

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับเสถียรโลหะแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต



นางสาวกิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ
นางสาวภาวิไล ส่งแสง
นางสาวอรวรรณ บุญเพชรแก้ว

รฟ.
ก674ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62147
วันเดือนปี..... 3 1 ก.ค. 2549

บ. 11610190

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stabilization of Cadmium in Contaminated Soil with Phosphate Fertilizer



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

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับเสถียร โลหะแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต

นักศึกษานางสาวกิตติวรรณ กิจปกรณ์สันติ
นางสาวภาวิไล ส่งแสง
นางสาวอรวรรณ บุญเพชรแก้ว

ภาควิชาเคมี

สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาอ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์
ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย	
กรรมการ ดร. สุวรรณณี จรรยาพูน	
กรรมการ อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	

(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การปรับเสถียร โลหะแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต

นักศึกษา นางสาวกิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ

นางสาวภาวิไล ส่งแสง

นางสาวอรวรรณ บุญเพชรแก้ว

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2547

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์
ดร.อุสารัตน์ ฉาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาดังประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียร โลหะแคดเมียมที่มีการปนเปื้อนในดิน โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิดในการทดสอบ ได้แก่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple superphosphate, TSP) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium phosphate, DAP) ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Phosphate rock, PR) จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินตัวอย่างที่ใช้การศึกษาพบว่า ดินที่ใช้มีสีน้ำตาลอมเทา มีปริมาณความชื้นและปริมาณดินเหนียวเท่ากับ 4.6% และ 74.5% ตามลำดับ มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4.14 มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเท่ากับ 37.2 มก.สมมูล/100 ก.ดินแห้ง มีปริมาณสารอินทรีย์เท่ากับ 5.29% ความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.3 มก.สมมูล/1 ก. ดินแห้ง และมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 40 มก./กก.ดินแห้ง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับเสถียร โลหะแคดเมียมของปุ๋ยฟอสเฟตทั้งสามชนิดพบว่า ปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต จัดเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด (99.79%) ประสิทธิภาพในการปรับเสถียร โลหะแคดเมียมเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่เติมในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม โดยอัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อโมลแคดเมียมที่ให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดีที่สุด คืออัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียมเท่ากับ 0.15 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการปรับเสถียร ทำให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีมากขึ้น โดยประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงสุดเมื่อใช้ระยะเวลาในการปรับเสถียร 4 สัปดาห์

คำสำคัญ : การปรับเสถียร, แคดเมียม, ปุ๋ยฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Stabilization of Cadmium in Comtaminated Soil with Phosphate Fertilizer
Name	Ms. Kittiwani Kitpakornsanti Ms. Bhawilai Songsaeng Ms. Orawan Boonpethkaew
Department	Chemistry Faculty of Science
Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Ms. Glinsukol Suwannarat Dr. Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

This special project investigated the efficiency of phosphate fertilizers to stabilize cadmium in contaminated soils. Three phosphate fertilizers being tested are Triple superphosphate (TSP), Diammonium phosphate (DAP) and Phosphate rock (PR). Physical and chemical characterization of soil samples using in this study showed that soil has a gray mixed brown color, contains a moisture content and clay content of 4.6% and 74.5% respectively, has a pH of 4.14, Cation Exchange Capacity of 37.2 meq/100 g dried soil, contains % organic matter of 5.29%, soil acidity of 0.3 meq/1g dried soil, and contains total phosphorus of 40 mg/kg dried soil. Comparison of cadmium stabilization efficiency among three phosphate fertilizers found that TSP gave the highest stabilization efficiency (99.79%). Cadmium stabilization efficiency was increased when the amount of TSP increased. Phosphorus to cadmium ratio yielding the highest efficiency was 0.15 mol P/ mol Cd. The increase of stabilization time yielded an increase of cadmium stabilization efficiency. The highest stabilization efficiency was obtained when a contact time of 4 weeks was used.

Keywords : Stabilization, Cadmium, Phosphate fertilizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำปรึกษาแนะนำจาก ดร. อุตารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และอาจารย์กฤษณสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาเคมี ทุกท่าน และนักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดช่วงเวลาในการทำโครงการพิเศษ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัวและเพื่อน ๆ เป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
นิยามศัพท์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	
2.1 ชนิดและองค์ประกอบดิน	4
2.2 มลพิษทางดิน	5
2.3 เทคโนโลยีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก	7
2.4 การปรับเสถียร	8
2.5 แคลเมียม	9
2.6 ปุ๋ยฟอสเฟต	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ และสารเคมี	16
3.2 ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา	18
3.3 การเก็บตัวอย่างดิน	18
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมดินสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนแคดเมียม	20
3.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับเสถียรของปุ๋ยฟอสเฟต	20
3.7 วิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชุดดิน	22
4.2 ศึกษาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	24
4.3 ศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร	26
4.4 ศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการปรับเสถียร	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	31
บทที่ 6 บรรณานุกรม	33
บทที่ 7 ภาคผนวก	35
7.1 ภาคผนวก ก จุดเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย	36
7.2 ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสม ในการปรับเสถียร	37
7.3 ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	39
7.4 ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสม ในการปรับเสถียร	41
7.5 ภาคผนวก จ ข้อมูลจากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตจากหินฟอสเฟต	13
รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่างขนาด 1.5×1.5เมตร	18
รูปที่ 3.2 แนวเส้นทแยงมุมที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	19
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในชุดดินตัวอย่าง ภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยฟอสเฟต ชนิดต่างๆ	24
รูปที่ 4.2 สัดส่วนการกำจัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยกระบวนการทางธรรมชาติ (□)และกระบวนการปรับเสถียร โดยปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด (■)	26
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในชุดดิน ตัวอย่างภายหลังการปรับเสถียร ด้วยปุ๋ย TSP ในอัตราส่วนต่างกัน	27
รูปที่ 4.4 เปอร์เซนต์การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชุดควบคุม (ดินที่ไม่เติมปุ๋ย)(□) และดินที่มีการเติมปุ๋ย TSP ในปริมาณแตกต่างกัน (■)	28
รูปที่ 4.5 สัดส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในชุดดินที่เติมปุ๋ย (○) และไม่เติมปุ๋ย(●)ที่เหลือภายหลังการปรับเสถียร ด้วยปุ๋ยTSP ในระยะเวลาต่างกัน	29
รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชุดควบคุม (ดินที่ไม่เติมปุ๋ย) (□) และดินที่มีการเติมปุ๋ย TSP (■) ณ ระยะเวลาต่างกัน	30
รูปที่ ก.1 จุดเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยฟอสเฟต ชนิดต่างๆ	11
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด	14
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของดิน	19
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชุดดินบางกอก	23
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์ชนิดปุ๋ยฟอสเฟต ที่เหมาะสมในการปรับเสถียร	37
ตารางที่ ข.2 ศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร	38
ตารางที่ ค.1 เปอร์เซนต์ความชื้น	39
ตารางที่ ค.2 ค่าความเป็นกรดเป็นเบส	39
ตารางที่ ค.3 เปอร์เซนต์ปริมาณอินทรีย์สาร	39
ตารางที่ ค.4 ความเป็นกรดของดิน	40
ตารางที่ ค.5 ความเป็นกรดของดินความสามารถใน การแลกเปลี่ยนประจุบวก	40
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลในวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสม ในการปรับเสถียร	41
ตารางที่ ง.2 ศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร	42
ตารางที่ จ.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์ระยะเวลาที่เหมาะสม ในการปรับเสถียร	43
ตารางที่ จ.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร	44
ตารางที่ จ.3 ค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ย TSP ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามศัพท์

การปรับเสถียร	หมายถึง	การเติมสารชนิดหนึ่งที่สามารถจับยึดโลหะได้ ลงในดินที่มีการปนเปื้อนเพื่อทำให้ความสามารถการกระจายตัวของโลหะหนักลดลง
แคดเมียม	หมายถึง	โลหะหนักชนิดหนึ่ง มีลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์คล้ายกับสังกะสี แต่แคดเมียมมีความเป็นพิษสูงกว่า
ปุ๋ยฟอสเฟต	หมายถึง	สารที่เติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ให้มีสารอาหารตามต้องการของพืชเพื่อการเจริญเติบโต
TSP	หมายถึง	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
DAP	หมายถึง	ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต
PR	หมายถึง	ปุ๋ยหินฟอสเฟต
mg/l	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/kg	หมายถึง	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
molP/Cd	หมายถึง	อัตราส่วนโดยโมลฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม
ppm	หมายถึง	ความเข้มข้นในอัตราส่วนโดยโมล 1 ส่วนในล้าน
meq/g	หมายถึง	มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

เนื่องจากประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเหมืองแร่เกิดขึ้นอย่างมากมาย การทำเหมืองแร่มีหลายกรรมวิธี เช่น เหมืองหอบ เหมืองอุโมงค์ เหมืองลึบ และเหมืองขุด การทำเหมืองแร่ด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้นทำให้สมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่นมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นผลผลิตในระหว่างการขนย้าย ซึ่งพบว่าในระยะเวลา 2-3 ปีหลังจากการทำเหมืองแร่ พื้นที่บริเวณนั้นจะไม่มี ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากมีการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน บริเวณเหมืองแร่และบริเวณใกล้เคียง ทำให้สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในส่วนต่างๆของพืช ส่งผลให้พืชได้รับธาตุอาหารหลักในปริมาณน้อยกว่าความต้องการ กิจกรรมการทำเหมืองแร่เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ดินในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น การทำเหมืองแร่ดีบุกที่ภูเขาร่อนนา-สรวงจันทร์ อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ได้ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูในดิน (สุธิดา และคณะ, 2544) เช่นเดียวกับที่เขตบ้านห้วยแม่ดาว อ.แม่สอด แม่สอด จังหวัดตาก เป็นพื้นที่ที่ตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะแคดเมียมในดิน (www.maticchon.co.th/Khaosod) ในเบื้องต้นสันนิษฐานว่ามีสาเหตุมาจากวิธีการทิ้งและการจัดการที่ไม่เหมาะสมของกากแร่ที่เหลือจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่สังกะสี การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินส่งผลให้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมีสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก ดังเช่นในกรณีการปนเปื้อนของโลหะแคดเมียมในดินที่บ้านห้วยแม่ดาว อ.แม่สอด จ.ตาก ส่งผลให้ข้าวที่เพาะปลูกในพื้นที่มีโลหะแคดเมียมปนเปื้อนในปริมาณสูงถึง 5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักข้าว 1 กิโลกรัม (www.maticchon.co.th/Khaosod) โดยค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agricultural Organization) คือต้องมีปริมาณแคดเมียมไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักข้าว 1 กิโลกรัม (www.maticchon.co.th/Khaosod) ด้วยเหตุนี้การดำเนินการฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก เพื่อให้พื้นที่มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จึงจัดเป็นมาตรการสำคัญที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องเร่งรัดในการดำเนินการ เพื่อลดผลกระทบที่อาจมีต่อสถานะเศรษฐกิจของประเทศไทย ในฐานะผู้ผลิตและผู้ส่งออกสินค้าทางการเกษตร

เทคโนโลยีที่เป็นทางเลือกในการบำบัดและฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ เทคนิคการใช้โอโซน (Ozonation) การล้างดิน (Soil washing) การทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) หรือการปรับเสถียร (Stabilization) (Conner, 1994) เทคนิคโอโซนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการฟื้นฟูดินโดยใช้ไอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่จับกับโลหะหนักในดิน ทำให้สามารถกำจัดโลหะหนักออกจากดินได้ แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือไอโซนสามารถทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชและสิ่งมีชีวิตได้หากได้รับในปริมาณ 1 มก./ล. ในเวลา 8 นาที (ชโล, 2547) วิธีการล้างดินเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักได้ แต่เป็นวิธีการที่ทำได้ยากและต้องใช้เวลาาน เนื่องจากโลหะหนักถูกดูดซับกับดินและกากตะกอน โดยพันธะที่แข็งแรง (ชุตินาและพรพิมล, 2544) วิธีการทำให้เป็นของแข็ง หรือในบางครั้งเรียกว่าการปรับเสถียร (Stabilization) เป็นวิธีการทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปที่เสถียรได้โดยใช้สารประกอบต่างๆ เช่น สารประกอบฟอสเฟตชนิดต่างๆ ซีโอไลต์ ดินเหนียว เป็นต้น (Conner, 1994) โดยทั่วไปสารปรับเสถียรเหล่านี้เมื่อรวมตัวกับโลหะหนักจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดการตกตะกอนและมีค่าการละลายที่ต่ำ วิธีการนี้มีข้อดีคือ สารปรับเสถียรที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่หาง่าย ราคาถูก นอกจากนี้ขั้นตอนในการทำไม่ยุ่งยาก จึงทำให้การปรับเสถียรเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดใน การบำบัดและฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

โครงการพิเศษนี้จึงถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของฟอสเฟตที่อยู่ในรูปปุ๋ยทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammonium Phosphate, DAP) ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Phosphate Rock, PR) และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate, TSP) ในการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม เพื่อลดการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมที่ปนเปื้อนไปยังตัวกลางอื่นๆ

