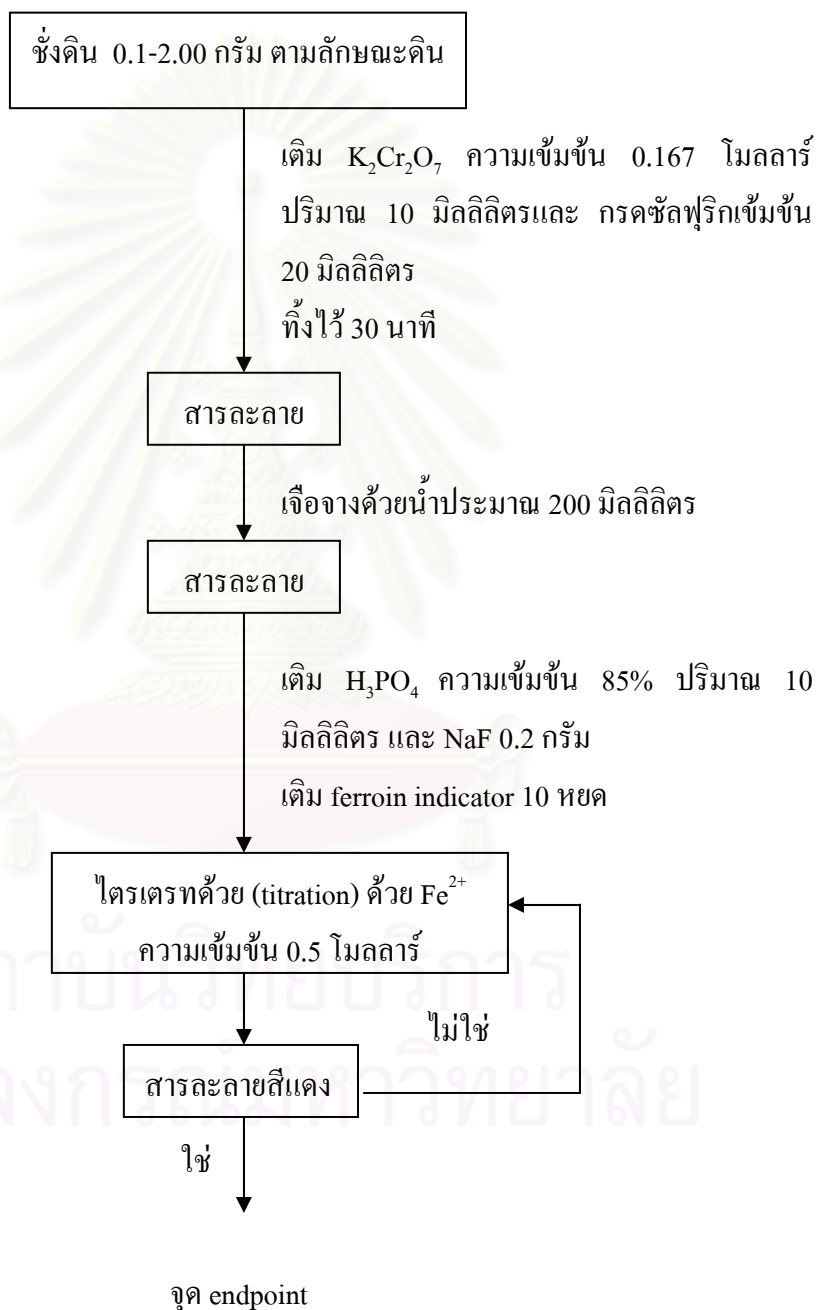
$$\%C = \frac{(B-S) \times M \text{ of } Fe^{2+} \times 12 \times 100}{g \text{ of soil} \times 4000}$$

โดยที่ B = จำนวนของสารละลาย Fe^{2+} ที่ใช้ในการไตรเตรทสารละลายเปรียบเทียบ (blank), มิลลิลิตร

S = จำนวนของสารละลาย Fe^{2+} ที่ใช้ในการไตรเตรทสารละลายตัวอย่าง, มิลลิลิตร

แปลงค่าที่ได้จาก ข้อ(a) ให้เป็น ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดโดยหารด้วย 0.77 (หรือคูณด้วย 1.30) หรือด้วยวิธีการทดลองหา correction factor จากนั้นนำค่า ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดมาหาปริมาณสารอินทรีย์ ตามสมการ

$$\% \text{ Organic Matter} = \frac{\% \text{ total C} \times 1.72}{0.58}$$



รูปที่ ก-6 การดำเนินการตามวิธีการของ Walkley-Black Method



ภาคผนวก ข

ระดับเกณฑ์โลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ระดับเกณฑ์พื้นฐานที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย

ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินบน (0-15 เซนติเมตร) จำนวน 318 ตัวอย่างจากบริเวณที่ทำการเกษตรโดยหลีกเลี่ยงพื้นที่เสี่ยงที่จะเกิดการปนเปื้อนสูงเช่น บริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ บริเวณใกล้ชุมชน และบริเวณที่นำของเหลือใช้มาทิ้ง จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้มาวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักต่างๆและได้ใช้ค่าปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดที่ตำแหน่ง 95th percentile เป็นค่าระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทยดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดินประเทศไทย

โลหะหนัก	ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
สารหนู	30
แคดเมียม	0.15
โคบอลต์	20
โครเมียม	80
ทองแดง	45
ปรอท	0.1
นิกเกิล	45
ตะกั่ว	55
สังกะสี	70

ที่มา: กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับสำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศแคนาดาและออสเตรเลีย ดัง
ตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม

ประเทศ	ปริมาณสังกะสีในดินสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
¹ แคนาดา	200*
² ออสเตรเลีย	200*

ที่มา: The Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) และ
National Environment Protection (Assessment of Site Contamination)

* ปริมาณสังกะสีที่เป็นพิษต่อพืช

ตาราง ข-4 ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับสำหรับพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่ไม่อยู่อาศัย

เมือง	ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับสำหรับ พื้นที่อยู่อาศัย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)	ปริมาณสังกะสีที่ยอมรับสำหรับ พื้นที่ไม่อยู่อาศัย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน)
New Jersey	1,500	1,500
Maryland	2,300	6,200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹The Canadian Council of Ministers of The Environment. "Contaminated Sites Cleanup Criteria"[Online].2002. Available from: http://www.ccme.ca/assets/pdf/e1_062.pdf[2003, March 12]

²Nation Environment Protection (Assessment of Site Contamination). "Schedule B(1): Guideline on the Investigation Levels for Soil and Groundwater"[Online]. 1999. Available from: http://www.ephc.gov.au/pdf/cs/cs_01_inv_levels.pdf[2003, March 20]



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการกระจายขนาดดินที่ใช้ในการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลลักษณะการกระจายขนาดดินชนิดที่ 1 (Grain Size Distribution)

Sieve No.	Weight1	Weight2	W1-W2	%Pass	Diameter (mm.)
8	406.1	435.4	29.3	94.20	2.36
10	530.7	542.8	12.1	91.81	2
20	491.2	620.5	129.3	66.21	0.85
40	315.5	479.1	163.6	33.83	0.425
50	300.5	364.1	63.6	21.24	0.3
100	280.5	342.7	62.2	8.93	0.015
200	268.9	300	31.1	2.77	0.0075
PAN	265	279	14		
รวมน้ำหนักดินทั้งหมด			505.2		

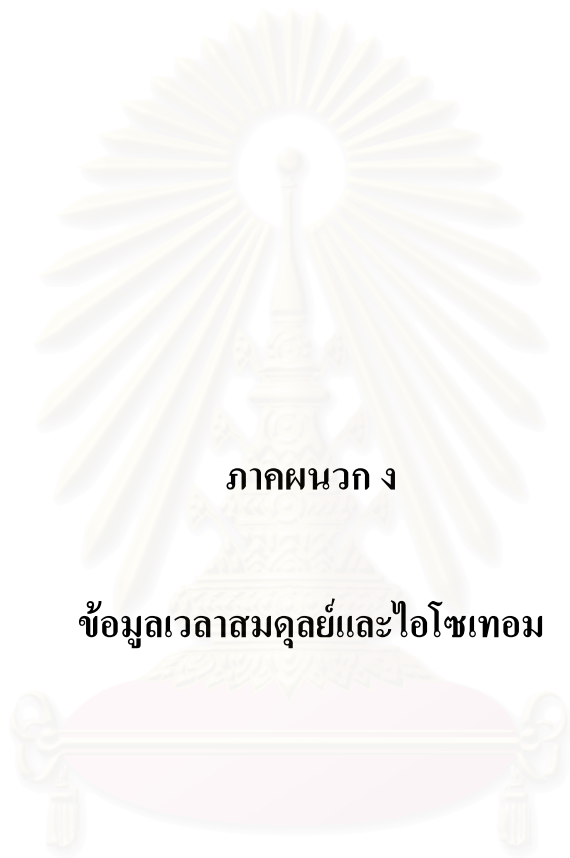
ตารางที่ ก-2 ข้อมูลลักษณะการกระจายขนาดดินชนิดที่ 2