1.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของชุดดินตัวอย่าง
2. เปรียบเทียบความสามารถของปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ ในการปรับเสถียรชุดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม โดยปัจจัยที่จะทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟต และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเสถียร

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1. ชุดดินที่ใช้ในการศึกษา คือ ชุดดินบางกอก บริเวณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความชื้น, สี และสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าพีเอช, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC), ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน (% organic matter), ความเป็นกรดของดิน และปริมาณฟอสฟอรัสของชุดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเสถียรของปุ๋ยฟอสเฟตในดินตัวอย่าง โดยผสมปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยหินฟอสเฟต และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่เท่ากัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียมเท่ากับ 0.15 ใช้เวลาในการปรับเสถียร 4 สัปดาห์ จากนั้นทำการตรวจสอบประสิทธิภาพในการปรับเสถียรโดยการทดสอบ การชะของโลหะด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมแล้วทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร โดยปุ๋ยฟอสเฟตตามขั้นตอน ดังนี้คือ

3.1 ศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยนำปุ๋ยฟอสฟอรัสชนิดที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการปรับเสถียรจากการทดลองในข้อที่ 3 มาแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียมดังนี้คือ 0.025, 0.05, 0.1 และ 0.15 ใช้เวลาในการปรับเสถียร 4 สัปดาห์ จากนั้นทดสอบการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยใช้ชนิดและปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่ได้จากการทดสอบข้างต้น โดยแปรค่าระยะเวลาในการปรับเสถียรเป็น 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ และทำการทดสอบการปรับเสถียรโดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตแต่ละชนิดในการบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน
3. เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการปรับเสถียรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมต่อไป
4. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ ปุ๋ยฟอสเฟตสำหรับการปรับเสถียรโลหะหนักชนิดอื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ชนิดและองค์ประกอบดิน (สุริลา และคณะ, 2544)

ดิน หมายถึง เทหวัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการแปลงสภาพหรือสลายตัวของ หิน แร่ธาตุและอินทรีย์วัตถุผสมคลุกเคล้ากันตามธรรมชาติรวมตัวกันเป็นชั้นบาง ๆ เมื่อน้ำและ อากาศที่เหมาะสมก็จะทำให้พืชเจริญเติบโตและยังชีพอยู่ได้

ชนิดของดินสามารถจำแนกตามลักษณะของเนื้อดินเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. ดินเหนียว คือดินที่มีเนื้อละเอียดที่สุด ยึดหยุ่นเมื่อเปียกน้ำ เหนียวติดมือ ปั้นเป็นก้อนหรือ คลึงเป็นเส้นยาวได้ พังทลายได้ยาก การอุ้มน้ำดี จับยึดและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารพืชได้ค่อนข้างสูง จึงมีธาตุอาหารพืชอยู่มากเหมาะที่จะใช้ปลูกข้าวนาดำ เพราะเก็บน้ำได้นาน

2. ดินทราย เป็นดินที่เกาะตัวกันไม่แน่น ระบายน้ำและอากาศได้ดีมาก อุ้มน้ำได้น้อย พังทลายง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพราะความสามารถในการจับยึดธาตุอาหารมีน้อย พืชที่ขึ้นอยู่ ในบริเวณดินทรายจึงขาดน้ำและธาตุอาหารได้ง่าย

3. ดินร่วน คือดินที่มีเนื้อค่อนข้างละเอียด นุ่มมือ ยึดหยุ่นพอควร ระบายน้ำได้ดีปานกลาง มี แร่ธาตุอาหารพืชมากกว่าดินทราย เหมาะสำหรับใช้เพาะปลูก ดินร่วนที่แท้จริงมักไม่ค่อยพบใน ธรรมชาติ แต่จะพบเนื้อดินที่มีลักษณะใกล้เคียงเสียเป็นส่วนใหญ่

องค์ประกอบของดินสามารถจำแนกได้ 4 อย่าง ดังนี้คือ

1. แร่ธาตุ (อนินทรีย์วัตถุ) เป็นส่วนที่สลายตัวมาจากวัตถุให้กำเนิดดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินที่ ประกอบเป็นเปลือกโลก ส่วนประกอบส่วนนี้จะมีอยู่มากโดยเฉลี่ยจะมีอยู่ครึ่งหนึ่งของเนื้อดิน ทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ แร่ธาตุในดินเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชและจุลินทรีย์ใน ดิน ขนาดของแร่ธาตุที่พบแตกต่างกันไปจากขนาดเล็กจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจนถึงขนาดที่ มองเห็นได้

2. อินทรีย์วัตถุ เป็นส่วนของซากพืชและสัตว์ที่ตายทับถมอยู่ที่พื้นดิน เช่น ใบไม้ ต้นไม้ ราก ไม้ ซากสัตว์ เป็นต้น จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรีย เห็ด และรา ช่วยย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิตให้ กลายเป็นอินทรีย์วัตถุขนาดเล็กในดิน อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายตัวแล้วและอยู่ในสภาพที่เหมาะสม เรียกว่า ฮิวมัส (humus) อินทรีย์วัตถุเป็นส่วนประกอบที่บอกความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพราะ นอกจากเป็นสารอาหารของพืชแล้ว ยังทำให้เกิดสภาพกรดอ่อนที่เหมาะสมต่อการละลายของแร่ ธาตุในดินที่เป็นธาตุอาหารสำหรับพืชอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการรักษาความชื้นไว้ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำหรือความชื้นในดิน เป็นส่วนประกอบที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคดินและในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน (pore space) น้ำในดินมีความสำคัญคือ เป็นแหล่งน้ำสำหรับพืชและจุลินทรีย์ในดิน ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายแร่ธาตุต่างๆ ในดินซึ่งช่วยให้พืชสามารถนำไปใช้ได้

4. อากาศ ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งจะแทรกอยู่ตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน ก๊าซแต่ละชนิดมีความสำคัญต่างกันไป ดังนี้คือ ออกซิเจนเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายในน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกที่สามารถละลายธาตุอาหารของพืช ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นเกลือไนเตรทซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชโดยแบคทีเรียพวกที่สามารถตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing bacteria) เช่น แบคทีเรียที่อยู่ในสกุล Rhizobium ที่อาศัยอยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว เป็นต้น

สัดส่วนดินที่ถือว่ามีองค์ประกอบที่เหมาะสมต่อการเติบโตของพืช โดยทั่วไปมักประกอบด้วยแร่ธาตुर้อยละ 35-45 อากาศร้อยละ 25-30 น้ำร้อยละ 25-30 และอินทรีย์สารร้อยละ 5

2.2 มลพิษทางดิน (สุริยาและคณะ, 2544)

มลพิษทางดิน หมายถึงมลสารใดๆ ที่เกิดขึ้นตามกลไกธรรมชาติ หรือที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษสู่ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน จนกระทั่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ การปนเปื้อนในดินเกิดได้เองด้วยกลไกทางธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ แต่โดยทั่วไปพบว่าการปนเปื้อนของดินมักเกิดจากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมีความต้องการความสะดวกสบายด้านวัตถุเป็นเกณฑ์ ทำให้เกิดการปนเปื้อนสารเคมีและสารอินทรีย์บางส่วนลงสู่พื้นดิน ตัวอย่างมลพิษทางดินที่มีสาเหตุสำคัญจากกิจกรรมมนุษย์ได้แก่ โลหะหนัก ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และสารกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น

2.2.1 โลหะหนัก

โลหะหนักที่เป็นมลพิษทางดินที่สำคัญ ได้แก่ ปปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม ฯลฯ การปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ ผลิตถ่านไฟฉาย เป็นต้น จากควันของยานพาหนะที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์ที่ใช้เบนซินพิเศษ คือตะกั่ว หรือจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ซึ่งโลหะหนักเจือปนอยู่ในสินแร่เสมอ เช่น สินแร่ดีบุกมักมีตะกั่วเจือปน ในขณะที่เหมืองสังกะสีมักมีแคดเมียมเจือปนอยู่ การจัดการของเสียเหล่านี้อย่างไม่ถูกต้องเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้โลหะหนักเหล่านี้ตกค้างในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึงธาตุอาหารของพืชที่ใส่ลงดินเพื่อเพิ่มสารอาหารแก่พืชตามธาตุอาหารที่พืชต้องการ มีความจำเป็นต่อเมื่อต้องการเพื่อผลผลิตทางการเกษตร แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆหากมีการใช้ปุ๋ยเคมีที่ไม่ถูกต้องอาจเกิดโทษตามมา เพราะปุ๋ยเคมีจะมีผลให้เกิดกระบวนการมากมาย เช่น การแปรรูปของธาตุ (Transformation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การดูดซับ (Adsorption) การตกตะกอน (Precipitation) การตรึงธาตุอาหาร (Fixations) การดูดอาหารโดยรากพืช (Adsorption by plan root) การสูญเสียธาตุอาหารในสภาพแก๊ซ (Gaseous losses) และกระบวนการอื่นๆ

ผลเสียจากใช้ปุ๋ยเคมี สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยแอมโมเนีย ทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น
2. ปุ๋ย N-P-K ถ้าใส่ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้กิจกรรมในจุลินทรีย์ในดินมีมากขึ้น ซึ่งจะมีผลดีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน แต่การใส่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ส่วนแล้วแต่เป็นผลต่อการลดลงของกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินทั้งสิ้น
3. ปุ๋ยไนเตรท สารประกอบไนเตรทจะถูกรีดิวส์ให้เป็นไนไตรท์ อนุมูลของไนไตรท์สามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินได้เป็น methemoglobin ทำให้ฮีโมโกลบิน ไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายได้ ดังนั้นหากรับประทานพืชที่มีไนเตรทสะสมจำนวนมาก จะสามารถส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพตามมา ขณะเดียวกันการเกิดภาวะการพังทลายของดิน จะพัดพาไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำจึงมีผลต่อคุณภาพน้ำด้วย
4. ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยชนิดนี้สามารถรวมตัวเป็นตะกอนกับธาตุอื่นๆ เช่น แคลเซียม เหล็กหรืออลูมิเนียมได้ ตะกอนนี้อยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งในดินการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารจากบริเวณพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกจึงมีไม่มากนัก กรณีที่เป็นดินทรายจัดหรือมีกระแสพัดพาฟอสเฟตกระจายไปตามน้ำที่ไหลซึมลงดินหรือพัดพาลงสู่แหล่งน้ำ ฟอสเฟตจะช่วยให้พืชน้ำเจริญเติบโตได้ดีทำให้เกิดปรากฏการณ์ Algae bloom ได้
5. ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ทำให้ดินเป็นกรดมากขึ้น

2.2.3 สารปราบศัตรูพืช

สารกำจัดศัตรูพืชมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สังเคราะห์ขึ้นมาโดยกระบวนการทางเคมี การแบ่งประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่จะแบ่งตามกลุ่มของศัตรูพืชเป็น ยาฆ่าแมลง ยากำจัดเชื้อรา ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น สารกำจัดศัตรูพืชจัดเป็นมลพิษที่สำคัญเนื่องจากโดยส่วนใหญ่สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน เป็นพิษที่ทำลายสิ่งมีชีวิตในดินหรือจุลินทรีย์ในดิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งส่งผลกระทบต่อทางลมแก่พืชที่เจริญเติบโตในบริเวณนั้น

จากรายงานกรมวิชาการเกษตรพบว่า มีการนำเข้าวัตถุดิบพืชทางการเกษตรสูงถึงปีละประมาณ 3 หมื่นตัน (สุริยาและคณะ, 2544) สารพิษเหล่านี้จะตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งความเป็นพิษจากสารปราบศัตรูพืชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นจึงต้องมีปัจจัยควบคุมในการใช้สารปราบศัตรูพืช โดยควบคุมชนิด ลักษณะความเป็นพิษ รวมทั้งอายุ ขนาดและความแข็งแรงของคนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

2.2.4 สารกัมมันตภาพรังสี

ปัจจุบันมีการใช้สารกัมมันตรังสีกันอย่างแพร่หลายในสาขาต่างๆ เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร การอุตสาหกรรมบางชนิด ได้แก่ โรงถลุงแร่ยูเรเนียมและทอเรียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และการทดลองนิวเคลียร์ ทำให้สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในกิจกรรมเหล่านี้มีโอกาสปนเปื้อนในดิน ทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสได้รับสารเหล่านี้ได้ง่ายและแสดงความเป็นพิษออกมา

2.3 เทคโนโลยีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

เทคโนโลยีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักในดินมีด้วยกันหลายวิธี เช่น

1) การใช้โอโซน (Ozonation) เทคนิคการใช้โอโซนในการบำบัดดิน โดยโอโซนจะเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก ดังนั้นโอโซนจึงสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่จับกับโลหะหนักรูปต่างๆ ในดินได้ เช่น โอโซนสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่จับกับโลหะหนักในดินทำให้สามารถกำจัดโลหะหนักออกจากดินได้ และสามารถลดการเกิดโครงสร้างเชิงซ้อนของโลหะกับสารอินทรีย์ในดินได้ แต่วิธีมีข้อเสียคือโอโซนจะเกิดความเป็นพิษต่อพืชและสิ่งมีชีวิต (ชลอ, 2547)

2) การล้างดิน (Soil washing) การล้างดินเป็นเทคนิคการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและมีความนิยม โดยมีการกำจัดการปนเปื้อนออกจากดินผ่านการชะล้างตัวกลางให้สารไหลพุ่งอย่างแรง โดยสารที่ใช้ล้างดินมีหลายชนิด เช่น สารลดแรงตึงผิว (surfactant) สารประเภทคีเลตติงเอเจนต์ (chelating agent) หรือสารประเภทรีดิวซิงเอเจนต์ (reducing agent) โดยสารตัวกลางจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า สารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก โดยวิธีนี้ให้ประสิทธิภาพดีแต่มีราคาสูง (นิตยาและคณะ, 2544)

3) การขุดดิน (Excavation) การขุดดินเป็นเทคนิคการบำบัดดินที่ง่ายต่อการดำเนินงานสามารถในการกำจัดดินที่ปนเปื้อนได้ในปริมาณมาก โดยสามารถกำจัดการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดของพื้นที่ และสามารถดำเนินการได้ทันที มักใช้กับพื้นที่ที่ต้องการบำบัดอย่างเร่งด่วน แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ สามารถทำลายโครงสร้างดินทำให้โครงสร้างดินเปลี่ยนแปลง และกรณีไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการปล่อยไอระเหยโลหะบางประเภทอาจทำให้มีการปนเปื้อนในอากาศเสี่ยงต่อการได้รับอันตราย

4) การปรับเสถียร (Stabilization) ซึ่งวิธีการและรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.4

2.4 การปรับเสถียร

การปรับเสถียรหรือที่เรียกว่าการทำให้เป็นของแข็ง (solidification) เป็นการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะโดยใช้วิธีการทำให้โลหะอยู่ในรูปที่มีความเสถียร กล่าวคือมีความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยลง หรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก อาจทำได้โดยการทำให้โลหะหนักตกตะกอนเป็นของแข็ง ซึ่งจะช่วยลดความสามารถในการกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ หรือทำให้โลหะหนักนั้นมีค่าการละลายต่ำเพื่อลดการกระจายตัวของโลหะหนักได้เช่นเดียวกัน กระบวนการลดการเคลื่อนย้ายของมลพิษที่ปนเปื้อนในดิน ทำโดยการเติมสารที่สามารถจับยึดโลหะได้ลงในดินที่มีการปนเปื้อนเพื่อทำให้เกิดการแข็งตัวและจับยึดเอาโลหะไว้ สารที่เติมลงไปอาจทำหน้าที่ในการจับโลหะหนักโดยอาศัยหลักการโคหัลการหนึ่งต่อไปนี้คือ ทำให้โลหะหนักอยู่ในสถานะของแข็งและมีความแข็งแรงมากขึ้น ลดความสามารถในการหลุดตัวของแข็ง ซึ่งหลุดตัวได้น้อยกว่าของเหลวและลดความสามารถในการไหลผ่านของของเหลว

การปรับเสถียรหรือการตรึงโลหะหนักในดิน ทำโดยการใส่สารลงไปจับโลหะหนักเพื่อยับยั้งการเคลื่อนที่จากดินสู่สิ่งแวดล้อม สารที่ทำหน้าที่จับโลหะหนัก เรียกว่า สารปรับเสถียร (Stabilizer) สารปรับเสถียรมี 2 ประเภท ดังนี้ คือ

1. สารที่ละลายน้ำได้ (Soluble Chemical) ได้แก่ สารเคมี และปุ๋ยบางชนิดเช่น ปุ๋ยฟอสเฟต วิธีการปรับเสถียรทำได้โดยใส่สารเคมีลงในดินจนอิ่มตัว สารจะผ่านเข้าไปในดินอย่างรวดเร็วทางผิวหน้าดิน หรือพ่นที่ละปริมาณน้อยๆ ให้ไหลผ่านดินอย่างอิสระ ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรของสารประเภทนี้ ได้แก่ อัตราการไหลของสารซึ่งมีผลกับช่วงเวลาที่ดินจะสัมผัสกับสารปรับเสถียร ปริมาณสารปรับเสถียร และปริมาณอากาศภายในดินในช่วงเวลาการบำบัด ข้อจำกัดที่สำคัญของสารปรับเสถียรในกลุ่มนี้คือ สารเคมีที่ใช้บางตัวอาจเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม หรือ อาจมีราคาแพงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการบำบัด

2. สารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Insoluble Chemical) เช่น แร่ดินเหนียว สารซีโอไลต์ โดยการประยุกต์ใช้มีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้คือ

การเทพกคลุมพื้นที่ (Spreading) วิธีนี้เหมาะสมในการบำบัดในดินที่มีความชื้นสูง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง และโลหะหนักปนเปื้อนในระดับชั้นผิวหน้าดิน

-การไถพรวนดิน (Tilling) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ วิธีการ Routine tilling จะไถสารตัวตรึงในระดับความลึกจากผิวน้ำดิน 1 หรือ 2 ฟุต และวิธีการ Special deep tilling จะไถสารปรับเสถียรในระดับความลึกจากผิวน้ำดิน 5 ฟุต

-การทำให้สารปรับเสถียรเป็นสารแขวนลอยเมื่อเติมน้ำหรือสารละลายกรดอ่อนๆ โดยสารปรับเสถียรจะต้องมีขนาดอนุภาคเล็กโดยจะใช้วิธีฉีดจากหัวฉีดแล้วให้เคลื่อนที่ผ่านไปดิน

-การเติมสารปรับเสถียรให้เสมือนเป็นตัวกั้นผ่าน จะใช้เมื่อดินมีความสามารถในการซึมผ่านสูง ค่าอินทรีย์วัตถุในดินต่ำ และโลหะหนักมีการปนเปื้อนจากผิวน้ำดินในความลึก 10 ฟุต หรือมากกว่า เช่น ดินเบนโทไนต์ เป็นต้น

การปรับเสถียรโลหะหนักในพื้นที่ปนเปื้อน มีการดำเนินการที่ประสบความสำเร็จโดยการเติมวัสดุธรรมชาติ เช่น แร่ดินเหนียว ดินเบนโทไนต์ สารสังเคราะห์ เช่น สารซีโอไลต์ ฟูยบางชนิด และวัสดุที่เหลือใช้ เช่น ใ้ล่ายลงดิน (Lin et al., 1998) นอกจากนี้ยังจำแนกตามความสามารถในการดูดซับ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. ตัวเติมที่มีค่าการดูดซับสูง (Strongly adsorbing) เมื่อเติมลงไปแล้วจะไม่ผ่านดินไปสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โลหะหนักในดินจะถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนหรือเกิดคีเลตคอมเพล็กซ์กับสารตัวเติม และจะไม่เกิดไฮโดรไลซ์ในสภาวะต่างๆในดิน เช่น pH ต่ำ การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้า (Eh) อีกทั้งจะต้องทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นจึงไม่มีการปลดปล่อยโลหะหนักจากสารตัวเติมในระยะเวลาหนึ่ง อย่างน้อย 2-3 ปี ที่สำคัญสารตัวเติมนั้นต้องไม่เป็นสารที่อันตราย และไม่เป็นสารตั้งต้นที่จะนำไปสู่การปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

2. ตัวเติมที่มีค่าการดูดซับต่ำ (Weakly adsorbing) โลหะหนักในดินจะถูกดูดซับ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนหรือเกิดคีเลตคอมเพล็กซ์กับสารตัวเติมในโครงสร้างดินแต่สารประกอบที่เกิดขึ้นมีไม่มากพอ จึงยังพบการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักในดิน แต่ในส่วนที่เกิดเป็นสารประกอบเมื่อตกตะกอนแล้วจะมีค่าการละลายต่ำภายใต้สภาวะต่างๆในดินเช่นเดียวกับสารตัวเติมที่มีค่าการดูดซับสูง

2.5 แคดเมียม (Cadmium, Cd) (เกศินี, 2547)

แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ติดกับสังกะสีในตารางธาตุจึงมีลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์คล้ายกัน แต่แคดเมียมมีความเป็นพิษสูงกว่า แคดเมียมสามารถเข้าแทนที่ระบบเอนไซม์เนื่องจากมีโครงสร้างของอะตอมคล้ายกัน มีการพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีเสมอในอัตราส่วนประมาณ 1:100-1:1000 ในทางอุตสาหกรรมจะใช้แคดเมียมเป็นสารหล่อลื่น สารกันสนิม สี แบตเตอรี่ พลาสติก ลวดเชื่อม ในสภาพธรรมชาติแคดเมียมเป็นสารเจือปนในสินแร่สังกะสี อาจมากกว่า 3% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคดเมียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5-5.5 ขณะที่สภาพดินเป็นด่าง แคดเมียมจะไม่ค่อยเคลื่อนที่ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับ ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน แคดเมียมเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษ มากกว่าชนิดหนึ่งมักพบอยู่ร่วมกับสังกะสีเสมอ แต่ในสภาพดินเป็นกรดแคดเมียมมีสภาพเคลื่อนที่ ที่ดีกว่าสังกะสี ซึ่งมักอยู่ในรูป Cd^{2+} ปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมสภาพเคลื่อนที่ได้ของ แคดเมียมในดินคือ ค่าพีเอชและค่าศักย์รีดอกซ์ซึ่งดินที่มีค่าศักย์รีดอกซ์สูงแคดเมียมจะอยู่ในรูป สารประกอบ เช่น CdO หรือ $CdCO_3$ หรืออาจจะอยู่ร่วมกับฟอสเฟตได้เช่นเดียวกัน แคดเมียมเมื่อ อยู่ในดินส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ ขณะที่ทองแดงจะถูกตรึงในรูปของสารประกอบ อินทรีย์ทำให้ศักยภาพในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของแคดเมียมสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ โลหะหนักตัวอื่นๆ ซึ่งเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $Cd > Zn > Cu > Ni$ แคดเมียมเมื่ออยู่ในรูป ตะกอนที่เป็นด่าง เช่น Cd-sludge มีแนวโน้มที่จะอยู่ในลักษณะคีเลตหรือรวมกับอินทรีย์สารที่ไม่ ละลายน้ำ (Insoluble organic bound) เป็นส่วนใหญ่ และปริมาณในส่วนนี้จะไม่ถูกระทบโดยการ เปลี่ยนแปลงสภาพออกซิเดชัน-รีดักชันแต่อย่างใด เมื่อสภาพความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และอากาศ ถ้ายืด แคดเมียมในดินจะเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอินทรีย์จะ ไปอยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยน ได้มากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดอกซ์และพีเอชในดินมีผลต่อการละลายได้ และการ แพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก

แคดเมียมสามารถละลายได้ดีในดิน ดังนั้นแม้แคดเมียมเพียงปริมาณเล็กน้อยปนเปื้อนใน ดินจะถูกดูดและสะสมในพืชซึ่งโดยสภาพความเข้มข้นปกติ พืชจะมีแคดเมียมในมวลแห้งน้อยกว่า 1 ppm. ถึงแม้จะมีแคดเมียมในพืชสูงมากพืชก็จะปราศจากการเป็นพิษจากแคดเมียมซึ่งนับว่าเป็น อันตรายอย่างมากเนื่องจากพืชเป็นผู้ผลิตในวงจรห่วงโซ่อาหาร ในดินทั่วไปมีแคดเมียมอยู่ 0.5 ppm. องค์กรป้องกันสิ่งแวดล้อม EPA กำหนดปริมาณแคดเมียมที่สามารถบริโภคได้ 30 ไมโครกรัมต่อวัน

ความเป็นพิษของแคดเมียม แคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่ อยู่ลึก เช่น กล้ามเนื้อ กระดูก โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและความดันโลหิตสูง และเกิดโรค “อิตา-อิตา” (Itai-Itai)

2.6 ปุ๋ยฟอสเฟต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เทคโนโลยีการบำบัดดินที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้เลือกใช้วิธีการปรับเสถียรดิน โดยตัวปรับ เสถียรที่นิยมใช้ทั่วไปเช่น สารซีโอไลต์ แร่ดินเหนียว ถ้ำลอย แต่ตัวปรับเสถียรที่เลือกใช้ใน โครงการวิจัยนี้จะเลือกใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเนื่องจากหาง่ายและมีราคาถูก อีกทั้ง มีงานวิจัยก่อนๆ ที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเสถียรโลหะหนักด้วยปุ๋ยฟอสเฟตและได้ประสิทธิภาพในการกำจัดอีกด้วย

ปุ๋ยฟอสเฟต คือสารที่เติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ให้มีสารอาหารตามต้องการของพืชเพื่อการเจริญเติบโต ธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีที่มีฟอสฟอรัสชนิดต่างๆ มักนิยมบอกในรูป Phosphorus pertoxide (P_2O_5) มากกว่าในรูปธาตุฟอสฟอรัส (Elemental P)

รูปแบบฟอสฟอรัสในปุ๋ยพบได้ในหลายรูปแบบดังนี้คือ

Water soluble P_2O_5 หมายถึง ปริมาณ P_2O_5 ที่ละลายน้ำ ระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ P_2O_5 ในตัวอย่างทั้งหมด

Citrate soluble P_2O_5 หมายถึง ปริมาณ P_2O_5 ที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซิเตรตที่อยู่ในสภาพสะเทิน (pH = 7) และมีความเข้มข้น 1 N ระบุเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ P_2O_5 ในตัวอย่างทั้งหมด