Date	Elapsed Time(min)	Li	R	Temp (°C)	R-R _w	N	Z _r	(Z _r /t) ^{1/2}	D (mm.)
3/24/2546	0.5	21.6	23	25	28	88.676	14.35	5.357	0.0729
	2	23.3	12		17	53.839	16.05	2.833	0.0385
	4	24.15	7		12	38.004	16.9	2.055	0.0279
	8	24.5	5		10	31.67	17.25	1.468	0.0199
	10	24.65	4		9	28.503	17.4	1.319	0.0179
	12	24.65	4		9	28.503	17.4	1.204	0.0164
	15	24.65	4		9	28.503	17.4	1.077	0.0146
	25	25	2		7	22.169	17.75	0.842	0.01146
	45	25	1		6	19.002	17.75	0.628	0.00854
	80	24	0		5	15.835	16.75	0.458	0.00622
	120	24	0		5	15.835	16.75	0.374	0.00508
	200	24	0		5	15.835	16.75	0.289	0.00394
3/25/1946	1220	25.35	-1	4	12.668	18.10	0.122	0.00166	
3/26/2546	2700	25.35	-1	4	12.668	18.10	0.082	0.00111	
3/27/2546	4284	25.35	-1	4	12.668	18.10	0.065	0.00088	

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลลักษณะการกระจายขนาดดินชนิดที่ 3

Date	Elapsed Time(min)	Li	R	Temp (°C)	R-R _w	N	Z _r	(Z _r /t) ^{1/2}	D (mm.)
3/22/2546	0.5	17.9	44	25	49	93.110	10.65	4.615	0.0627
	1	18.1	43		48	91.210	10.85	3.294	0.0448
	2	18.9	38		43	81.709	11.65	2.414	0.0328
	4	19.7	33		38	72.208	12.45	1.764	0.0239
	8	20.1	31		36	68.407	12.85	1.267	0.0172
	16.5	20.3	29		34	64.607	13.05	0.889	0.0121
	25	20.7	27		32	60.806	13.45	0.733	0.0099
	45	21	25		30	57.006	13.75	0.553	0.0075
	60	21.1	24		29	55.106	13.85	0.480	0.0065
	120	21.5	22		27	51.305	14.25	0.345	0.0047
	210	21.8	20		25	47.505	14.55	0.263	0.0036
3/22/2546	1230	22.5	16	21	39.904	15.25	0.111	0.0015	
3/23/2546	2600	21.5	15	20	38.004	14.25	0.074	0.0011	
3/24/2546	4100	21.5	15	20	38.004	14.25	0.059	0.0008	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ข้อมูลเวลาสมดุขยและไอโซเทอม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลสำหรับการหาเวลาสมมูลย์ของสังกะสีในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว
กับดินตัวอย่าง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นสังกะสีในของเหลว (ส่วนในล้านส่วน)
25.30	1,035.74
49.10	906.11
73.30	850.55
120.00	824.63
139.00	743.14
165.00	646.85
384.50	635.74
553.00	628.33

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลเวลาสมมูลของ Trion X-100 บนดินตัวอย่าง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นสมมูลของ Trion X-100 ในสารละลายหลังการเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นสมมูลของ Trion X-100 ในสารละลายหลังการเขย่า (มิลลิโมล/ลิตร)
5	89.5630	0.1386
9.5	73.6545	0.1140
27.5	60.2414	0.0933
51	35.6871	0.0552
75	15.9675	0.0247
98	5.3987	0.0084
122	5.8974	0.0091
147	5.9552	0.0092
170	6.0142	0.0093
197	5.9654	0.0092
220	6.0178	0.0093
270	6.0217	0.0093
320	6.0158	0.0093

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลเวลาสมมูลย์ของ Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้น Dowfax-8390 ในสารละลายหลังการเขย่า (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้น Dowfax-8390 ในสารละลายหลังการเขย่า (มิลลิโมล/ลิตร)
5	1,236.111	1.922
9.5	1,185.471	1.844
27.5	1,095.557	1.704
51	1,025.272	1.595
75	1,044.387	1.624
98	1,029.754	1.601
122	1,046.985	1.628
147	1,055.397	1.641
170	1,049.637	1.632
197	1,017.693	1.583

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลไอโซโทมการดูดซับของสังกะสีในน้ำมันเครื่องบนดินตัวอย่าง