Citrate insoluble P_2O_5 หมายถึง ปริมาณ P_2O_5 ที่วิเคราะห์ได้จากกากที่เหลือหลังจากการสกัดด้วยน้ำและสารละลายแอมโมเนียมซิเตรต (pH = 7, 1 N)

Available P_2O_5 หมายถึง P_2O_5 ที่มีประโยชน์ต่อพืช ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณ *Water soluble P_2O_5* กับ *Citrate soluble P_2O_5*

Total P_2O_5 หมายถึง ปริมาณ P_2O_5 ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณ *Available P_2O_5* กับ *Citrate insoluble P_2O_5*

ฟอสฟอรัสในปุ๋ยฟอสเฟตมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำได้ง่าย และส่วนที่ไม่ละลายน้ำเลย หรือละลายได้น้อยมาก ดังนั้นจึงมีมาตรฐานในการเปรียบเทียบความมากน้อยของปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับปริมาณฟอสฟอรัสในปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

รูปการละลาย	รูปทางเคมี	ความเป็นประโยชน์พืช
Water soluble P	Monophosphate ($H_2PO_4^{2-}$) เช่น $Ca(H_2PO_4)_2$, $NH_4H_2PO_4$	สามารถนำไปใช้ได้
Citrate soluble P รูปที่ละลายได้ในสารละลายแอมโมเนียมซิเตรต 15%	Diphosphate (HPO_4^{2-}) เช่น $CaHPO_4$	สามารถนำไปใช้ได้
Insoluble P	Triphosphate (PO_4^{3-}) เช่น $Ca_3(PO_4)_2$	ไม่สามารถนำไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ ณ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยฟอสเฟตที่ขายกันทั่วไปในท้องตลาดใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น เป็นเกณฑ์กำหนด ปริมาณ Available P_2O_5 ไว้เสมอว่ามีอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการเปรียบเทียบราคาของปุ๋ย ควร พิจารณาจากอัตราส่วนของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปุ๋ยฟอสเฟตมีด้วยกันหลายชนิด

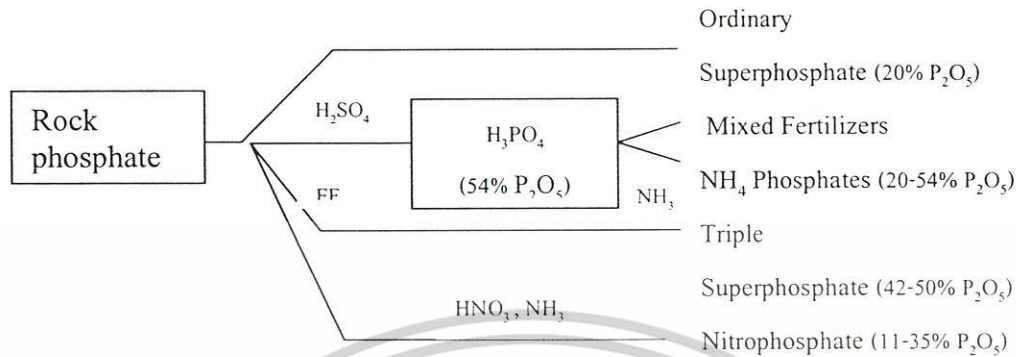
ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยหินฟอสเฟต และปุ๋ยทริปเปิล ซุปเปอร์ฟอสเฟต

1. ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Diammoniumphosphate:DAP: $(NH_4)_2HPO_4$) ปุ๋ยชนิดนี้มี ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 16-18 % โดยน้ำหนัก และ Available phosphoric acid 46-48 % โดย น้ำหนักเตรียมได้โดยใช้ก๊าซแอมโมเนียมทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอรัส หรือกับกรดสองชนิดที่ เป็นส่วนผสมระหว่างกรดฟอสฟอรัสกับกรดกำมะถัน ปุ๋ยชนิดนี้จะละลายน้ำได้ดี และทำให้ดิน เป็นกรดเพราะมีไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4-N) เมื่ปุ๋ยมีความแข็งแรงสูง ปุ๋ยชนิดนี้นิยมมากในประเทศไทยและประเทศอื่นๆทั่วโลก โดยเฉพาะการใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อ ผลิตปุ๋ยสูตรผสมต่างๆ

2. ปุ๋ยหินฟอสเฟต (Phosphate Rock:PR) เป็นปุ๋ยที่เตรียมจากแร่อะพาไทต์ที่มีฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบ ในปริมาณมาก สันแร่อะพาไทต์มีอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ Carbonate apatite ($Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$) Fluorapatite ($Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$) Chlorapatite ($Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCl_2$) Hydroxy apatite ($Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$) และ Sulphateapatite ($Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaSO_4$) สันแร่เหล่านี้จะพบอยู่ใน สภาพเป็นหิน เมื่อสกัดเป็นปุ๋ยจึงมีชื่อเรียกว่า Rock phosphate

องค์ประกอบของปุ๋ยหินฟอสเฟตที่พบในท้องตลาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของ สันแร่โดยสำคัญ โดยทั่วไปจะมี P_2O_5 ระหว่าง 30 - 40 % สำหรับหินฟอสเฟตในรูป Fluorapatite มีฟลูออรีนเป็นองค์ประกอบ ปริมาณฟลูออรีนที่มีในปุ๋ยนับว่ามีบทบาทสำคัญมากต่อสัดส่วนของ ธาตุฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ กล่าวคือเมื่อปริมาณฟลูออรีนมากขึ้นความคงตัวของ ฟอสเฟตในตัวปุ๋ยเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปริมาณฟอสเฟตที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์น้อยลง

นอกจากใช้เป็นปุ๋ยได้โดยตรงแล้ว ปุ๋ยหินฟอสเฟตยังใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการเตรียม ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสฟอรัสชนิดอื่นๆ ได้อีกหลายรายการ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ไคอะแกรมการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตจากหินฟอสเฟต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

3. ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (Triple Superphosphate:TSP) หมายถึงปุ๋ยที่มีฟอสฟอรัสในปริมาณมาก ที่มาของชื่อปุ๋ยขึ้นกับจำนวนครั้งในการทำปฏิกิริยากับกรดปุ๋ยชนิดนี้ได้มาจากการทำปฏิกิริยาของกรดฟอสฟอริกสามครั้ง กระบวนการผลิตปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้นมีกรรมวิธีผลิตคล้ายคลึงกับวิธีการผลิตปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา (ordinary superphosphate) ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างฟอสเฟตกับกรดฟอสฟอริกอาจเขียนเป็นสมการได้สมการที่ 2.1 ดังนี้



กรดฟอสฟอรัส (H_3PO_4) ที่ใช้ในปฏิกิริยาข้างต้นเตรียมได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างหินฟอสเฟตกับกรดกำมะถัน (wet process acid) โดยใช้กรดกำมะถันในปริมาณที่สมดุลกับแคลเซียมที่มีในหินฟอสเฟต แล้วกรองเอาชิปซัม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ออกจากส่วนผสมที่ได้จากปฏิกิริยา

โดยเฉลี่ยปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้นมีปริมาณ P_2O_5 มากกว่าปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดาประมาณ 2 เท่า คือ ประมาณ 46-47% ดังนั้นถ้าจะพิจารณาจากราคาต่อหน่วยของธาตุปุ๋ยฟอสฟอรัสแล้ว ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้นจะมีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา การขนส่งและค่าใช้จ่ายระหว่างการให้สูงกว่าปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดธรรมดา

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยทั้ง 3 ชนิด

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ลักษณะ/ปริมาณที่วัดได้		
	TSP*	DAP**	PR***
สถานะ	ของแข็ง	ผลึกผง	ผง
กลิ่น	เล็กน้อย	น้อยมาก	ไม่มีกลิ่น
สี	เม้ดสีเทา	ขาว	น้ำตาลค่อนข้างดำ
ค่าพีเอช	2.5-3.0(สารละลาย)	5.5 (0.1M sol.)	N/A
ความดันไอ	N/A	N/A	N/A
ความหนาแน่นไอ	N/A	N/A	N/A
ค่าการละลายในน้ำ	ค่อนข้างดี	43% ที่ 20°C	N/A
ความถ่วงจำเพาะ	2.20	1.77	N/A

N/A = Not Application

* (www.cfindustries.com/facilityinfo/MSDS/gtsp.pdf)

** (www.facimage.fishersci.com/MSDS/01350.htm)

***(www.chemicaland21.com/arokohi/industrichem/inorganic/Rock%20PHOSPHATE.htm)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jimmy และคณะ (1977) ศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับและตกตะกอนแคดเมียมในดิน โดยพบว่าเมื่อสารละลายแคดเมียมลงในดิน แคดเมียมไอออนจะเคลื่อนที่ออกจากสารละลาย และจะถูกดูดซับบนผิวดิน เกิดเป็นสารประกอบแคดเมียม และพบว่าที่ระดับปริมาณแคดเมียมไอออนสูงจะตกตะกอนอย่างรวดเร็วในรูปผลึก $Cd_3(PO_4)_2$ ได้ดีที่สุดในรูปผลึก โดยพิจารณาจากค่าคงที่ $G_f = -587.1$ ซึ่งเป็นค่าที่เกิดเป็นสารประกอบได้ดีมาก

McGowen และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึงการใช้ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) เพื่อลดค่าการละลายและการเคลื่อนย้ายโลหะหนักชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนในดินบริเวณเตาหลอมแร่ พบว่า DAPสามารถลดการปนเปื้อนโลหะ ในแหล่งน้ำบริเวณพื้นที่เตาหลอมหรืออุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้ โดย DAP มีประสิทธิภาพในการตรึง Cd, Pb และ Zn ไว้ได้มากที่สุด จากแบบจำลองการเคลื่อนย้ายของโลหะหนัก พบว่า DAP เข้าทำปฏิกิริยากับโลหะ Cd, Pb และ Zn ทำให้โลหะเหล่านี้อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะฟอสเฟตที่ตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ricardo และคณะ (2003) ได้ทำการทดสอบในภาคสนามถึงประสิทธิภาพของฟอสเฟตในการการยับยั้งการเคลื่อนที่โลหะตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน มีชุดการทดลองทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง ดังนี้คือ 1)เติม H_3PO_4 100%, 2) เติม 50% H_3PO_4 + 50% $Ca(H_2PO_4)_2$, 3) เติม 50% H_3PO_4 + Phosphate rock 5% และกำหนดให้ ชุดควบคุมไม่มีการเติมฟอสเฟต การทดสอบการชะของโลหะ โดยกระบวนการกลั่นแบบลำดับส่วน (Sequential Extraction) ซึ่งให้เห็นว่าฟอสเฟตทุกชนิดมีประสิทธิภาพดีในการเปลี่ยนรูปองค์ประกอบทางเคมีต่างๆของ Pb ทั้งหมดในดินไปเป็นแร่คลอโรไพโรมอร์ไฟต์ที่มีความเสถียรในดิน และเมื่อการทดสอบการชะของโลหะโดยเทคนิค Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) เพื่อทดสอบหาปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ภายหลังการเติมฟอสเฟต พบว่าปริมาณตะกั่วในสารละลายที่สกัดได้มีปริมาณลดลง โดยมีปริมาณต่ำกว่าระดับ 5 mg/l ที่ทางEPAกำหนดไว้ จากผลการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้ของ H_3PO_4 และ $Ca(H_2PO_4)_2$ หรือ Phosphate rock จะให้ประสิทธิภาพดีในการยับยั้งการเคลื่อนที่ของ Pb โดยจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลง pHในดินน้อย

Wang และคณะ (2001) ได้ศึกษาการปรับเสถียร โลหะหนักหลายชนิดโดยใช้เกลือฟอสเฟตชนิดต่างๆดังนี้คือ $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ และ $MgHPO_4 \cdot 12H_2O$ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของโลหะหนักสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ และ $MgHPO_4 \cdot 12H_2O$ โดยสารเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการลดตะกั่วในสารละลายชะได้สูงสุด (99%) รองลงมาคือสังกะสี (85-89%) แคลเซียม (80-88%) ทองแดง (73-87 %) และนิกเกิล (52%) ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ผสมรวมกับ $CaCO_3$ สำหรับผลการทดสอบในภาคสนามพบว่า สารเคมีปรับเสถียร $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ซึ่งเป็นปุ๋ยทางการเกษตร สามารถใช้แทน $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ ได้ นอกจากนี้ $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นโลหะตะกั่วในสารละลายชะได้สูงสุดมากกว่า99% รองลงมาคือแคลเซียม 98% ทองแดง 97% สังกะสี 96% และมีประสิทธิภาพน้อยสุดในนิกเกิล กล่าวคือมีประสิทธิภาพเพียง 67% อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของนิกเกิลในสารละลายชะยังคงน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1. อุปกรณ์

- 1) บีกเกอร์ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
- 2) ขวดรูปชมพู่ขนาด 150 และ 250 มิลลิลิตร
- 3) ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 100 และ 1000 มิลลิลิตร
- 4) กระจกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร
- 5) ปิเปต ขนาด 25 และ 10 มิลลิลิตร
- 6) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
- 7) ตะแกรงร่อนขนาด 2.0 มิลลิเมตร
- 8) ขวดน้ำกลั่น
- 9) แท่งแก้วคน
- 10) ขวดก้นกลม
- 11) ตลับเมตร
- 12) ฟิล์มหรือเสียม
- 13) จุกยาง
- 14) เครื่องกรองแบบตดความดัน รุ่น B169 บริษัท Gallenkamp
- 15) เครื่องเขย่า รุ่น SGM 300 บริษัท Gallenkamp
- 16) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuged) รุ่น CENTAUR 2 บริษัท Sanyo
- 17) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AA-680 บริษัท Shimadzu

3.1.2. สารเคมี

- 1) น้ำกลั่น
- 2) สารละลายไตรเอทานอลามีน (triethanolamine) 2 N (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 3) กรดไฮโดรคลอริก 6, 0.1N และ 0.2 N (บริษัท Fisher Scientific, COM Grade)
- 4) สารละลายเบเรียมคลอไรด์ 0.5 N (บริษัท Ajax Finechem, AR Grade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) สารละลายโบรโมครีซอลกรีนกับเมธิลเรด (บริษัท Fisher Scientific, AR Grade)
- 6) สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) 1 N (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 7) สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลท [$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$] 10% (บริษัท BDH, AR Grade)
- 8) สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) 50% (บริษัท Fisher Scientific, AR Grade)
- 9) สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1 N และ 0.25 N (บริษัท Fisher Scientific, AR Grade)
- 10) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 0.1 N (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 11) ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol) (บริษัท Baker Analyzed, AR Grade)
- 12) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Acidified, NaCl 10%) (บริษัท Lab-Scan Analytical Reagent, AR Grade)
- 13) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40% (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 14) สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 15) สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 1.0 N (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)
- 16) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) (บริษัท Lab-Scan, Analytical Reagent, COM Grade)
- 17) กรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4) (บริษัท Carlo Erba Reagent, COM Grade)
- 18) แบเรียมไดฟีนิลลามีน ซัลโฟเนต (BDS) 0.16% (บริษัท Fisher Scientific, AR Grade)
- 19) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N (บริษัท Carlo Erba Reagent, AR Grade)

3.2 ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ดินตัวอย่างที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ ทำการเก็บรวบรวมจากบริเวณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ โดยแผนที่จุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยจากการอ้างอิงถึงแผนที่ชุดดินในเขตกรุงเทพมหานครพบว่าบริเวณพื้นที่จัดเก็บตัวอย่างจัดอยู่ในชุดดินบางกอก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535)

3.3 การเก็บตัวอย่างดิน

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บจากจุดเก็บ โดยวิธี Equal interval on diagonal lines ซึ่งมีวิธีเก็บตัวอย่าง ดังนี้คือ

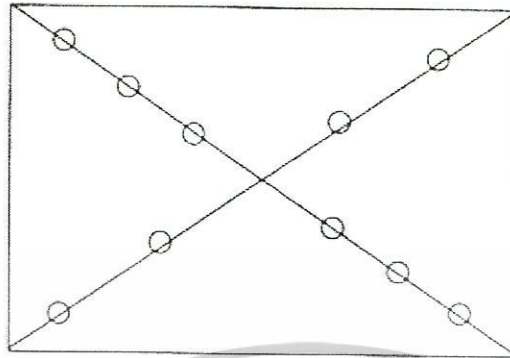
1. แบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.5x1.5 เมตร



รูปที่ 3.1 พื้นที่การเก็บตัวอย่างขนาด 1.5x1.5 เมตร

2. ทำการลากเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้นแบ่งกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยแบ่งระยะห่างระหว่างจุดเท่ากัน 10 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วจุดเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แนวเส้นทแยงมุมที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

3. การเก็บตัวอย่างดินแต่ละจุดทำดังนี้ ขุดดินเป็นหลุมรูปกลมขวานลึก ประมาณ 20 เซนติเมตร ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 10 จุด ทั่วทั้งพื้นที่ตามที่กำหนด คลุกเคล้าตัวอย่างดินเข้าด้วยกันเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (ภาคผนวก ก)

นำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมได้จากข้อ 3.3 มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาสมบัติของดิน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
สี	สังเกตด้วยตา
ดินเหนียว(%)*	hydrometer
ความชื้น(%)	อบแห้งที่ อุณหภูมิ 103 °C
ค่าพีเอช	pH meter 1:1 (soil:water)
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	ดัดแปลงจากวิธี Rhoades
ปริมาณสารอินทรีย์(%)	ดัดแปลงจากวิธี Walkley-Black
ความเป็นกรดของดิน	อิมตัวด้วย BaCl ₂
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด*	Bray 2
ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น	สกัดตามมาตรฐาน โรงงานอุตสาหกรรม

*ข้อมูล อ้างอิงจากรายงานประจำปีพื้นที่ราบต่ำภาคกลาง ปี 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมดินสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนแคดเมียม

1. ชั่งดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมได้จากข้อ 3.3 จำนวน 1 กก. (ดินแห้ง)
2. ปิ่ปดสารละลายแคดเมียมเข้มข้น 3000 มก./ล. จำนวน 1 ลิตร เติมลงในดินตัวอย่างที่ชั่งจากข้อ 1 โดยวิธีพ่นให้เป็นละอองฝอย และคลุกเคล้าให้เข้ากัน
3. ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง 24-48 ชั่วโมงในตู้ดูดควัน แล้วนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

3.6 การศึกษาประสิทธิภาพในการปรับเสถียรของปุ๋ยฟอสเฟต

3.6.1 ชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่างที่เตรียมในหัวข้อ 3.5 จำนวน 10 กรัม (ดินแห้ง) ใส่ลงในบีกเกอร์ 4 ใบและเติมปุ๋ยฟอสเฟตต่างๆกัน ดังนี้
 - บีกเกอร์ที่ 1 เติมปุ๋ยหินฟอสเฟต
 - บีกเกอร์ที่ 2 เติมปุ๋ยไคแอมโมเนียมฟอสเฟต
 - บีกเกอร์ที่ 3 เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
 - บีกเกอร์ที่ 4 ไม่เติมปุ๋ยฟอสเฟต (ชุดควบคุม)
 โดยกำหนดให้อัตราส่วน โดย โมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียมเท่ากับ 0.15 ในทุกบีกเกอร์ ยกเว้นในชุดควบคุม
2. จากนั้นนำตัวอย่างดินที่เตรียมผสมให้เข้ากันและทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ตั้งทิ้งไว้ นาน 4 สัปดาห์
3. เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ทำการหาความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือภายหลังการปรับเสถียรโดยวิธีในหัวข้อ 3.7 แล้ววัดความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายชะด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่ละชุดทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.6.2 ศึกษาปริมาณของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียร

1. เติมปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 3.6.1 ในอัตราส่วนต่างๆกันลงในดินชุดบางกอกที่เตรียมไว้จำนวน 10 กรัมน้ำหนักแห้ง โดยแปรค่าอัตราส่วน โดย โมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เป็น 0.025, 0.50, 0.1 และ 0.15 ตามลำดับ
2. ผสมให้เข้ากันและทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทิ้งไว้ นาน 4 สัปดาห์ เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด ทำการทดสอบการชะของโลหะด้วยวิธีในหัวข้อ 3.7 แล้ววัดความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายชะด้วย เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่ละชุดทำซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

1. เติมปุ๋ยฟอสเฟตชนิดที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.6.1 ในปริมาณที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.6.2 ในดินชุดบางกอก แปรค่าเวลาในการสัมผัสเป็น 0, 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ
2. เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำทำการทดสอบการชะของโลหะด้วยวิธีในหัวข้อ 3.7 แล้ววัดความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายชะด้วย เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แต่ละชุดทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.7 วิธีการสกัดสารและการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสกัด ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์โลหะในดินตัวอย่าง ทำได้โดยการสกัดแคดเมียมที่ชะละลายตามวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำทิ้งตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) ซึ่งมีวิธีและขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1. เตรียมสารละลายชะ โดยการนำน้ำกลั่นมาปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เท่ากับ 5 ด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ในอัตราส่วน 20:80
2. นำดินตัวอย่างที่ผ่านการปรับเสถียร มาเติมสารละลายชะปริมาตร 20 เท่า ของน้ำหนักดินตัวอย่าง
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 200 รอบต่อวินาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อวินาที จนได้สารละลายใส
4. นำสารละลายส่วนใส ที่ได้จากข้อ 3 มากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว แล้วนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยเทคนิค flame atomizer (FAAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรของดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม โดยปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ ดังนี้ คือ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และ ปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของชุดดินบางกอก 2) ศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร 3) ศึกษาหาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร และ 4) ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการปรับเสถียรจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดแคดเมียมในชุดดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยเทียบกับชุดควบคุม ผลการทดลองแสดงดังนี้

4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชุดดิน

นำดินตัวอย่างที่เก็บรวบรวมมาจากบริเวณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งจัดเป็นดินชุดบางกอก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) โดยใช้วิธี Equal interval on diagonal lines ในหัวข้อที่ 3.3 มาทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน โดยลักษณะและปริมาณที่วัดของพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และข้อมูลที่เกี่ยวข้องใน ภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของชุดดินบางกอก

พารามิเตอร์	ลักษณะ/ปริมาณที่วัดได้
1. สมบัติทางกายภาพ	
สี	สีน้ำตาลปนเทา
ความชื้น	4.60
ดินเหนียว(%)*	74.60
2. สมบัติทางเคมี	
ค่าความเป็นกรด-เบส	4.14
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (มก.สมมูล/100 ก. ดินแห้ง)	37.20
ปริมาณสารอินทรีย์ (%)	5.29
ค่าความเป็นกรดของดิน(มก.สมมูล/1ก. ดินแห้ง)	0.303
ปริมาณฟอสฟอรัส* (มก./กก. ดินแห้ง)	40.00
ปริมาณแคลเซียมเริ่มต้น(มก./กก. ดินแห้ง)	nd

* ค่าเฉลี่ยชุดดินบางกอก รายงานประจำปีพื้นที่ราบต่ำภาคกลาง ปี 2545 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

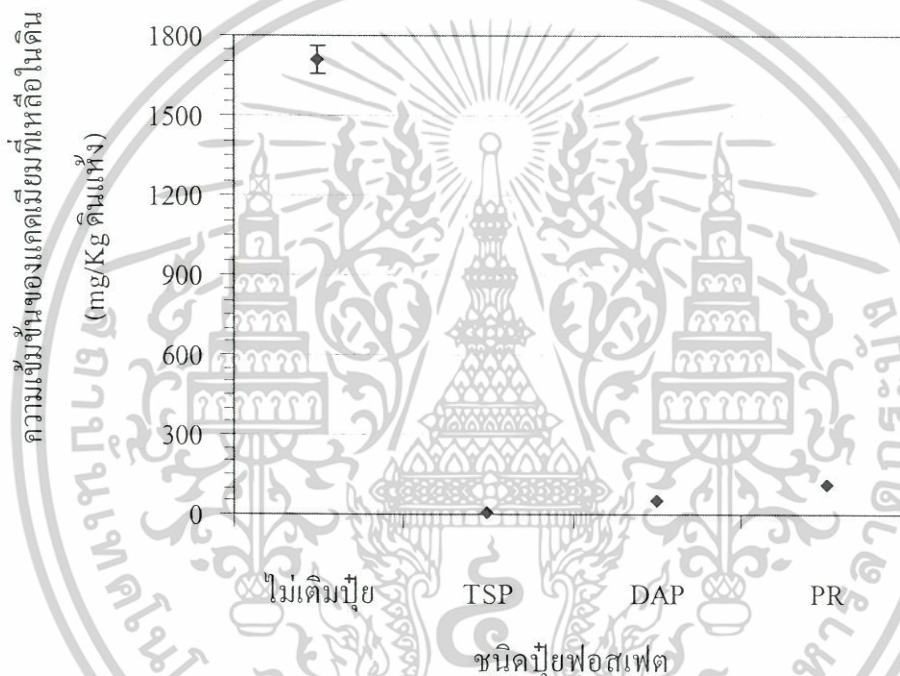
nd = non-detected

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ดินตัวอย่างมีความชื้น 4.6% และมีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว 74.60 ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวมาก สีของดินมี 2 สี คือสีน้ำตาลปนเทาซึ่งเป็นสีที่เข้มและมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 5.29% ดินที่ใช้ในการศึกษาจัดเป็นดินที่ค่อนข้างมีความอุดมสมบูรณ์ โดยกรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดให้ดินที่มีค่าอินทรีย์วัตถุตั้งแต่ 4.5 % ขึ้นไปจัดเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่ใช้พบว่ามีค่าเท่ากับ 4.14 แสดงว่าดินตัวอย่างค่อนข้างเป็นกรด โดยมีความเป็นกรดของดินเท่ากับ 0.303 มก.สมมูล/1 ก. ดินแห้ง ส่วนค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 37.2 มก.สมมูล/100 ก. ดินแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง อาจกล่าวได้ว่าชุดดินตัวอย่างมีความสามารถในการรักษาสภาพการเปลี่ยนแปลงพีเอช (buffer capacity) ได้สูงเช่นกัน และจากการวัดความเข้มข้นแคลเซียมเริ่มต้นในดินพบว่ามีค่าความเข้มข้นน้อยมากและต่ำกว่าขีดความสามารถของเครื่องอะตอมมิคแอบซorbชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะวัดได้ (น้อยกว่า 0.002 พีพีเอ็ม) แสดงให้เห็นว่าดินตัวอย่างที่ใช้ไม่มีการปนเปื้อนจากโลหะแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

การศึกษาหาชนิดปุ๋ยที่มีความเหมาะสมในการปรับเสถียรทำการทดลองโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม ด้วยปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด คือ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียมเท่ากับ 0.15 และใช้เวลาในการปรับเสถียร 4 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ ข.2



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในชุดดินตัวอย่างหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยฟอสเฟตทั้งสามชนิดเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมปุ๋ย

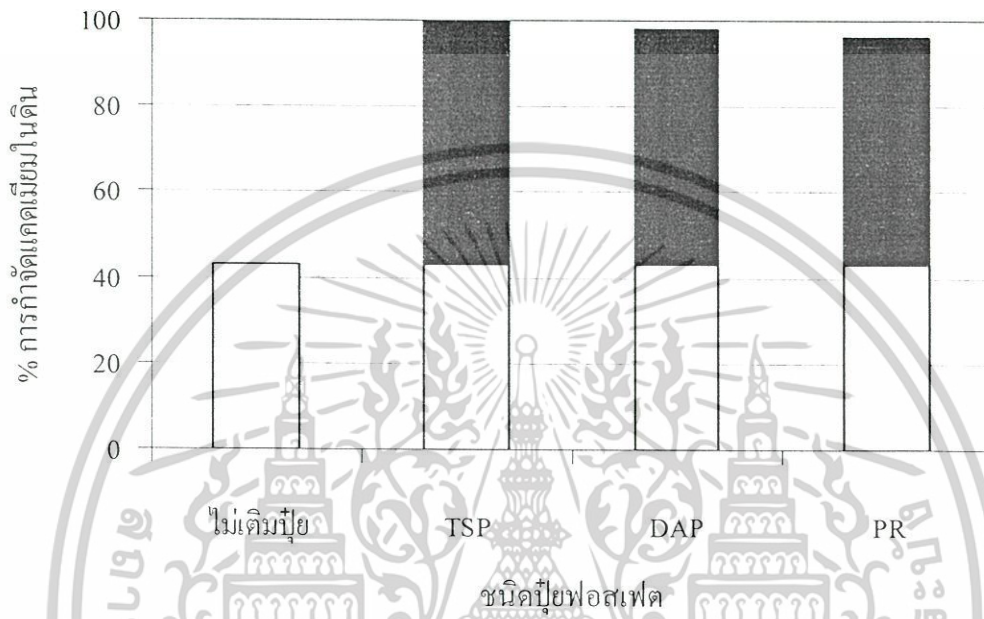
จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยฟอสเฟต (ชุดควบคุม) มีค่าเท่ากับ 1,710.76 (±52.21) มก./กก.ดินแห้ง เมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของแคดเมียมในดินเท่ากับ 3,000 มก./กก.ดินแห้ง ปริมาณการลดลงของแคดเมียมในดินชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าดินตัวอย่างมีกลไกทางธรรมชาติในการเกิดปฏิกิริยากับแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน เช่น กระบวนการดูดซับ (adsorbition) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexation) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่เติมลงไปในดินตัวอย่างพบว่าดินตัวอย่างที่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในดินน้อยกว่าดินชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยฟอสเฟตทั้ง 3 ชนิดมีความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในดินที่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตชนิดแตกต่างกัน พบว่าดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต มีปริมาณแคดเมียมที่เหลือในดินน้อยที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในดินเท่ากับ $3.82 (\pm 1.4)$ มก./กก. ดินแห้ง ซึ่งมีค่าแคดเมียมในดินไม่เกินตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 5 พีพีเอ็ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2535) รองลงมาคือชุดดินที่เติมปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและชุดดินที่เติมปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยมีความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในดินภายหลังการเติมปุ๋ยเท่ากับ เท่ากับ $50.89 (\pm 1.93)$ และ $110.67 (\pm 10.22)$ มก./กก. ดินแห้ง ตามลำดับ พบว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุด

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรแคดเมียมในดินชุดควบคุมซึ่งไม่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตพบว่าดินมีกลไกทางธรรมชาติในการปรับเสถียรแคดเมียม โดยมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเท่ากับ 43.00% และเมื่อเติมปุ๋ยเข้าไป พบว่าปุ๋ยทั้ง 3 ชนิดทำให้ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปุ๋ย TSP มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรเพิ่มมากขึ้นที่สุดเท่ากับ 56.89% รองลงมาคือ DAP และ PR มีค่า %การกำจัดเท่ากับ 55.32 และ 53.33% ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) เนื่องจากบนผิวดินมีประจุลบเป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถดูดซับประจุบวกที่เป็นโลหะแคดเมียมได้ ประกอบกับชุดดินตัวอย่างเป็นดินเหนียวมีอนุภาคดินขนาดเล็ก พื้นที่ผิวในการดูดซับมากทำให้กำจัดแคดเมียมได้อย่างดี เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนการปรับเสถียรแคดเมียมของดินที่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตเทียบกับดินชุดควบคุม พบว่าดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมได้มากที่สุด คิดเป็น 99.79% รองลงมาคือดินที่มีการเติมไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและดินที่เติมปุ๋ยหินฟอสเฟต ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรแคดเมียมเท่ากับ 97.07 และ 93.53% ตามลำดับ (ตารางที่ ก.2) สาเหตุที่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับปุ๋ยอีก 2 ชนิด อาจเป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการละลายน้ำของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งจัดเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี และแตกตัวให้ฟอสเฟตไอออนได้ง่าย ส่งผลให้มีปริมาณฟอสเฟตไอออนมากพอที่เข้าทำปฏิกิริยากับแคดเมียม และจากงานวิจัยของ Jimmy และคณะ (1977) เมื่อพิจารณาจากค่าเทอร์โมไดนามิกส์ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ $Cd_3(PO_4)_2$ พบว่ามีค่า $\Delta G_f^\circ = -587.1$ กิโลแคลอรี/โมล ซึ่งมีค่าต่ำแสดงว่าปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเกิดได้ง่าย นอกจากนี้ผลึกที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงอีกด้วย และจากงานวิจัยของ Basta และ McGowen (2003) พบว่า DAP มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมได้ดีกว่า PR โดย DAP มีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 94.6% และ PR มีเอกสารเป็นเอกสารทงสวนเวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุ้ญาติเห็นาเป้เซ้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 53% จึงเลือกปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเพื่อทำการทดลองในตอนต่อไป

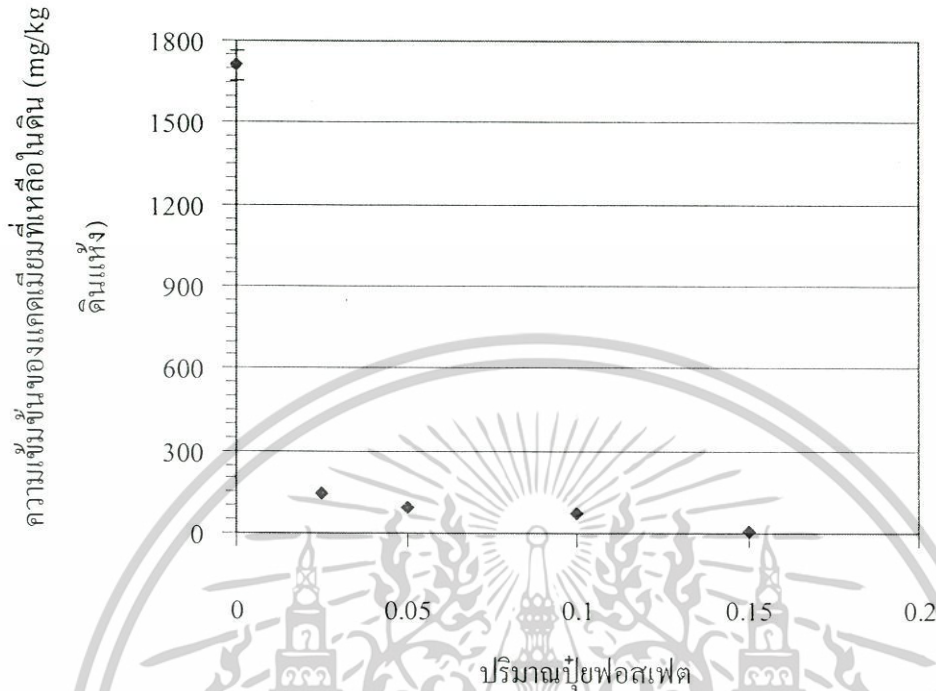


รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชุดควบคุม (ดินที่ไม่เติมปุ๋ย) (□) และดินที่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ กัน (■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 4 สัปดาห์

4.3 ศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร

ในการศึกษาหาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ลงไปในชุดดินตัวอย่าง โดยแปรค่าอัตราส่วน โดย โมลของฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เท่ากับ 0.025, 0.05, 0.1 และ 0.15 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และทำการหาความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลืออยู่ภายหลังการปรับเสถียร โดยวิธีมาตรฐานการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และวัดความเข้มข้นของแคดเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันเปกโตรโฟโตมิเตอร์ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางภาคผนวกที่ ง.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



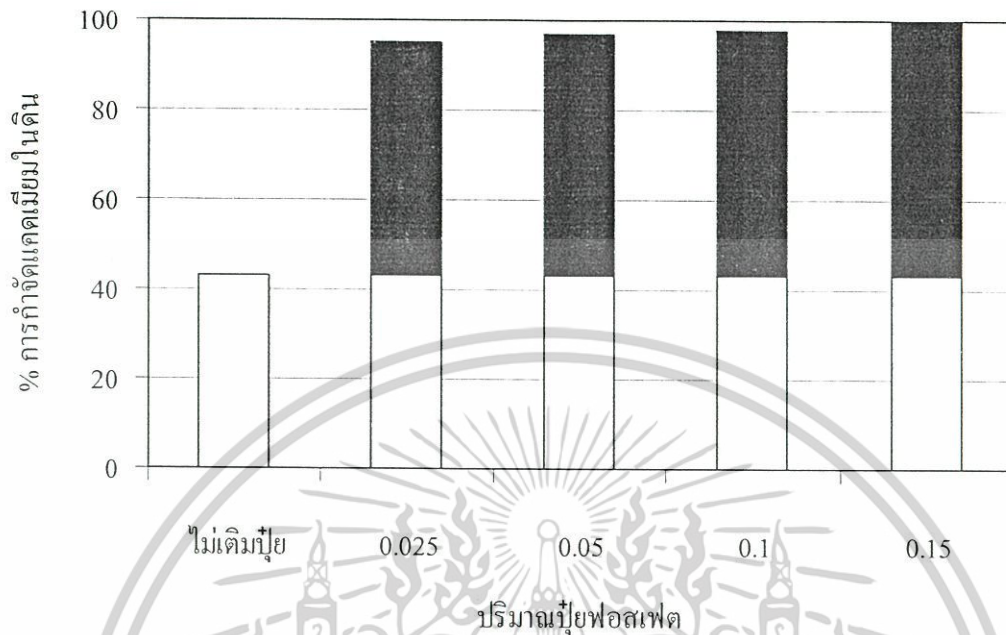
รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในชุดดินตัวอย่างภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ยTSP ในอัตราส่วนต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 ปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ที่เติมลงในดินมีผลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในดินภายหลังการปรับเสถียร เมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เพิ่มมากขึ้นพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่เหลือในดินมีค่าน้อยลง อัตราส่วน โมลระหว่างฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม ที่ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมเหลือในดินน้อยที่สุดคือ 0.15 รองลงมาคือ 0.1, 0.05 และ 0.025 โดยความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในดินมีค่าในแต่ละอัตราส่วนเท่ากับ $3.82 (\pm 0.35)$, $71.72 (\pm 3.1)$, $96.74 (\pm 2.73)$ และ $148.39 (\pm 8.32)$ มก./กก ดินแห้ง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรของแคดเมียมในดินที่มีปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ในปริมาณต่างๆกัน (รูปที่ 4.4) พบว่าในดินที่ไม่มีการเติมปุ๋ยฟอสเฟต ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมีค่าเท่ากับ 43.00 % เมื่อเติมปุ๋ยฟอสเฟตในดินตัวอย่างในปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 0.025 โมล เป็น 0.05, 0.1 และ 0.15 โมลของฟอสฟอรัสตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 91.33, 94.34, 95.81, และ 99.79 ตามลำดับ การเพิ่มอัตราส่วน โดย โมลของฟอสฟอรัสต่อโมลของแคดเมียม ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในดินตัวอย่าง ซึ่งจะเพิ่มโอกาสในการทำปฏิกิริยากับแคดเมียมในดิน จึงเลือกอัตราส่วน โดยโมลระหว่างฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม = 0.15 เพื่อ

ทำการทดลองในตอนที่ 4

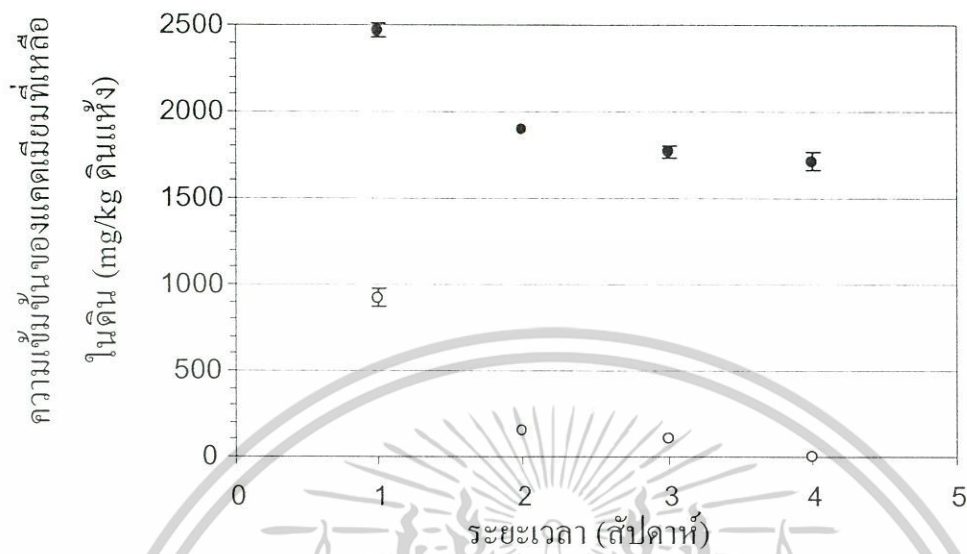
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชุดควบคุม (ดินที่ไม่เติมฝุ่น) (□) และดินที่มีการเติมฝุ่น TSP ในปริมาณแตกต่างกัน (■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 4 สัปดาห์

4.4 ศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการปรับเสถียร

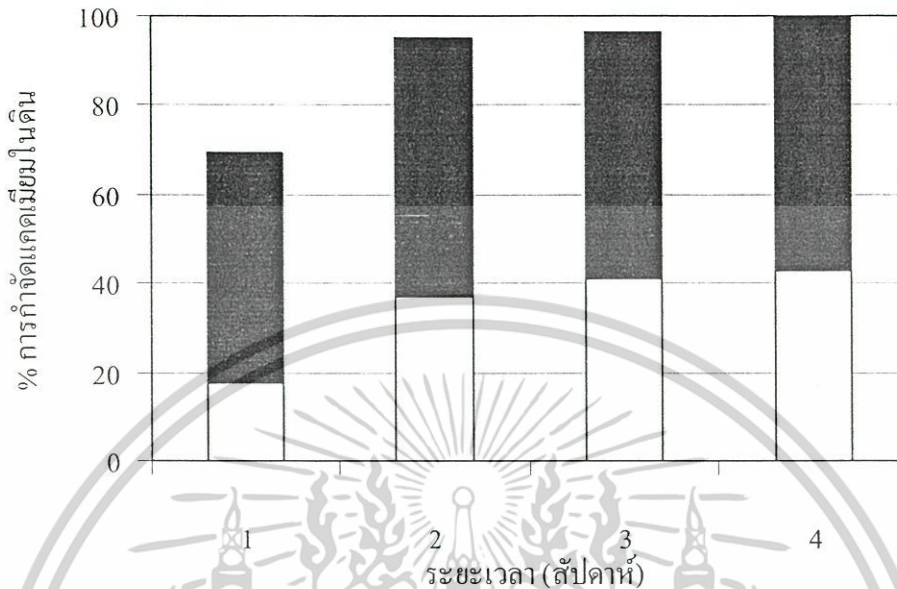
ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร ทำการทดลองโดยเติมฝุ่นทริปเปิล ซูเปอร์ฟอสเฟต ในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เท่ากับ 0.15 โดยแปรค่าระยะเวลาในการปรับเสถียรเป็น 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์และทำการหาความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลืออยู่หลังจากการปรับเสถียร โดยวิธีมาตรฐานการสกัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและวัดความเข้มข้นของแคดเมียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.5 และตารางที่ จ.2



รูปที่ 4.5 สัดส่วนความเข้มข้นของแคะเมียมที่เหลือในชุดดินที่เติมน้ำ (○) และไม่เติมน้ำ (●)

ที่เหลือภายหลังการปรับเสถียร ด้วยปุ๋ย TSP ในระยะเวลาต่างกัน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเสถียรเพิ่มขึ้นความเข้มข้นแคะเมียมที่เหลือในดินมีแนวโน้มลดลงด้วย ระยะเวลาที่ทำให้ความเข้มข้นแคะเมียมในดินเหลือน้อยที่สุดคือที่ 4 สัปดาห์ รองลงมาคือ 3, 2 และ 1 สัปดาห์ โดยความเข้มข้นของแคะเมียมที่เหลือในดินของแต่ละระยะเวลาได้แก่ 3.82 (± 0.35), 102.28 (± 7.15), 151.99 (± 19.41) และ 921.42 (± 54.54) ตามลำดับ ผลการทดลองเห็นชัดเจนว่าหาระยะเวลาในการปรับเสถียรมากขึ้น จะสามารถกำจัดโลหะแคะเมียมได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากแคะเมียมมีเวลาในการสัมผัสกับปุ๋ยฟอสเฟตมากขึ้นทำให้เพิ่มโอกาสในการเกิดกลไกปฏิกิริยาในดินได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชุดควบคุม (ดินที่ไม่เติมปุ๋ย)(□) และดินที่มีการเติมปุ๋ย TSP (■) ณ ระยะเวลาต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซนต์การปรับเสถียรแคดเมียมในดินชุดควบคุม และดินที่มีการเติมปุ๋ย TSP (รูปที่ 4.6) พบว่าเปอร์เซนต์การปรับเสถียรในชุดดินทั้งสองชุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการปรับเสถียรเพิ่มขึ้นจาก 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ โดยชุดดินที่ไม่มีการเติมปุ๋ยหรือชุดควบคุมมีเปอร์เซนต์การปรับเสถียรเท่ากับ 17.68, 36.90, 41.09 และ 42.98% ตามลำดับ สำหรับชุดดินที่มีการเติม TSP พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 69.29, 94.93, 96.59 และ 99.89% ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นสามารถอธิบายได้ดังกล่าวในหัวข้อข้างต้น ดังนั้นในชุดการทดลองนี้ระยะเวลา 4 สัปดาห์เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียรและเมื่อทำการวัดค่าพีเอชของดินหลังการปรับเสถียร ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.68 ซึ่งค่อนข้างเป็นกรด นั้นแสดงว่าความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่ลดลงไม่ได้เกิดเป็นสารประกอบกับไฮดรอกไซด์ที่มีอยู่ในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความสามารถของฟอสเฟตที่อยู่ในรูปปุ๋ยทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไคแอม โมเนียมฟอสเฟต ปุ๋ยหินฟอสเฟต และปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ในการปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือชุดดินบางกอก มีลักษณะทางกายภาพดังนี้คือ เเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวเท่ากับ 74.5 มีสีน้ำตาลปนเทา ความชื้นเท่ากับ 4.6% ความเป็นกรด-เบส 4.14 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 37.2 มก.สมมูล/100 ก. ดินแห้ง อินทรีย์วัตถุ 5.29% ค่าความเป็นกรดของดิน 0.303 มก.สมมูล/100 ก. ดินแห้ง ปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้น 40 มก./กก. ดินแห้ง และปริมาณแคดเมียมเริ่มต้นน้อยมาก (น้อยกว่า 0.002 พีพีเอ็ม)

จากการศึกษาชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีเหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยเปรียบเทียบปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิดคือ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยไคแอม โมเนียมฟอสเฟต และปุ๋ยหินฟอสเฟต พบว่าดินที่มีปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต มีความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือภายหลังการปรับเสถียรน้อยที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยไคแอม โมเนียมฟอสเฟต และ ปุ๋ยหินฟอสเฟต โดยมีค่าความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในดินเท่ากับ $3.82(\pm 0.35)$, $50.89(\pm 1.93)$ และ $110.67(\pm 10.22)$ mg/g ดินแห้ง ตามลำดับ ชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรมากที่สุดคือ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต มีค่าเท่ากับ 99.79%

จากการศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการปรับเสถียร โดยแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เท่ากับ 0.025, 0.05, 0.1 และ 0.15 พบว่าอัตราส่วนที่ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมในดินเหลือน้อยที่สุดหลังการปรับเสถียร คือ 0.15

จากการศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการปรับเสถียร โดยแปรค่าระยะเวลาในการปรับเสถียรเป็น 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการปรับเสถียรมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมที่เหลือในดินน้อยลงโดยระยะเวลาที่ทำให้ความเข้มข้นแคดเมียมเหลือน้อยสุดคือ 4 สัปดาห์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาถึงการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมในพื้นที่จริง
2. ศึกษาถึงการปรับเสถียรโลหะชนิดอื่นและอิทธิพลของโลหะผสมที่มีผลต่อการปรับเสถียร
3. ศึกษาถึงการปรับเสถียรในดินที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2535. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. รายงานประจำปีพื้นที่ราบต่ำภาคกลาง ปี2545. กรุงเทพฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 . กรุงเทพฯ.
- เกศิณี พุกลานนท์. 2547. การทำให้โลหะหนักจำนวนมากที่ปนเปื้อนในดินเสถียร. เอกสารประกอบการเรียนวิชาสัมมนา สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพี. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชลอ จารุสุทธิรักษ์. 2547. Ozonation. เอกสารประกอบการเรียนวิชาหน่วยปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชุตินา สันท์ภักดิ์ และพรภิมล พัดภู. 2544. การดูดซับทองแดงและแคดเมียมในน้ำชะละลายจากกากตะกอนโดยใช้ไคโตซาน. โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิตยา ศรีอุดมศิลป์ เบญจรัตน์ บุญช่วย และวิศรุต สุนทรารักษ์. 2544. การล้างดินและกากตะกอนที่ปนเปื้อนโครเมียมโดยโซโครเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมอดีทีเอ และการละลายผลมโซโครเดียมเมตาไบซัลไฟต์กับโซโครเดียมอดีทีเอ. โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุริตา ตูลยะเสถียร โกศล วงศ์สุวรรณค์ และสถิต วงศ์สุวรรณค์. 2544. มลพิษสิ่งแวดล้อม (ปัญหาสังคมไทย). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Basta, N.T. and McGowen, S.L. 2003. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil. **Journal of Environmental Pollution**. 127: 73-82
- Conner, J.R. 1994. Chemical Stabilization of Contaminated Soils. In: **Hazardous Waste Site Soil Remediation**. pp. 81-170. D.J.Wilson.A.N.Clarke., eds.. New York: (Marcel Dekker)
- Jimmy J, Street, W.L.Lindsay, and B.R. Sabey1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. **Environmental Quality**. 6(1):72-77
- Lin, C.-F. Lo, S.-S. H.-Y. Lee., Y., 1998. Stabilization of cadmium contaminated soils using synthesized zeolite. **Journal of Hazardous Materials**. 60: 217-226
- Kim, J.-Y.; Allen
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้หาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lin, C.-F. Lo, S.-S. H.-Y. Lee., Y., 1998. Stabilization of cadmium contaminated soils using synthesized zeolite. **Journal of Hazardous Materials**. 60: 217-226
- Kim, J.-Y.; Allen and Kim, K.-W. 2003. Stabilization of available Arsenic in highly contaminated mine tailings using Iron. **Environmental Science Technology**. 37: 189-195.
- Mcgowen, S.L., Basta, N.T. and Brown, G.O. 2001. Use of Diammonium Phosphate to reduce Heavy Metal Solubility and Transport in Smelter-Contaminated Soil. **Journal of Environmental Quality**. 30(2): 493-500
- Ricardo, M., Xinde, C., Ming, C. 2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application. **The Science of the total Environment**. 305: 117-127.
- Wang, Y.M., Chen, T.C. Yeh, K.J. and Shue, M.F. 2001. Stabilization of an Elevated Heavy Metal Contaminated Site. **Journal of Hazardous Material**: 63-74.
- <http://www.matichon.co.th/Khaosod>. ตะลิ่งผลตรวจ"แคดเมียม"ห้วยแม่ดาว เกินค่ามาตรฐาน-"ผาแดง"ได้น้อยกว่า. (17/06/2547)
- <http://www.cfindustries.com/facilityinfo/MSDS/gtsp.pdf>. **Material Safety Data Sheet**. (05/04/2548)
- <http://www.facimage.fishersci.com/MSDS/01350.htm>. **MSDS/Diammoniumphosphate**. (05/04/2548)
- <http://www.chemicaland21.com/arokohi/industrilchem/inorganic/Rock%20PHOSPHATE.htm>. **MSDS/Phosphate Rock**. (05/04/2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก จุดเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

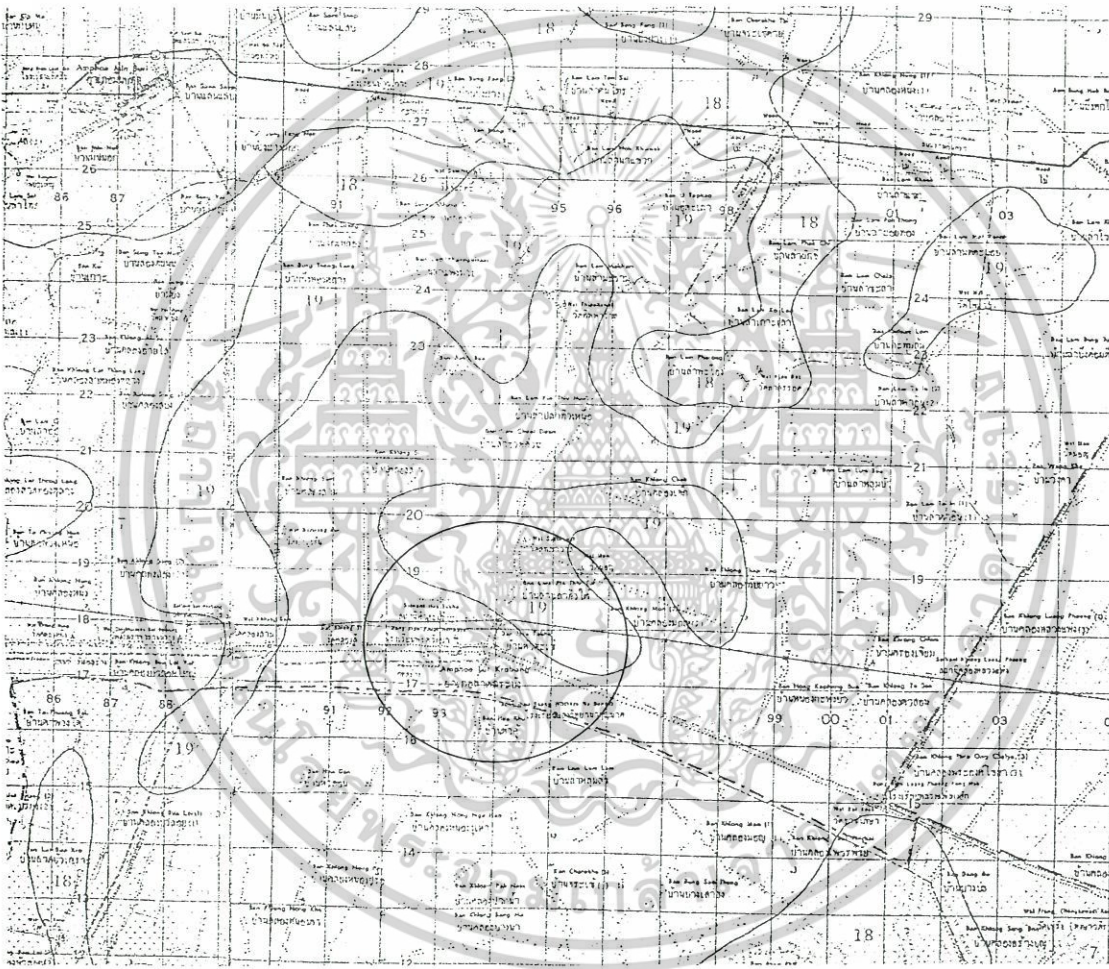
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ภาคผนวก จ ข้อมูลจากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ภาคผนวก ก

จุดเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ ก.1 จุดเก็บตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร จะต้องมีข้อมูล ซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังตาราง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์ชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ชนิดปุ๋ย		ปริมาณน้ำชะ (มล.)	ความเข้มข้นของCd ที่เหลือในน้ำชะ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของCd ที่เหลือในดิน (มก./กก. ดินแห้ง)
ไม่เติมปุ๋ย	1	194	3.649	1769.76
	2	196	3.452	1691.48
	3	191	3.499	1670.77
TSP	1	178	0.201	3.58
	2	165	0.256	4.22
	3	187	0.196	3.67
DAP	1	189	0.107	50.42
	2	195	0.101	49.23
	3	202	0.105	53.01
PR	1	172	0.163	100.04
	2	169	0.285	120.43
	3	192	0.232	111.53

ได้ทำการเจือจางความเข้มข้นของแคดเมียมในชุดข้อมูลไม่เติมปุ๋ย (ควบคุม) ชุดที่เติม DAP และชุดที่เติม PR โดยปีเปตมาจากน้ำชะที่ผ่านการกรอง 2 มล. ปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถนำค่าที่คำนวณได้มาแสดงผลดังตาราง ซึ่งการหาชนิดที่เหมาะสมในการปรับเสถียรจะเติมปุ๋ยในปริมาณอัตราส่วน โดยโมลฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม เท่ากับ 0.15 ทั้งไว้นาน 4 สัปดาห์

ตารางที่ ข.2 ศึกษาชนิดปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ชนิดปุ๋ย	ปริมาณCdที่เหลือจากการปรับเสถียร (มก./กก.ดินแห้ง)			ค่าเฉลี่ย (มก./กก. ดินแห้ง)	%ประสิทธิภาพในการกำจัด
	ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3		
ไม่เติมปุ๋ย	1769.76	1691.48	1670.77	1710.67(±52.21)	
TSP	3.58	4.22	3.67	3.82(±0.35)	99.79
DAP	50.42	49.23	53.01	50.89(±1.93)	97.03
PR	100.04	120.43	111.53	110.67(±10.22)	93.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ของสมบัติทางกายภาพและเคมีในพารามิเตอร์ต่างๆ จะต้องมีการได้มาซึ่งข้อมูลซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซนต์ความชื้น

ปัจจัยที่ศึกษา	ตัวอย่าง			เฉลี่ย
	1	2	3	
น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	5.01	5.00	5.01	5.01±(0.01)
น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	4.78	4.76	4.79	4.77±(0.01)
% ความชื้น	4.59	4.80	4.41	4.7±(0.2)

ตารางที่ ค.2 ค่าพีเอช

ปัจจัยที่ศึกษา	ตัวอย่าง			เฉลี่ย
	1	2	3	
น้ำหนักดิน (กรัม)	5.00	5.00	5.00	5.00
ค่าความเป็นกรดเป็นเบส	4.16	4.13	4.13	4.14(±0.02)

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมี

ตารางที่ ค.3 เปอร์เซนต์ปริมาณอินทรีย์สาร

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา		
	น้ำหนักดินแห้ง(กรัม)	ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตด้วย FAS (มล.)	
		ตัวอย่าง	แบลจค์
1	0.5	15.7	27.1
2	0.5	15.8	27.7
3	0.5	16.5	28.6
เฉลี่ย	0.5	16(±0.44)	27.8(±0.75)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ความเป็นกรดของดิน

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา			
	น้ำหนักดิน (กรัม)	% ความชื้น	ปริมาตร 0.2 HCl ที่ใช้ ไทเทรต (มล.)	
			ตัวอย่าง	เบสจังก์
1	8.00	4.41	9.2	20.6
2	8.00	4.41	8.7	21.5
3	8.00	4.41	8.8	20.9
เฉลี่ย	8.00	4.41	8.9(± 0.26)	21(± 0.46)

ตารางที่ ค.5 ความเป็นกรดของดินความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ศึกษา			
	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	% ความชื้น	ปริมาตร 0.1 HCl ที่ใช้ ไทเทรต (มล.)	
			ตัวอย่าง	เบสจังก์
1	9.536	4.56	3.8	0.1
2	9.491	4.56	4.1	0.4
3	9.617	4.56	3.8	0.1
เฉลี่ย	9.548(± 0.06)	4.56	3.9	0.2(± 0.17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร จะต้องมีการได้มาซึ่งข้อมูลซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังตาราง

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลในวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ปริมาณปุ๋ย (โมล P/Cd)	ปริมาตรน้ำชะ (มล.)	ความเข้มข้นของCd ที่เหลือในน้ำชะ (พีพีเอ็ม)	ความเข้มข้นของCdที่เหลือใน ดิน (มก./กก. ดินแห้ง)	
ไม่เติมปุ๋ย	1	194	3.649	1769.76
	2	196	3.452	1691.48
	3	191	3.499	1670.77
0.025	1	191	0.312	149.31
	2	184	0.661	156.21
	3	193	0.289	139.64
0.05	1	178	0.226	100.56
	2	184	0.208	95.78
	3	185	0.207	95.89
0.1	1	174	4.029	70.11
	2	181	4.160	75.30
	3	174	4.010	69.77
0.15	1	178	0.201	3.58
	2	165	0.256	4.22
	3	187	0.196	3.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการเจาะความเข้มข้นของแคดเมียมในชุดข้อมูลที่ไม่เติมปุ๋ยและเติมปริมาณปุ๋ยในอัตราส่วนโดยโมลฟอสฟอรัสต่อแคดเมียม 0.025 และ 0.05 โดยปีปेतมาจากน้ำชะที่ผ่านการกรอง 2 มล. ปรับปริมาตรเป็น 50 มล.

ดังนั้น สามารถนำค่าที่คำนวณได้มาแสดงผลดังตาราง ซึ่งการหาปริมาณที่เหมาะสมในการปรับเสถียรจะใช้ปุ๋ยชนิด TSP ที่ปริมาณต่าง ๆ ทั้งไว้นาน 4 สัปดาห์

ตารางที่ ง.2 ศึกษาปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ปริมาณ	ปริมาณ แคดเมียมที่เหลือจากการ ปรับเสถียร (มก./กก.ดิน)			ค่าเฉลี่ย (มก./กก.ดินแห้ง)	% ประสิทธิภาพ ในการกำจัด
	1	2	3		
ไม่เติมปุ๋ย	1769.76	1691.48	1670.77	1710.67(±52.21)	
0.025	149.31	156.21	139.64	148.39(±8.32)	91.33
0.05	100.56	95.78	95.89	96.74(±2.73)	94.34
0.1	70.11	75.3	69.77	71.72(±3.10)	95.81
0.15	3.58	4.22	3.67	3.82(±0.35)	99.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

การได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร จะต้องมีข้อมูลซึ่งจะนำมาแปรค่าโดยการคำนวณ ซึ่งจะแสดงได้ ดังตาราง

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลในการวิเคราะห์ระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ระยะเวลา (สัปดาห์)		ปริมาณน้ำชะ (มล.)		ความเข้มข้นของ แคดเมียมที่ละลายในน้ำ ชะ (พีพีเอ็ม)		ความเข้มข้นของ แคดเมียมที่ละลายใน ดิน(มก./กก. ดินแห้ง)	
		เต็มปุ๋ย	ไม่เต็มปุ๋ย	เต็มปุ๋ย	ไม่เต็มปุ๋ย	เต็มปุ๋ย	ไม่เต็มปุ๋ย
1	1	200	196	0.238	0.63	952	2469.5
	2	199	192	0.239	0.632	953.8	2426.94
	3	198	187	0.216	0.672	858.45	2512.06
2	1	197	192	0.411	4.9	162	1885.392
	2	184	189	0.352	5.032	129.6	1902.01
	3	199	186	0.412	5.085	163.976	1891.774
3	1	160	179	0.26	3.901	104	1745.697
	2	179	184	0.21	4.053	94.1	1864.38
	3	165	171	0.262	3.957	107.99	1691.62
4	1	178	194	0.201	3.649	3.58	1769.76
	2	165	196	0.256	3.452	3.452	1691.48
	3	187	191	0.196	3.499	3.499	1670.77

ได้ทำการเจือจางความเข้มข้นของแคดเมียมในชุดข้อมูลที่ไม่เต็มปุ๋ยและเต็มปริมาณปุ๋ย โดย สัปดาห์ที่ 1 ปีเปิดน้ำชะที่ผ่านการกรอง 0.5 มล. ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ,สัปดาห์ที่ 2 ปีเปิดน้ำชะที่ผ่านการกรอง 2.5 มล.ปรับปริมาตรเป็น 50 มล.,สัปดาห์ที่ 3 ปีเปิดน้ำชะที่ผ่านการกรอง 2 มล.ปรับปริมาตรเป็น 50 มล. และ สัปดาห์ที่ 4 ปีเปิดน้ำชะที่ผ่านการกรอง 2 มล.ปรับปริมาตรเป็น 50 มล. เฉพาะชุดไม่เต็มปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถนำค่าที่คำนวณได้มาแสดงผลดังตาราง ซึ่งการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียรจะใช้ปุ๋ยชนิด TSP ที่ปริมาณต่างๆ ทั้งไว้นาน 4 สัปดาห์

ตารางที่ จ.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับเสถียร

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ไม่เติมปุ๋ย	ปริมาณ Cd (มก./กก.ดิน)			ค่าเฉลี่ย (มก./กก.ดิน)	% ประสิทธิภาพ ในการกำจัด
		ตัวอย่าง 1	ตัวอย่าง 2	ตัวอย่าง 3		
1	2469.50±42.56	952.00	953.80	858.45	921.42±54.54	62.69
2	1893.06± 8.38	162.40	129.60	163.976	151.99±19.41	91.97
3	1767.23±38.95	104.00	94.10	107.99	102.28±7.15	94.21
4	1710.67±52.21	3.58	4.22	3.67	3.82±0.35	99.79

ตารางที่ จ.3 ค่าพีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรด้วยปุ๋ย TSP ที่ระยะเวลา 4 สัปดาห์

ปริมาณปุ๋ย (โมล P/Cd)	ค่าพีเอช			เฉลี่ย
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	
0.025	4.05	4.04	4.04	4.04
0.05	3.96	3.98	3.95	3.96
0.10	3.82	3.79	3.80	3.80
0.15	3.67	3.71	3.65	3.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้