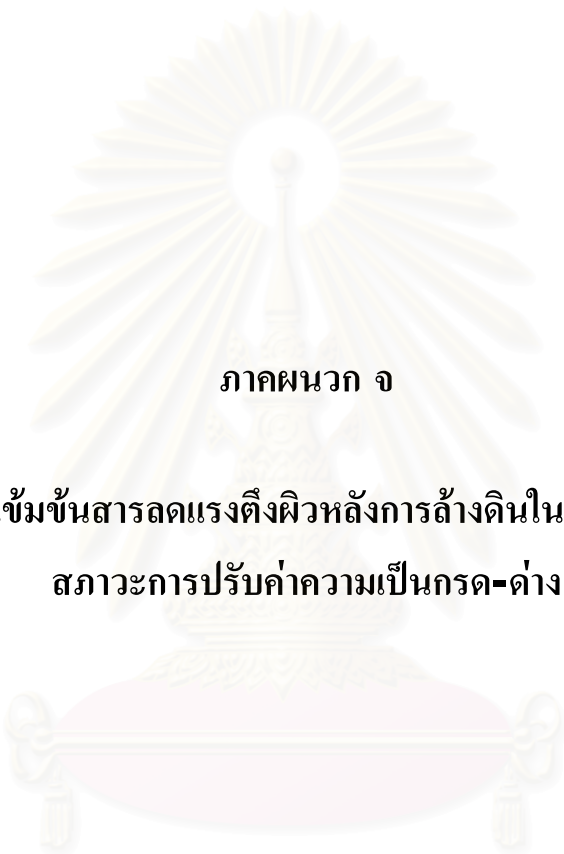
น้ำหนักดิน (กรัม)	ความเข้มข้นสมมูลของสังกะสี (ส่วนในล้านส่วน)	สังกะสีที่ถูกดูดซับบนดิน ($\times 10^{-3}$ โมล/ กรัม ดิน)
0.1	1,180.777	332.37
0.5	1,110.102	160.707
0.253	1,160.561	184.642
0.7	1,055.746	169.513
1.5	1,007.640	99.108
2	988.9007	80.577
5	926.8171	40.509
8	992.4127	19.852
12	882.2959	19.352
16	775.2179	19.169
20	668.7243	18.730
24	611.9837	17.323
25	571.1881	17.585
28	505.6251	17.262

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลไอโซเทอม Trion X-100 บนดินตัวอย่าง

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ค่าความเป็นกรด- ด่างของสารละลาย	ความเข้มข้นที่ สมดุล (มก./ล.)	ค่าความเป็นกรด- ด่างของส่วน ของเหลว	Trion X-100 ที่ถูกดูด ซับ (โมล/กรัม ดิน)
1	5.98	2.1047	6.93	-0.0171
5	5.89	2.1063	6.84	0.044794
10	5.88	2.1603	6.89	0.121358
15	5.96	2.348	6.85	0.195851
20	5.87	2.865	6.95	0.265248
30	5.96	3.552	6.94	0.409412
40	5.87	4.125	6.91	0.555341
60	6.12	4.852	6.79	0.853684
70	6.15	5.1324	6.79	1.004142
80	6.18	5.268	6.78	1.156842
90	6.21	5.128	6.88	1.313808
100	6.18	5.7132	6.94	1.459548
150	6.22	12.364	6.84	2.130588
200	6.20	20.984	6.79	2.771146
300	6.34	41.247	6.84	4.005464
500	6.36	60.6541	6.90	6.80102
700	6.44	82.6972	6.85	9.555771
900	6.58	95.3476	6.91	12.45592
1000	6.62	95.2245	6.79	14.00581
1500	6.89	110.958	7.01	21.5022
2000	6.98	127.985	7.06	28.97856
4000	7.03	142.851	7.17	59.70819
5000	7.21	201.254	7.25	74.28399
7500	7.18	324.658	7.20	111.0734
10000	7.24	458.278	7.35	147.7047
15000	7.31	2182.987	7.25	198.4058
20000	7.39	5855.542	7.45	218.9545
30000	7.44	15039	7.56	231.5945
40000	7.56	25621.69	7.65	222.5745
45000	7.65	30693.45	7.68	221.4636
50000	7.63	35944.89	7.71	217.5714

ตารางที่ ง-6 ไอโซเทอม Dowfax-8390 บนดินตัวอย่าง

ความเข้มข้นเริ่มต้น (มก./ล.)	ค่าความเป็นกรด- ด่างของสารละลาย	ความเข้มข้นที่สมดุลย์ (มก./ล.)	ค่าความเป็นกรด- ด่างของส่วน ของเหลว	Dowfax-8390 ที่ถูก ดูดซับ (มิลลิโมล/กรัม ดิน)
1	7.45	2.067	7.49	0.000017
10	7.44	2.286	7.45	0.00012
30	7.45	20.589	7.49	0.000146
50	7.48	57.896	7.50	-0.00012
100	7.52	99.851	7.55	0.0000232
200	7.64	211.525	7.65	-0.00018
500	7.85	498.635	7.91	0.0000212
650	7.65	648.669	7.68	0.000021
1000	7.65	1055.685	7.68	-0.00087
1500	7.85	1505.541	8.12	-0.000086
1800	8.01	1799.393	8.35	0.000011
2355	8.05	2370.174	8.38	-0.00024
2550	8.24	2669.854	8.50	-0.00186
3100	8.46	3025.572	8.66	0.001158
6000	8.53	3601.652	8.78	0.037299
10000	8.68	10875.383	8.90	-0.01361
20000	8.66	20114.568	8.86	-0.00178
30000	8.71	29989.65	8.90	0.000161
40000	8.55	39875.697	8.61	0.001933
60000	8.59	59978.87	8.67	0.000329
80000	8.58	89542.720	8.78	-0.14841
100000	8.60	106687.406	8.74	-0.104
150000	8.67	149998.356	8.78	0.000026
200000	8.49	169263.141	8.57	0.478023



ภาคผนวก จ

ข้อมูลความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวหลังการล้างดินในสถานะปกติและ
สถานะการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลผลการทดลองหลังการล้างดินด้วยสารชะล้าง

สารชะล้าง	ความเข้มข้น (ซีเอ็มซี)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารละลาย	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเหลว	ปริมาณสังกะสีหลังการล้าง(ส่วนในล้านส่วน)		
				ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	รวม
Dowfax- 8390	1	7.65	7.88	384.31	2.16	386.47
	2	7.78	8.01	462.18	2.66	464.84
	5	8.01	8.11	522.62	4.32	526.94
	10	8.05	8.24	582.79	4.86	588.46
Triton X-100	1	5.89	6.59	342.22	0.87	343.09
	2	6.41	7.52	416.95	1.83	418.33
	5	7.55	7.64	475.68	2.74	478.42
	10	7.68	7.74	522.99	4.40	527.39
น้ำกลั่น		6.58	6.89	27.49	0.58	28.06

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลผลการทดลองหลังการล้างดินโดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

สารชะล้าง	ความเข้มข้น (ซีเอ็มซี)	ปริมาณสังกะสีหลังการล้าง(ส่วนในล้านส่วน)						ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5		ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10	
		ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5			ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10						
		ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	รวม	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	รวม	สารละลาย	ของเหลว	สารละลาย	ของเหลว
Dowfax-8390	1	56.43	0.62	57.05	118.35	0.86	119.21	4.02	5.21	9.85	9.75
	2	59.88	0.85	60.73	159.25	1.13	160.38	4.08	5.28	9.87	9.81
	5	110.63	1.01	111.64	189.15	1.16	190.31	4.05	5.25	9.95	9.88
	10	133.42	1.08	134.50	241.55	1.30	242.85	4.11	5.15	9.79	9.71
Triton X-100	1	47.84	0.25	48.09	91.01	0.28	91.29	4.06	5.21	9.86	9.81
	2	76.83	0.38	77.21	121.28	0.47	121.75	4.05	5.15	9.88	9.85
	5	65.87	0.58	66.45	100.93	0.82	101.75	4.07	5.12	9.95	9.91
	10	86.92	0.79	87.71	145.88	1.10	146.10	4.10	5.05	9.91	9.88
น้ำกลั่น		51.70	1.26	52.96	25.99	0.26	26.25	4.05	4.85	10.01	9.98

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลผลการทดลองหาความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวหลังผ่านการล้างดิน

สารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นหลัง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่หายไป (มิลลิกรัม/ลิตร)
Dowfax-8390	1,929	308	1,621
	3,858	4,987	-
	9,645	15,125	-
	19,290	26,025	-
Triton X-100	155	87	68
	310	136	174
	775	727	48
	1,150	790	360

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-4 ข้อมูลผลการทดลองหาความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวหลังผ่านการล้างดินที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

สารลดแรงตึงผิว	ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5			ค่าความเป็นกรด-ด่าง 10		
	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นหลัง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่หายไป (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นหลัง (มิลลิกรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นที่หายไป (มิลลิกรัม/ลิตร)
Dowfax-8390	1,736	1,519	217	1,147	523	880
	3,086	2,409	677	2,315	2,164	151
	5,787	5,189	598	4,823	4,808	15
	9,645	8,853	792	9,645	9,589	56
Triton X-100	124	53	71	81	30	51
	217	171	46	186	125	61
	453	345	108	388	339	49
	575	487	88	575	678	-

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

น.ส.รุจิเรข จันทร์อำไพ เกิดวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ
ธนบุรี ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย