

การปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

STABILIZATION OF CADMIUM CONTAMINATED SOILS BY
TRIPLE SUPERPHOSPHATE FERTILIZER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL – 2008 – SC – M – 016 – 068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STABILIZATION OF CADMIUM CONTAMINATED SOILS BY
TRIPLE SUPERPHOSPHATE FERTILIZER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008**

KMITL – 2008 – SC – M - 016 - 068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Triple Superphosphate
Fertilizer
ชื่อนักศึกษา นางสาวชัชวรา ยิ่งสมบัติ
รหัสประจำตัว 48068103
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุท	ไชยรักษ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์	ถาวรชัยสิทธิ์	
ผศ.พิสมัย	ชัยรัตน์อุทัย	
ดร.เสาวภาค	สุขตระกูลเวช	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 21 มีนาคม 2551 เวลา 09.00-12.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารามวลัยลักษณ์ 1 ห้อง 603

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ หินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....30.....เดือน.....เมษายน.....พ.ศ.....๒๕๕1.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับเสถียรดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
นักศึกษา	นางสาวชัชวรา ยิ่งสมบัติ
รหัสประจำตัว	48068103
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ลักษณะของเนื้อดิน ปริมาณของฟอสเฟตในปุ๋ย และผลของโลหะร่วมชนิดต่างๆ ที่พบในดิน ผลจากการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่มีลักษณะเนื้อดินต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ดินทรายร่วน ดินร่วนเหนียว และดินเหนียว พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะเนื้อดินและสมบัติต่างๆ ของดิน โดยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตสามารถลดการชะละลายของแคดเมียมจากดินทรายร่วน ดินร่วนเหนียว และดินเหนียวคิดเป็นประสิทธิภาพการปรับเสถียรเท่ากับ ร้อยละ 75.7, ร้อยละ 37.7 และร้อยละ 34.6 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการปรับเสถียรเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณปุ๋ยฟอสเฟต (คิดจากอัตราส่วนโดยโมลของฟอสเฟตในปุ๋ยต่อโมลแคดเมียมในดิน) เพิ่มขึ้นจาก 0.5 เป็น 1 และ 2 เท่า ตามลำดับ ผลจากการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่มีโลหะร่วมชนิดต่างๆ ได้แก่ ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมเพิ่มขึ้นเมื่อดินมีการปนเปื้อนของทองแดงร่วมกับแคดเมียม ในขณะที่ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมลดลงเมื่อดินมีการปนเปื้อนของตะกั่ว หรือสังกะสีร่วมกับแคดเมียม ผลจากการปรับเสถียรแคดเมียมในดินที่รวบรวมจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ อ.แม่สอด จ.ตาก พบว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตสามารถลดการชะละลายของแคดเมียมจากดินตัวอย่างคิดเป็นประสิทธิภาพการปรับเสถียรเท่ากับ ร้อยละ 89.7 เมื่อทำการศึกษารูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินหลังจากการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่ารูปฟอร์มของแคดเมียมในดินมีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่มีความเสถียรน้อย (รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ รูปที่ถูกดูดซับกับผิวหน้าของดินและรูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุ) ไปอยู่ในรูปที่มีความเสถียรเพิ่มมากขึ้น (รูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์ รูปผลึกของเหล็กออกไซด์ และรูปที่เหลือน) ในดินที่ผ่านการปรับเสถียรเทียบกับดินชุดควบคุม

คำสำคัญ : การปรับเสถียร; การสกัดแบบลำดับขั้น; แคดเมียม; ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

Thesis Title	Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Triple Superphosphate Fertilizer
Student	Miss Chatchavaporn Yingsombat
Student ID.	48068103
Degree	Master of Science
Program	Environmental Chemistry
Year	2008
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Usarat Thawornchaisit

ABSTRACT

This research studies factors affecting stabilization efficiency of cadmium stabilization in contaminated soils by triple superphosphate fertilizer. These factors included soil texture, phosphate dose and effect of competing metals in soil. Results from stabilization of cadmium in three different types of soil textures –loamy sand soil, clay loam soil and clay soil- have shown that stabilization efficiency varied depending on soil textures and soil properties. Triple superphosphate fertilizer reduced the leachable of cadmium from loamy sand soil, clay soil and clay loam soil with stabilization efficiency of 75.7%, 37.7% and 34.6%, respectively. Stabilization efficiency increased as phosphate dose (based on molar ratio of phosphate in fertilizer:cadmium in soil) increased from 0.5 to 1 and 2, respectively. Results from stabilization of cadmium in soils being present with competing metals such as copper, lead and zinc have shown that stabilization efficiency of cadmium increased when copper was co-contaminants in the soils. In contrast, stabilization efficiency of cadmium in soil decreased when lead or zinc was present in the soils. Results from stabilization of cadmium in soils collected from cadmium-contaminated area, Maesod District, Tak province have shown that triple superphosphate fertilizer reduced the leachable of cadmium from contaminated soil with stabilization efficiency of 89.7 %. Assessment of cadmium speciation in treated soils via sequential extraction have shown that cadmium speciation in soils shifted from less stable form (soluble-exchangeable, surface adsorbed and organic matter) to more stable form (Mn oxides, poor crystalline Fe oxides, crystalline Fe oxides and residue) in all triple super phosphate treated soils compared to the control soils.

Keywords : stabilization; sequential extraction; cadmium; triple superphosphate fertilizer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อุสารัตน์ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวช อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวก ให้ความช่วยเหลือ และอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวก ให้ความช่วยเหลือ และอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่อำนวยความสะดวก ให้ความช่วยเหลือ และอนุเคราะห์เครื่องอะตอมมิกแอปซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษา เจ้าหน้าที่ฝ่ายอาคารและยานพาหนะ คณะวิทยาศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา บุคคลในครอบครัว รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาเคมี เป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจเป็นอย่างดีมาตลอด

ชัชวกร ยิ่งสมบัติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	XIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 แคมเมียมในดิน.....	5
2.2 รูปฟอร์มของแคมเมียมในดิน.....	7
2.3 สภาพการละลายได้และการเคลื่อนที่ของโลหะหนักใน.....	8
2.4 การสกัดลำดับขั้น.....	9
2.5 การปรับเสถียร.....	12
2.5.1 กลไกการปรับเสถียร.....	12
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียร.....	14
2.6 สารปรับเสถียร.....	15
2.7 ปุ๋ยฟอสเฟต.....	17
2.7.1 ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	19
2.7.2 รูปฟอร์มของฟอสเฟตในดิน.....	20
2.7.3 ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟต.....	21
2.7.4 การตรึงฟอสเฟตในดิน.....	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	27
3.1.1 อุปกรณ์.....	27
3.1.2 สารเคมี.....	28
3.2 การเตรียมตัวอย่างดินและดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม.....	29
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา.....	29
3.2.2 การศึกษาสมบัติของดินตัวอย่าง.....	29
3.2.3 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียม.....	30
3.2.4 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและทองแดง.....	31
3.2.5 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่ว.....	31
3.2.6 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี.....	31
3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	31
3.3.1 การศึกษาชนิดของดินที่มีผลต่อการปรับเสถียร.....	31
3.3.2 การศึกษาปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่มีผลต่อการปรับเสถียร แคดเมียมในดินแต่ละชนิด.....	32
3.3.3 การศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียม ที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	32
3.4 การประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ ปนเปื้อนในดินจากพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากโลหะแคดเมียม.....	33
3.5 การศึกษารูปฟอร์มของแคดเมียมในดินด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น.....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	35
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ใช้ในการศึกษา.....	35
4.2 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิล ซูเปอร์ฟอสเฟต.....	40
4.3 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์- ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ.....	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	51
4.5 การประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อน ในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สอ ด.ตาก.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกายภาพ – เคมีของดินที่ใช้ในการศึกษา.....	78
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของดินปนเปื้อนแคะเมียม.....	88
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดิน ชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	100
ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ.....	110
ภาคผนวก จ ข้อมูลจากการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร แคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	126
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลจากการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคะเมียม ที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สอ ด.ตาก.....	139
ภาคผนวก ช ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียร แคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	144
ประวัติผู้เขียน.....	183

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่การละลายและค่าคงที่การเกิดสารประกอบของแคลเซียม.....	6
2.2 รูปของฟอสเฟตที่พบในปุ๋ยชนิดต่างๆ.....	19
2.3 สมบัติทางกายภาพ – เคมีของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	20
2.4 สัดส่วนของรูปแบบไอออนฟอสเฟตที่พืชต่างๆ.....	23
3.1 สถานที่เก็บรวบรวมดินตัวอย่าง.....	29
3.2 วิธีการวิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง.....	30
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน.....	35
4.2 ความเข้มข้นของแคลเซียมในดิน.....	38
4.3 พืชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	41
4.4 ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	42
4.5 พืชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตราส่วน โมลฟอสเฟตในปุ๋ยต่อ โมลแคลเซียมในดินเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1 (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	46
4.6 ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตใน อัตราส่วน โมลฟอสเฟตในปุ๋ยต่อ โมลแคลเซียมในดินเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1 (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	46
4.7 การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา.....	51
4.8 ความเข้มข้นของแคลเซียมและโลหะชนิดอื่นๆ ในดิน.....	52
4.9 พืชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	55
4.10 ความเข้มข้นของโลหะทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	55
4.11 ความเข้มข้นของโลหะละลายในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	56
ก-1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ใช้ในการศึกษา.....	79
ก-2 เปอร์เซ็นต์เนื้อดินสัมผัส.....	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-3 พีเอชของดินที่ใช้ในการศึกษา.....	81
ก-4 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ใช้ในการศึกษา.....	81
ก-5 อินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	82
ก-6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	83
ก-7 อนินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	84
ก-8 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	86
ก-9 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	86
ข-1 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน BN, LP และ NJ.....	89
ข-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดิน BN, LP และ NJ.....	89
ข-3 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, LP และ NJ.....	90
ข-4 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและโลหะชนิดต่างๆ ในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	93
ข-5 ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและโลหะชนิดต่างๆ ในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	94
ข-6 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	95
ข-7 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมในดินแม่ดาว.....	98
ข-8 ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมในดินแม่ดาว.....	98
ข-9 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินแม่ดาว.....	99
ค-1 พีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	101
ค-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อน ในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	102
ค-3 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อน ในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	103
ค-4 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนใน ดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	104
ค-5 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน LP ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อน ในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-6 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน NJ ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	108
ง-1 พิเศษของดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	111
ง-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	112
ง-3 ความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลายในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	114
ง-4 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	116
ง-5 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน LP ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	119
ง-6 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน NJ ภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน.....	122
จ-1 พิเศษของดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	127
จ-2 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	128
จ-3 ความเข้มข้นจะละลายของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	130
จ-4 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ไม่เติมปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต.....	132
จ-5 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟต.....	135
ฉ-1 พิเศษของดินแม่ดาวภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	140
ฉ-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินแม่ดาวภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	140
ฉ-3 ความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลายในดินแม่ดาวภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	141

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฉ-4 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินแม่ตัวภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน.....	142
ช-1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมในดิน BN, LP และ NJ.....	145
ช-2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมในดิน BN, LP และ NJ.....	145
ช-3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, LP และ NJ.....	146
ช-4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	148
ช-5 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	148
ช-6 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn.....	149
ช-7 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (พีเอชของดิน)	153
ช-8 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด)	153
ช-9 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย)	153
ช-10 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน).....	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-11 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (พีเอชของดิน).....	155
ข-12 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด).....	157
ข-13 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลาย).....	159
ข-14 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน BN).....	161
ข-15 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน LP)	165
ข-16 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล ชุปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน NJ).....	169
ข-17 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลชุปเปอร์ฟอสเฟต (พีเอชของดิน).....	173
ข-18 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลชุปเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของโลหะทั้งหมด).....	173
ข-19 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลชุปเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของโลหะชะละลาย).....	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-20	ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินที่ไม่เติมปุ๋ยปรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต) 174
ข-21	ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยปรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต) 178
ข-22	ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สวด จ.ตาก..... 182

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต.....	18
2.2 รูปฟอร์มของฟอสเฟตในดินที่พีเอชต่างๆ.....	24
3.1 แผนภาพวิธีการสกัดแคะเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ออกจากดินแบบลำดับขั้น.....	34
4.1 รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน.....	39
4.2 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	40
4.3 ความเข้มข้นของแคะเมียมจะละลายและประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (●)	
ในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม, ■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	42
4.4 รูปฟอร์มของแคะเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม, ■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	44
4.5 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	45
4.6 ความเข้มข้นของแคะเมียมจะละลาย (◆) และประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (■)	
ในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ.....	47
4.7 รูปฟอร์มของแคะเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ.....	49
4.8 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ.....	50
4.9 รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน BN (■) ดิน BN-Cu (■) ดิน BN-Pb (■) และดิน BN-Zn (■).....	53
4.10 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	54
4.11 รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน BN (■) ดิน BN-Cu (■) ดิน BN-Pb (■) และดิน BN-Zn (■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (b) ดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	61
4.13 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา.....	62
4.14 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา.....	62
4.15 ความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลายและประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (●) ใน ดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง,■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม,■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	63
4.16 รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง,■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม,■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30.....	64
4.17 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน.....	65

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ลิตร/กก.	ลิตรต่อกิโลกรัม
พีพีเอ็ม	หนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)
มล.	มิลลิลิตร
มก./กก.	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Abs	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
°c	องศาเซลเซียส (อุณหภูมิ)
G _f	ค่าคงที่การเกิดสารประกอบ
H ₀	สมมติฐานหลัก
kJ/mol	กิโลจูลต่อโมล
Ksp	ค่าคงที่สมดุลการละลาย
log Ksp	ลอการิทึมของค่าคงที่สมดุลการละลาย
meq/ดิน 100 กรัม	มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม
mg/kg	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
M	โมลต่อลิตร (โมลาลิตี)
N	นอร์มอล
ND	ไม่สามารถอ่านค่าได้ (Not Detect)
N/A	ไม่มีข้อมูล (Not Available)
pH	พีเอช
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน (part per million)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

การขยายตัวของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ภายในประเทศ เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมชุบโลหะและเหล็กกล้ากันสนิม อุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางดินจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก หากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี ปัญหามลพิษทางดินจากโลหะหนักที่เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทยคือ ปัญหาการปนเปื้อนของสารแคดเมียมในดินบริเวณห้วยแม่ตาบ อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ซึ่งสันนิษฐานว่าแหล่งที่มาของแคดเมียมน่าจะเกิดจากการที่ฝนตกชะหน้าดินที่อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่สังกะสีและแร่แคดเมียมลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งก็คือห้วยแม่ตาบในกรณีนี้ เมื่อทำการผันน้ำมาใช้เพื่อการเกษตร ทำให้เกิดปัญหาการตกค้างของแคดเมียมในแปลงเกษตรหรือไร่นา สถาบันการจัดการคุณภาพน้ำ-อิมิ (International Water Management Institute-IWMI) ร่วมกับกรมวิชาการเกษตรได้ทำการตรวจวัดระดับแคดเมียมในดินและข้าวในแปลงนาบริเวณอ.แม่สวด จ.ตาก พบว่าแปลงนาที่อยู่ใกล้กับแหล่งแร่สังกะสีมีปริมาณแคดเมียมมากที่สุด ระดับปริมาณแคดเมียมในดินมีค่าลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไป โดยมีปริมาณแคดเมียมในดินอยู่ช่วงระหว่าง 3.4 - 284 มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกิโลกรัมของดิน ซึ่งจัดเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมซึ่งกำหนดปริมาณแคดเมียมต้องไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) ทำให้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรกรรม เนื่องจากโลหะหนักสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศได้ด้วยกลไกทางธรรมชาติและเกิดการสะสมจนถึงระดับที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ด้วยเหตุนี้หลายหน่วยงานจึงเร่งทำการศึกษาและดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ดินกลับสู่สภาพปกติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัยและลดปัญหาการแพร่กระจายของโลหะหนักจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนออกไปสู่พื้นที่อื่นๆ

เทคโนโลยีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้โอโซน (Ozonation) การผ่านกระแสไฟฟ้าในดินที่มีการปนเปื้อน (Electrokinetics) การล้างดิน (Soil washing) การขุดดิน (Excavation) หรือการฟื้นฟูสภาพด้วยพืช (Phytoremediation) อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้มีข้อจำกัดทางด้านค่าใช้จ่าย ความยุ่งยากและความซับซ้อนของวิธีการ หรือการทำลายโครงสร้างของดินอันจะส่งผลกระทบต่อการใช้ดินในภาคเกษตรกรรม การปรับเสถียร

(Stabilization) เป็นเทคโนโลยีการบำบัดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ สามารถทำได้ในพื้นที่ นอกจากนี้สารที่นำมาใช้เป็นตัวปรับเสถียรนั้นมีหลายชนิด สามารถหาได้ง่าย และราคาถูก

การปรับเสถียร เป็นวิธีการบำบัดและฟื้นฟูดินที่ปนเปื้อน โลหะหนักด้วยการเติมสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหนักลงในดินที่มีการปนเปื้อน เพื่อเปลี่ยนรูปโลหะที่ชะละลายได้ง่ายให้อยู่ในรูปที่มีความเสถียรเช่น รูปสารประกอบเชิงซ้อน รูปผลึกหรือสินแร่ ส่งผลให้ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากดินสู่ตัวกลางอื่น ๆ มีค่าลดลง สารปรับเสถียร (stabilizer) ที่นิยมใช้ในปรับเสถียรโลหะหนักได้แก่อนุพันธ์ฟอสเฟต เมื่อถูกเติมลงในดินสามารถรวมตัวกับโลหะหนักที่อยู่ในดิน ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปเป็นสารที่มีความสามารถในการละลายได้น้อยลง (Bradley et al., 2001; McGowen et al., 2001) กิตติวรรณและคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินสังเคราะห์ โดยใช้ปุ๋ยฟอสเฟต 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP) ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) และปุ๋ยหินฟอสเฟต (RP) พบว่าปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสูงที่สุด ถึงแม้ว่าปุ๋ยฟอสเฟตสามารถใช้เป็นตัวปรับเสถียรโลหะหนักได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลฟอสเฟตยังมีข้อมูลการศึกษาค่อนข้างจำกัด รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของโลหะหนักรูปต่างๆ ที่มีอยู่ในดินทั้งก่อนการปรับเสถียรและภายหลังการปรับเสถียรมีอยู่น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคดเมียมในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของดิน ปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และผลของโลหะชนิดอื่นในดิน เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากโลหะหนัก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
2. เพื่อศึกษาผลของชนิดดินต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
3. เพื่อศึกษาผลของปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
4. เพื่อศึกษาผลของโลหะร่วมต่างๆ ต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

5. เพื่อศึกษาสัดส่วนของแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ที่มีอยู่ในดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างดิน โดยดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจะถูกเก็บรวบรวมจากพื้นที่ 3 แห่ง ที่มีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกันและดินตัวอย่างจากพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจริง วิธีการเก็บตัวอย่างที่ใช้คือวิธีการเก็บตัวอย่างแบบรวม (composite sample) ตามวิธี Equal interval on diagonal lines

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โดยการวิเคราะห์ค่าความชื้น ลักษณะเนื้อดิน พีเอช ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ ปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่พบในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน และความเข้มข้นของแคดเมียม รวมทั้งศึกษาสัดส่วนของแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ที่มีอยู่ในดินก่อนการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (sequential extraction)

3. การสังเคราะห์ดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม โดยทำการเติมสารละลายแคดเมียมลงในดินที่รวบรวมได้ในข้อ 1.3.1 กำหนดให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน

4. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียร โลหะแคดเมียมในดินจากทั้ง 3 แหล่งด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และผลของโลหะอื่นๆ ในดิน ทำการวัดประสิทธิภาพของการปรับเสถียร โดยการทดสอบการชะละลายของโลหะด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (SW-846, Method 1311) (US.EPA, 1992) และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของรูปฟอร์มแคดเมียมในดินหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายที่สกัดได้จากดินด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

5. การประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน โดยใช้ดินจากพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากแคดเมียม ทำการวัดประสิทธิภาพของการปรับเสถียร โดยการทดสอบการชะละลายของโลหะด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) (SW-846, Method 1311) (US.EPA, 1992) และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของรูปฟอร์มแคดเมียมในดินหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction) และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายที่สกัดได้จากดินด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่มีลักษณะเนื้อดินแตกต่างกัน
2. ทราบผลของปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและผลของโลหะอื่นๆ ในดินต่อประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน
3. ทราบการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของรูปฟอร์มแคดเมียมในดินก่อนและหลังการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต
4. เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากโลหะหนัก



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แคดเมียมในดิน

แคดเมียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยในธรรมชาติ มักพบปะปนอยู่กับแร่สังกะสี ทองแดงและดีบุก ปริมาณแคดเมียมที่พบในดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.07-1.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง (สุกมาศ, 2539) แม้แคดเมียมจะพบในธรรมชาติที่ระดับความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ แต่ถูกจัดเป็นมลพิษทางดินจำพวกโลหะหนักที่สำคัญชนิดหนึ่ง หากอัตราการเพิ่มของแคดเมียมลงไปในดินมีมากกว่าอัตราการเสื่อมฤทธิ์หรืออัตราการสลายตัวของแคดเมียม จนเกิดการสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ของดิน ดินจะเกิดภาวะที่เรียกว่าเป็นมลพิษได้ ดังเช่นกรณีการปนเปื้อนและสะสมของแคดเมียมในดินที่ห้วยแม่ดาว อ.แม่สวด จ.ตาก จนส่งผลกระทบต่อพืชที่เพาะปลูกและสุขภาพของประชากรในพื้นที่ ซึ่งสันนิษฐานว่าการปนเปื้อนเกิดจากการทิ้งและการจัดการที่ไม่เหมาะสมของกากแร่ที่เหลือจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่สังกะสีที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง (www.matichon.co.th/khaosod) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (2547) กำหนดให้พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการอยู่อาศัยและการทำเกษตรกรรมจะต้องมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับที่ไม่เกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมนั้นจะต้องมีการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับที่ไม่เกิน 810 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

แคดเมียมที่พบในดินอยู่ในสภาวะละลายได้ง่าย โดยพบอยู่ในรูป Cd^{2+} เป็นส่วนใหญ่ (สุกมาศ, 2539) ทำให้แคดเมียมสามารถแลกเปลี่ยนและเคลื่อนย้ายไปสู่ตัวกลางอื่นๆ เช่น พืช/น้ำได้ง่าย ปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมในดิน คือ ความเป็นกรด-ด่างของดิน และศักย์รีดออกซ์ (สุกมาศ, 2539) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงศักย์รีดออกซ์และความเป็นกรด-ด่างในดินจะมีผลต่อการละลายและการแพร่กระจายของแคดเมียมเป็นอย่างมาก แคดเมียมจะเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอช ระหว่าง 4.5-5.5 และการเคลื่อนที่จะลดลงอย่างมากเมื่อพีเอชสูงกว่า 7.5 (Mulligan et al., 2001) สภาพละลายได้ของแคดเมียมในดินที่เป็นกรดขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็ก อะลูมินัม ซิลิกอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน แคดเมียมสามารถเคลื่อนที่และแพร่กระจายในดินที่เป็นกรดได้ดีกว่าธาตุอื่น โดยความสามารถในการเคลื่อนที่และแพร่กระจายสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ $Cd > Zn > Cu-Ni$ (Hickey และ Kittick, 1984) สภาพการละลายได้และการเคลื่อนย้ายของแคดเมียมจะลดลงในดินที่เป็นด่าง เนื่องจากแคดเมียมถูกดูดซับด้วยแร่ดินเหนียว สารอินทรีย์ ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมินัม หรือตกตะกอนกับคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังพบว่า

แคดเมียมจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน เช่น CdO , CdCO_3 , Cd(OH)_2 ในสถานะที่ดินมีค่าศักย์รีดอกซ์สูง ($> 400 \text{ mV}$) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548 ; ศุภมาส, 2539) นอกจากนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจำพวกแร่ต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่การละลายและค่าคงที่การเกิดสารประกอบของแคดเมียม

สารประกอบ	log Ksp	ΔG_r° (kJ/mol)
CdS	-28.44 ^a	N/A
CdC_4O_4	-7.82 ^a	N/A
CdCO_3	-11.28 ^b	N/A
Cd(OH)_2	-13.70 ^b	N/A
Cd(CN)_2	-8 ^f	N/A
$\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$	-32.6 ^{c, d}	-2456.3
$\text{Cd}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	-42.49 ^c	-3924.0
$\text{Cd}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	-49.66 ^{c, d}	-3859.0
$\text{Cd}_3\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-30.90 ^c	N/A
$\text{Ca}_4\text{Cd}(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	-39.23 ^c	-5809
$\text{Ca}_3\text{Cd}_2(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	-40.18 ^c	-5339
$\text{Ca}_2\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	-41.04 ^c	-4868
$\text{CaCd}_4(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	-41.84 ^c	-4396
$\text{Ca}_4\text{Cd}(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	-48.54 ^c	-5756
$\text{Ca}_3\text{Cd}_2(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	-49.48 ^c	-5286
$\text{Ca}_2\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	-50.05 ^c	-4813
$\text{CaCd}_4(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	-50.24 ^c	-4338
$\text{Ca}_2\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$	-32.95 ^c	-3410
$\text{CaCd}_2(\text{PO}_4)_2$	-32.90 ^c	-2934

N/A = Not Available,

^a http://en.wikipedia.org/wiki/Solubility_equilibrium

^b Benefield et al., 1982

^c Nriagu, 1976

^d Viellard and Tardy, 1984

^e Bradley et al., 2001

^f <http://www.geocities.com/novedu/anotes/ctpr.htm>

2.2 รูปฟอร์มของแคดเมียมในดิน

เมื่อแคดเมียมอยู่ในดิน แคดเมียมจะแพร่กระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของดินและอยู่ในรูปที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาวะและคุณสมบัติของดิน ซึ่งรูปที่พบอาจเป็นรูปใดรูปหนึ่งหรือหลายรูปดังต่อไปนี้

1. รูปที่ละลายในสารละลายดิน (soluble form) แคดเมียมที่อยู่ในรูปนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่มีการแพร่กระจายอยู่ในอนุภาคทราย (sand) และทรายแป้ง (silt) เนื่องจากอนุภาคของทรายและทรายแป้งมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของดินเหนียว (clay) ทำให้สามารถละลายออกสู่สารละลายดินได้ง่ายและเคลื่อนที่ได้ดี

2. รูปที่ถูกดูดซับในตำแหน่งผิวของอนุภาคคอลลอยด์ดิน (adsorbed form) แคดเมียมที่แพร่กระจายในส่วนนี้จะมีความใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคของดินเหนียว ทำให้สามารถอยู่ได้ด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เพราะอนุภาคของดินเหนียวนั้นมีทั้งประจุบวกและประจุลบ และการเปลี่ยนแปลงไปเป็นส่วนหนึ่งของอนุภาคดินเหนียวโดยการเข้าไปแทนที่ในช่องว่าง นอกจากอนุภาคดินเหนียวซึ่งเป็นอนินทรีย์คอลลอยด์แล้ว ระบบคอลลอยด์ในดินยังมีอินทรีย์คอลลอยด์ ซึ่งได้แก่ อินทรีย์วัตถุที่มีขนาดเล็กจำพวกกรดอินทรีย์ กรดอะมิโน ฮิวมัส และโปรตีนอีกด้วย ซึ่งจัดว่าเป็นสารคอลลอยด์ที่มีความสามารถในการดูดซับไอออนสูงเช่นเดียวกับดินเหนียว แคดเมียมจึงสามารถจับกับอินทรีย์วัตถุเหล่านี้ได้ นอกจากนี้การดูดซับกับอินทรีย์วัตถุขนาดเล็กที่สามารถละลายน้ำได้ดีเหล่านี้จะส่งผลให้แคดเมียมส่วนนี้สามารถละลายน้ำได้ดีตามไปด้วย

3. รูปที่ตกตะกอน (precipitated form) แคดเมียมที่ละลายในสารละลายดินหรือถูกดูดซับอยู่ที่อนุภาคของดิน อาจมีการตกตะกอนกับออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียมและแมงกานีส เนื่องจากอะลูมิเนียมและเหล็กเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดิน โอกาสที่แคดเมียมจะปะปนหรือเกิดสารประกอบกับออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียมและแมงกานีสจึงพบได้เสมอ ซึ่งการตกตะกอนในรูปนี้จะสัมพันธ์กับความเป็นกรด-ด่างของดินและความเข้มข้นของสาร (สุภมาส, 2539)

4. รูปที่ถูกตรึงและจับกับสารแขวนลอยอื่นหรือแร่ในดิน (fixed, occluded form) แคดเมียมที่อยู่ในรูปนี้เป็นรูปที่พบในดินที่มีกระบวนการสลายตัวของสารหรือแร่ปฐมภูมิด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์หรือเคมี โดยโครงสร้างเดิมจะยุบแล้วเรียงตัวใหม่เกิดแร่ทุติยภูมิ ซึ่งในระหว่างที่มีการสลายตัวนั้นอะตอมของธาตุบางธาตุในโครงสร้างหลุดออกจากโครงสร้างทำให้อะตอมของแคดเมียมสามารถเข้าไปแทนที่ได้ หรือองค์ประกอบที่ละลายได้ถูกละลายและเคลื่อนย้ายออกไปแล้วแคดเมียมจึงเข้ามาแทนที่ในโครงสร้าง ซึ่งถ้าโครงสร้างใหม่อ่อนแอกว่าโครงสร้างเดิมแล้วเหล่านี้อาจจะสลายตัวและสร้างโครงสร้างใหม่จนกว่าจะได้โครงสร้างที่แข็งแรงกว่า

5. รูปที่ถูกคลุกเคล้าเข้าสู่ระบบชีวภาพเป็นสารอินทรีย์ (organic form) แคลเมียมที่ถูกจับมักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ หรืออยู่ในรูปที่เล็ที่มีโครงสร้างใหญ่ที่แข็งแรงและมีความเสถียรมาก โดยแคลเมียมจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางหรือสะพานเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์และอนุภาคดินเหนียวเกิดเป็น โครงสร้างที่มีเสถียรภาพ ส่งผลให้แคลเมียมเกิดการตกตะกอน

แคลเมียมในสองรูปแรก ได้แก่ soluble form และ adsorbed form ถือเป็นรูปที่เคลื่อนที่ได้ดีในดิน รวมทั้งพืชสามารถนำไปใช้ได้ง่าย ในขณะที่แคลเมียมที่พบในสามรูปหลังเป็นจัดเป็นรูปที่เคลื่อนย้ายและแพร่กระจายได้น้อยมาก (non-mobile) (ศุภมาส, 2539 ; Kaasalainen et al., 2003)

2.3 สภาพการละลายและการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน

การเคลื่อนที่ (mobility) ของโลหะในดินเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการละลาย (solubility) ของโลหะชนิดนั้น การเคลื่อนที่ของโลหะในดินจะเกิดขึ้นใน 3 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ การเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากการนำไปใช้ของพืช การเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ และการเคลื่อนย้ายในสภาพสารละลายและสารแขวนลอย อันเนื่องมาจากการแพร่และการไหลของมวล (ศุภมาส, 2539) เนื่องจากสภาพการละลายของโลหะสัดส่วนโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน ปัจจัยใดที่มีผลต่อสภาพการละลายของโลหะ ย่อมส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโลหะหนักในดิน ปัจจัยที่มีผลต่อสภาพการละลายของโลหะ ได้แก่

1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด เพราะเมื่อดินมีสภาพกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของโลหะระหว่างส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้น้อยและส่วนที่ละลายได้ในดินซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ดี เช่น สภาพการละลายของเหล็ก ตะกั่วและแคลเมียมจะมีค่าต่ำมากเมื่อดินมีสภาพเป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) และสภาพการละลายจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ($\text{pH} < 5$) (ศุภมาส, 2539)

2. ศักย์รีดอกซ์ (redox potential) การเปลี่ยนแปลงของศักย์รีดอกซ์ในดินเป็นผลมาจากกระบวนการการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน เมื่อจุลินทรีย์ในดินที่ใช้ออกซิเจนเจริญได้ดี อัตราการใช้ออกซิเจนในการหายใจสูงกว่าอัตราการแพร่ของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ดิน ดินจะเริ่มขาดออกซิเจนส่งผลให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนเริ่มเจริญมากขึ้น (มีการใช้ไนเตรทหรือเฟอร์ริกเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน) ศักย์รีดอกซ์ของดินจะเริ่มลดลง การเปลี่ยนแปลงสภาพศักย์รีดอกซ์ของดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการละลายได้ของโลหะ เช่น เมื่อศักย์รีดอกซ์ของดินลดลงจนดินอยู่ในสภาพรีดักชัน ($< 100 \text{ mV}$) สภาพการละลายได้ของเหล็ก แมงกานีส โซเดียม และโพแทสเซียม จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพการละลายได้ของ สังกะสีและทองแดงจะลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

3. เนื้อดิน ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับสารหรือโลหะต่างๆ ได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ เนื่องจากดินเนื้อละเอียดจะมีสัดส่วนดินเหนียวมากกว่าดินเนื้อหยาบ ประกอบกับดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่เล็ก รูปร่างแบนและยังมีประจุลบที่ผิวเป็นจำนวนมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จึงสามารถดูดซับโลหะที่มีประจุบวกไว้ได้ดี โลหะจึงละลายออกมาสู่สารละลายดินและเคลื่อนที่ได้น้อยลงเมื่อถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและปริมาณของตำแหน่งดูดซับของอนุภาคดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบในดิน

4. วัตถุดิบกำเนิดดิน ซึ่งจะมียอดประกอบจำพวกแร่ธาตุอยู่หลายชนิด ซึ่งสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ กับโลหะได้ เช่น การแทนที่สรีระใกล้เคียง (isomorphous substitution) ของอนุภาคในแร่ หรือการดูดซับที่ผิวของแร่ (ศุภมาส, 2539) เช่น การแทนที่ Ca^{2+} ด้วย Pb^{2+} ในโครงสร้างของแร่ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ทำให้เกิดแร่ชนิดใหม่ คือ ไฮดรอกซีฟอสเฟตที่มีความสามารถในการละลายต่ำส่งผลให้สภาพการละลายของตะกั่วลดลงด้วย เนื่องจากถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของแร่ แสดงได้ดังสมการที่ 2.1 (Takeuchi et al., 1998)



5. ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดินและในสารละลายดิน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่มีประจุ จึงสามารถที่ดูดซับโลหะได้เช่นเดียวกับอนุภาคดินเหนียว หรืออาจเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ นอกจากนี้สารอินทรีย์ยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินซึ่งมีผลโดยตรงกับความสามารถในการละลายของโลหะ

6. ไอออนของธาตุอื่นที่มีอยู่ในสารละลายดิน ที่สามารถเกิดสารประกอบกับโลหะแล้วเกิดตะกอน หรือเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายได้ดีขึ้น

7. คุณสมบัติอื่นๆ ของดิน ได้แก่ ความชื้นของดิน กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและอุณหภูมิของดิน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงของศักย์รีดอกซ์ในดิน นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อดิน และปริมาณอินทรีย์วัตถุ

2.4 การสกัดแบบลำดับขั้น (Sequential Extraction)

การสกัดแบบลำดับขั้นเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษารูปฟอร์มและปริมาณของโลหะในดิน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมในการสกัดแต่ละลำดับของการสกัด และปริมาณของโลหะที่ออกมาในแต่ละขั้นจะสามารถนำไปทำนายพฤติกรรมของโลหะที่เป็นพิษในสถานะแวดล้อมต่างๆ นอกจากนี้ยังจะทำให้เข้าใจเคมีของดินที่สัมพันธ์ระหว่างโลหะและชนิดของดินมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ประสิทธิภาพของการสกัดแบบลำดับขั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ การ

เลือกหรือเรียงลำดับการใช้สารสกัดที่เหมาะสมในแต่ละส่วนหรือขั้นตอนของการสกัด ระดับความแรงของสารสกัดที่ต้องเพิ่มขึ้นในแต่ละลำดับขั้นเพื่อจะ ได้สามารถสกัดโลหะที่อยู่ในรูปต่างๆ ได้เหมาะสมและลดการปนเปื้อนระหว่างขั้น ระยะเวลาของการสกัดแต่ละขั้นเพื่อให้เพียงพอสำหรับการเข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังรวมไปถึงความเข้มข้นของสารสกัด อัตราส่วนของสารสกัดและตัวอย่าง ฟือเอชและอุมหุมิ (Shiowatana et al., 2001)

วิธีการและสารเคมีที่ใช้ในการสกัดลำดับขั้นมีอยู่หลายวิธีการ (BCR, 1993 ; Tessier et al., 1979 ; Shuman L.M., 1985 ; Ahnstrom and Parker, 1999) แต่ก็ยังไม่มีวิธีการใดที่เป็นมาตรฐานและนำมาใช้ได้อย่างจริงจัง Silveira et al. (2006) ได้เสนอวิธีการสกัดแบบ 7 ขั้นตอนที่มีความเหมาะสมกับดินในพื้นที่เขตร้อนที่มีองค์ประกอบของเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ในปริมาณสูง สภาวะการสกัดลำดับขั้นที่เหมาะสมได้ถูกเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมของ Tessier และ Ahnstrom พบว่าวิธีการของ Silveira et al. สามารถจำแนกรูปฟอร์มของโลหะหนักได้ละเอียดมากขึ้น โดยเฉพาะรูปฟอร์มที่ถูกตรึงหรือจับอยู่กับแมงกานีสและเหล็กออกไซด์ เมื่อเทียบกับวิธีของ Tessier และ Ahnstrom ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการของ Silveira et al. (2006) เป็นวิธีการในการศึกษาการกระจายตัวของรูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่าง ซึ่งวิธีการนี้มีลำดับการสกัดดังนี้คือ

ขั้นที่ 1 : ส่วนที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (0.1 M CaCl_2)

โลหะส่วนนี้เป็นส่วนที่ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อม จำลองสภาวะของการแลกเปลี่ยนระหว่างดินและพืช สารสกัดที่นิยมใช้จะเป็นสารในกลุ่มของ neutral salt, neutral electrolytes และ buffered neutral solutions โดยในงานวิจัยนี้ได้นำ CaCl_2 โดยแคลเซียมไอออนจะแทนที่โลหะที่ถูกดูดซับอยู่ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะโลหะแคลเซียมและโลหะที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 (Sahuquillo et al., 2003) และโลหะก็จะถูกละลายอยู่ในรูป metal chloro-complexes

ขั้นที่ 2 : ส่วนที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน ($1.0\text{ M CH}_3\text{COONa}$, pH 5)

โลหะส่วนที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินเป็นส่วนที่มักจะเชื่อมอยู่กับการ์บอนเนต งานวิจัยนี้ได้นำ CH_3COONa มาใช้ โดยโซเดียมไอออนจะแทนที่โลหะที่ถูกดูดซับอยู่ และโลหะก็จะถูกละลายอยู่ในรูปสารเชิงซ้อนอะซีเตต ทั้งนี้สารละลายจะต้องปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 5 เพื่อป้องกันการละลายของโลหะที่เชื่อมกับอินทรีย์วัตถุ โลหะออกไซด์ ซัลไฟด์ แร่ดินเหนียว และยังป้องกันการตกตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์ (Mulligan et al., 2001)

ขั้นที่ 3 : ส่วนที่ถูกดูดซับกับอินทรีย์วัตถุในดิน (NaOCl , pH 8.5)

การสกัดโลหะในดินที่เชื่อมอยู่กับการ์บอนด้วยกลไกหลายแบบ เช่น การดูดซับ การเกิดสารเชิงซ้อนและการเกิดคีเลต จะทำให้โลหะถูกละลายอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ (organo-metal complexes) การสกัดโลหะในส่วนนี้มักจะใช้ตัวออกซิไดซ์ที่ร้อนในการละลายสารอินทรีย์หรือสารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ เช่น ออกไซด์และซัลไฟด์ของโลหะบางตัว ซึ่งใน

งานวิจัยนี้จะแยกโลหะที่อยู่ในสารอินทรีย์โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ NaOCl ภายใต้อุณหภูมิ 90-95 °C

ขั้นที่ 4 : ส่วนที่ยึดเกาะกับแมงกานีสออกไซด์ (0.05 M $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, pH 2)

โลหะที่อยู่ในรูปนี้เป็นรูปรีดิวซ์ที่สามารถละลายได้ง่าย การสกัดโลหะในดินที่ยึดเกาะอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ในดิน นิยมใช้ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นรีดิวซ์จังก์เอเจนต์ (reducing agent) จากงานวิจัยของ Tipping et al., 1985 ได้รายงานไว้ว่า $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ สามารถสกัดออสเทนของแมงกานีสออกไซด์ได้สูงถึง 97% นอกจากนี้ยังพบว่า $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ มีความเฉพาะเจาะจงกับแมงกานีสออกไซด์โดยไม่ขึ้นกับความเข้มข้น โดยจำเป็นต้องปรับพีเอชให้น้อยกว่า 3 เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์

ขั้นที่ 5 : ส่วนที่ยึดเกาะกับออสเทนของเหล็กออกไซด์

(0.2 M (oxalic acid + NH_4 oxalate) pH 3)

โลหะที่อยู่ในรูปนี้เป็นรูปรีดิวซ์ที่สามารถละลายได้ปานกลาง การสกัดโลหะในส่วนนี้นิยมใช้สารผสมของ oxalic acid และ ammonium oxalate ซึ่งมีความเฉพาะมากกว่า $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ โดยจำเป็นต้องปรับพีเอชให้เท่ากับ 3 เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ของรีดิวซ์จังก์เอเจนต์ด้วยเช่นกัน

ขั้นที่ 6 : ส่วนที่ยึดเกาะกับผลึกของเหล็กออกไซด์ (6 M HCl)

การสกัดโลหะในดินที่ยึดเกาะอยู่กับเหล็กออกไซด์ที่เป็นผลึกในดิน สารสกัดที่นิยมใช้คือ Dithionite-Citrate-Bicarbonate แต่จากงานวิจัยของ Silveira et al., 2006 พบว่าการใช้ 6 M HCl ในการสกัดผลึกของเหล็กออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ Dithionite-Citrate-Bicarbonate เป็นสารสกัด และจากงานวิจัยของ Schwertmann et al., 1991 พบว่า 6 M HCl มีประสิทธิภาพในการสกัดเหล็กจากแร่สูงถึง 60% ของทั้งหมด

ขั้นที่ 7 : ส่วนที่เหลือ (HNO_3/HCl)

หลังจากที่สกัดโลหะบางส่วนออกไปแล้ว ของแข็งที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นแร่ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ซึ่งมีโลหะในปริมาณน้อยที่อยู่ในรูปผลึก และโลหะเหล่านี้ค่อนข้างจะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาและไม่พบในสิ่งมีชีวิตในสภาพธรรมชาติ ในส่วนนี้จึงใช้สารสกัดที่มีความแรงมากกว่าสารสกัดส่วนอื่นๆ โดยปกติจะนำการผสมกันของกรดที่ร้อนมาใช้เพื่อย่อยส่วนที่เหลือให้เป็นสารละลายใส ซึ่งในงานวิจัยนี้ ส่วนที่เหลือจากส่วนที่ 6 สามารถถูกละลายโดยการย่อยด้วย HNO_3 และ HCl ตามวิธีมาตรฐานการย่อยดินของ SW-846 Method 3050b (US.EPA, 1996)

2.5 การปรับเสถียร (Stabilization)

กระบวนการปรับเสถียรเป็นกระบวนการบำบัดพื้นพืดินที่มีปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนัก เพื่อลดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งลดความเสี่ยงหรืออันตรายจากโลหะที่ อาจเกิดกับสิ่งมีชีวิตต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น พืช สัตว์ หรือมนุษย์ อันเนื่องมาจากการรับพิษจาก สิ่งแวดล้อมโดยการนำไปใช้ของพืช และต่อเนื่องมาถึงการรับพิษของสัตว์หรือมนุษย์โดยผ่านห่วง โซ่อาหาร กระบวนการนี้ทำได้โดยการเติมสารเคมีหรือวัสดุชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติของสารมลพิษ (เช่น วาเลนซี ความสามารถในการละลาย การเคลื่อนที่และความเป็นพิษ) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัวกลาง (เช่น ความจุในการดูดซับ) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มี ความเสถียรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเคลื่อนที่และการชะละลายของโลหะลดลง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ เกิดขึ้นยังต้องสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมได้ดี (เช่น การเปลี่ยนแปลง ของพีเอช การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้า การย่อยสลายของจุลินทรีย์)

กระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับการตรึงสารมลพิษ โดยการดักจับสารมลพิษไว้ในโครงสร้าง ผลิตภัณฑ์เสถียร ซึ่งสามารถดำเนินการได้ทั้งในและนอกพื้นที่ วิธีการนี้มีข้อดี คือค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินการค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสารที่นำมาใช้ในการปรับเสถียรนั้นซึ่งเป็นสารที่หาง่าย ราคาถูก ขั้นตอนการปรับสภาพดิน ไม่ยุ่งยาก และใช้พลังงานน้อย

2.5.1 กลไกการปรับเสถียร

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารมลพิษหรือคุณสมบัติของสารตัวกลางอันเนื่องมาจาก กระบวนการปรับเสถียรดังที่ได้กล่าวมานั้น จะเกี่ยวข้องกระบวนการทางกายภาพและทางเคมีหลาย กระบวนการ ได้แก่

1. การดูดซับ

กระบวนการนี้มักพบในการใช้สารปรับเสถียรที่มีคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มความจุในการ ดูดซับที่ผิวของของตัวกลางทำให้สามารถดูดซับไอออน (เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสีและ ทองแดง) ได้มากและแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในกระบวนการดูดซับนั้นอาจจะมี กระบวนการรีดอกซ์และกระบวนการเปลี่ยนรูปของสารร่วมอยู่ด้วย

2. การแลกเปลี่ยนไอออน

กระบวนการนี้จะแตกต่างกันกับการดูดซับ คือ จะมีการแลกเปลี่ยนหรือการแทนที่ของ ไอออนที่มีประจุเหมือนกันระหว่างสารปรับเสถียรและสารมลพิษทำให้การชะละลายของสาร มลพิษลดลง หรือการเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความสามารถในการละลายลดลงหรือมีความเสถียร เพิ่มขึ้น

3. การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

กระบวนการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนคู่หรือจำนวนโคออร์ดิเนชัน การรวมตัวของไอออนบวกกับโมเลกุลหรือกับไอออนลบที่มีอิเล็กตรอนคู่อิสระ ซึ่งอาจเป็นการรวมตัวด้วยแรงทางไฟฟ้า (electrostatic) หรือพันธะโคเวเลนต์ (covalent) โดยการรวมตัวแบบสารประกอบเชิงซ้อนกับองค์ประกอบต่างๆ ในดินจะทำให้สมบัติเดิมของสารมลพิษเปลี่ยนไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ความเป็นพิษมากขึ้นหรือน้อยลงนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ชักนำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

4. การตกตะกอน

การตกตะกอนจะเป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายในกลไกของการปรับเสถียร ซึ่งนับว่าเป็นเป้าหมายสำคัญของกระบวนการปรับเสถียร เนื่องจากการตกตะกอนจะเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความเสถียรของสารมลพิษได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้การตกตะกอนอาจจะไม่เกิดขึ้นในทุกๆ กระบวนการปรับเสถียรเนื่องจากการที่สารมลพิษจะเกิดการตกตะกอนได้นั้นจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นระดับความเข้มข้นของสารมลพิษ และสภาวะต่างๆ ของดิน เช่น พีเอช ศักย์ไฟฟ้า กิจกรรมของจุลินทรีย์ ในสภาวะสมดุลการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้เมื่อสารนั้นมีความอิ่มตัวยังยวดยิ่ง ดังนั้นการปรับเสถียรจึงเป็นการช่วยให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอนของสารมลพิษ โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสาร (สารปรับเสถียร) ที่จะสามารถชักนำให้สารมลพิษตกตะกอนได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าในกระบวนการปรับเสถียรโลหะแต่ละชนิดจะเกิดขึ้นด้วยกระบวนการหรือปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไปหรืออาจพบกระบวนการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเกิดอยู่ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น ในการปรับเสถียรตะกั่วด้วยสารประกอบฟอสเฟต ได้มีผู้เสนอกลไกการปรับเสถียรตะกั่วไว้หลายขั้นตอน ดังนี้ (1) การละลายของตะกั่วและสารปรับเสถียร ซึ่งพบว่าขั้นตอนการละลายของตะกั่วเป็นขั้นที่กำหนดอัตราของปฏิกิริยา (rate-limiting step) ของกลไกการเกิดสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟต (Laperche et al., 1996 ; Ma et al., 1995 ; Ryan et al., 2001 ; Wright et al., 1995 ; Xu and Schwartz, 1994 ; Yang et al., 2001 ; Zhang, et al., 1997) (2) การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างตะกั่วและสารปรับเสถียร (Ma et al., 1993 ; 1995) (3) การตกตะกอนของสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ทำให้เกิดแร่ทุติยภูมิ คือ แร่ไพโรมอไฟต์ที่มีความสามารถในการละลายน้ำน้อย (Ma et al., 1993 ; 1995 ; Wright et al., 1995)

ในการปรับเสถียรแคดเมียมด้วยสารประกอบฟอสเฟต แคดเมียมสามารถทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตด้วยกระบวนการต่อไปนี้คือ (1) การดูดซับหรือการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแคดเมียมและสารปรับเสถียรที่บริเวณผิวของสารปรับเสถียร (Middelburg and Comans, 1991 ; Xu and Schwartz, 1994) (2) การเกิด Surface complexation (Xu and Schwartz, 1994) (3) การตกตะกอนใน รูปออสติเนียนหรือผลึกของแคดเมียม-ฟอสเฟต (Ma et al., 1994) (4) การตกตะกอนร่วม

(coprecipitation) โดยแทนที่ตำแหน่งของ Ca^{2+} ด้วย Cd^{2+} ระหว่างการ Recrystallization ของสารปรับเสถียร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการตกตะกอนรวมเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการปรับเสถียรแคดเมียมเนื่องจากเป็นตอนที่พบได้มากที่สุด (Jeanjean et al., 1994 ; Marchat et al., 2007 ; Xu and Schwartz, 1994) นอกจากแคดเมียมแล้วจะพบขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ในกระบวนการปรับเสถียรสังกะสีและทองแดงเช่นเดียวกับที่พบในแคดเมียมเนื่องจากโลหะเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน โดยในกระบวนการปรับเสถียรสังกะสีและทองแดงจะพบว่าขั้นตอนการดูดซับหรือการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการปรับเสถียรมากกว่าการตกตะกอน (Ma et al., 1994)

2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียร

1. **พีเอช** งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าพีเอชมีผลต่อการปรับเสถียรโลหะใน 2 ลักษณะ คือ (1) พีเอชมีผลต่อรูปฟอร์มและความเสถียรของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นภายหลังการปรับเสถียร โดยโลหะแต่ละชนิดจะมีความเสถียรต่อพีเอชที่แตกต่างกัน (2) พีเอชมีผลต่อการละลายของโลหะและสารปรับเสถียร Liu et al. (2007) พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรของตะกั่วด้วย iron phosphate nanoparticle เกิดขึ้นได้ดีที่สุดในดินที่มีพีเอชเท่ากับ 4.36 (56%) รองลงมาคือในดินที่มีพีเอชเท่ากับ 6.93 (30%) และดินที่มีพีเอชเท่ากับ 7.85 (26%) Laperche et al. (1996) พบว่ารูปฟอร์มของตะกั่วที่ปรับเสถียรด้วยอะพาไทต์มีการเปลี่ยนรูปจาก PbO เป็น ไฮดรอกซีไพโรมอร์ไฟท์ $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ เมื่อพีเอชเท่ากับ 5 Zhu et al. (2004) ซึ่งได้ศึกษาผลของพีเอชต่อโครงสร้างของแคดเมียม-ฟอสเฟต พบว่า เมื่อพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6 สารประกอบแคดเมียม-ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $(\text{Cd}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ เมื่อพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 7-9 สารประกอบแคดเมียม-ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $\text{Cd}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ และเมื่อพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 10-11 สารประกอบแคดเมียม-ฟอสเฟตจะอยู่ในรูป $\text{Cd}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. **คุณสมบัติของดิน** เช่น อินทรีย์วัตถุ กิจกรรมของจุลินทรีย์ หรือศักย์รีดอกซ์ของดิน จะมีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร Kumpiene et al. (2007) ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลของการปรับเสถียรโลหะด้วยสารประกอบของเหล็ก ซึ่งปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ พีเอช ศักย์รีดอกซ์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ อินทรีย์วัตถุ และสัดส่วนของของแข็งต่อของเหลวที่ทำการสกัดโลหะจะละลาย โดยการนำผลการวิจัยไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Modde 7) พบว่า พีเอชเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรมากที่สุด รองลงมาคือ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน สัดส่วนของของแข็งและของเหลวที่ทำการสกัดโลหะจะละลาย และอินทรีย์วัตถุในดินตามลำดับ

3. **สารปรับเสถียร** คุณสมบัติและปริมาณของสารปรับเสถียรมีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรในหลายลักษณะ เช่น ความเหมาะสมและเฉพาะเจาะจงกับโลหะ ความสามารถในการละลายและการเข้าทำปฏิกิริยาของสารปรับเสถียร เป็นต้น Chen et al. (2006) พบว่าประสิทธิภาพ

ในการปรับเสถียรโลหะมีความสัมพันธ์กับขนาดของหินฟอสเฟตที่ใช้เป็นสารปรับเสถียร โดยการปรับเสถียรโลหะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้หินฟอสเฟตที่มีขนาดเล็ก เช่น < 35 ไมโครเมตร ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากหินฟอสเฟตที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหินฟอสเฟตที่มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพในการปรับเสถียรยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารปรับเสถียรที่ใช้ Liu et al. (2007) พบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียรตะกั่วในดินที่มีสภาพเป็นกรดกลางและเบสมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 56%, 30% และ 26% เป็น 94%, 95% และ 70% ตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มปริมาณ iron phosphate nanoparticle เป็น 5 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการปรับเสถียรแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ปนเปื้อนในดิน McGowen et al. (2001) ได้นำปุ๋ยไคแอมโมเนียมฟอสเฟตมาใช้ในการลดการละลายและการเคลื่อนย้ายของตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม และสารหนูที่ปนเปื้อนในดิน พบว่า ปุ๋ยไคแอมโมเนียมฟอสเฟตสามารถลดการละลายและการเคลื่อนย้ายของตะกั่ว สังกะสี แคดเมียมได้เป็นอย่างดี ในขณะที่การละลายและการเคลื่อนย้ายสารหนูมีค่าเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ระหว่างฟอสเฟตกับสารหนู

4. โลหะชนิดอื่นๆ ที่ปนเปื้อนในดิน เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดจะมีความคุณสมบัติและความเฉพาะเจาะจงกับสารปรับเสถียรไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อมีโลหะมากกว่า 1 ชนิดร่วมอยู่ในกระบวนการเดียวกันจึงอาจก่อให้เกิดภาวะแข่งขันอันเนื่องมาจากคุณสมบัติและความเฉพาะเจาะจงกับสารปรับเสถียรไม่เท่ากัน Kandah et al. (2004) พบว่า การดูดซับของสังกะสีและแคดเมียมด้วย low-grade phosphate มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของโลหะร่วมในสารละลาย โดยการลดลงของการดูดซับของสังกะสีมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการลดลงของการดูดซับของแคดเมียม ทั้งนี้เนื่องมาจากสังกะสีมีขนาดเล็กกว่าแคดเมียมจึงสามารถถูกดูดซับบน low-grade phosphate ได้ดีกว่า

2.6 สารปรับเสถียร (Stabilizer)

สารปรับเสถียรที่นิยมนำมาใช้ในการปรับเสถียรมลพิษทางดินนั้นมีอยู่หลายชนิด โดยสามารถแบ่งสารปรับเสถียรออกเป็น 7 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้คือ

1. สารประกอบของเหล็ก

ตัวอย่างเช่น การนำสารประกอบของเหล็ก เช่น เฟอร์รัส, เฟอร์ริก, เกอร์ไฮต์, เฮมาไทต์ (Moore et al., 2000 ; Kim et al., 2003 ; Hartlay et al., 2004) มาใช้ในการปรับเสถียรสารหนูได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ iron arsenate ; $\text{FeAsO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Carlson et al., 2002) scorodite ; $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sastre et al., 2004) $\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2$ (Porter et al., 2004) นอกจากนี้สารประกอบของเหล็กยังสามารถปรับเสถียรโลหะได้อีกหลายชนิด เช่น ตะกั่ว (Sauve et al., 2000) โครเมียม (Fendorf et al., 1995) ทองแดงและพลวง (Comelia et al., 2007) เป็นต้น และพบว่าประสิทธิภาพของการปรับเสถียรจะขึ้นอยู่กับชนิดและพีเอชดิน (Moore et al., 2000 ; Carlson et al., 2002 ; Ritcey et al., 2004)

2. สารประกอบของแมงกานีส

สารประกอบของแมงกานีสเป็นสารประกอบที่มีความจุในการดูดซับค่อนข้างสูง สามารถนำมาใช้เป็นสารปรับเสถียรโลหะได้โดยลำพัง เช่น การนำมาใช้ปรับเสถียรสารหนูด้วยกระบวนการดูดซับ (Chiu and Hering, 2000) การนำมาใช้ปรับเสถียรสารหนูด้วยกระบวนการตกตะกอนของ $\text{MnHAsO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Tournasst et al., 2002) $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Porter et al., 2004) หรือโดยการร่วมกับสารประกอบอื่นๆ เช่น เหล็กหรืออะลูมิเนียม (Mench et al., 2000 ; Manning et al., 2002 ; Foster et al., 2003) นอกจากนี้สารประกอบของแมงกานีสยังสามารถปรับเสถียรโลหะชนิดต่างๆ ได้อีกมากมายเช่นเดียวกับสารประกอบของเหล็ก

3. สารประกอบของอะลูมิเนียม

สารประกอบของอะลูมิเนียมมีความสามารถและประสิทธิภาพในการปรับเสถียรโลหะได้เช่นเดียวกับสารประกอบของเหล็กและสารประกอบของแมงกานีส เช่น การนำมาใช้ตกตะกอนทองแดงและสังกะสี (Kabata-Pendias and Pendias, 2000)

4. สารอินทรีย์

การปรับเสถียรโลหะด้วยสารอินทรีย์จะใช้กลไกหลัก คือ การดูดซับและการเกิดออกซิเดชัน สารอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้ได้ ได้แก่ กรดฮิวมิก กรดฟุลวิก กรดซิติริก กรดอะกอนและปุ๋ยหมัก ตัวอย่างเช่น การนำกรดอะกอนน้ำโซโครกผสมกับเกลือมาใช้ในการปรับเสถียรทองแดง (Su and Wong, 2004) การนำปุ๋ยมาใช้ในการปรับเสถียรสารหนู (Cao and Ma, 2004) และตะกั่ว แต่สารอินทรีย์ที่จะสามารถนำมาใช้เป็นสารปรับเสถียรได้นั้นจะต้องเลือกสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และความสามารถในการละลายต่ำ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กและละลายได้ดีจะส่งผลให้พีเอชของระบบลดลงซึ่งจะยิ่งส่งเสริมการละลายของโลหะ ประสิทธิภาพของการปรับเสถียรจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และพีเอชของดิน (Grafe et al., 2002 ; Shiralipour et al., 2002)

5. แร่ดินเหนียว

แร่ดินเหนียวเป็นสารเชื่อมที่มีความแข็งแรงมาก ซึ่งความแข็งแรงนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวและพีเอชของดิน เมื่อนำมาใช้เป็นสารปรับเสถียรพบว่า สามารถลดการเคลื่อนที่ของโลหะได้หลายชนิด เช่น สารหนู (Garcia-Sanchez et al., 2002) ทองแดง (Alvarez-Ayuso et al., 2003a) แคดเมียมและสังกะสี (Alvarez-Ayuso et al., 2003b)

6. สารประกอบอัลคาไลน์

สารประกอบอัลคาไลน์เป็นสารปรับเสถียรที่ค่อนข้างได้รับความนิยม เพราะนอกเหนือจากการทำหน้าที่เป็นสารปรับเสถียรแล้ว สารประกอบอัลคาไลน์ยังทำหน้าที่บัฟเฟอร์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอชของระบบได้อีกด้วย ตัวอย่างของสารประกอบอัลคาไลน์ ได้แก่ เถ้าหนักรถยนต์ ยิปซัม ปูนขาว หินปูน แคลเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนต นอกจากนี้สารประกอบอัลคาไลน์ยังสามารถนำมาใช้ในการปรับเสถียรร่วมกับสารปรับเสถียรอื่นๆ เพื่อช่วย

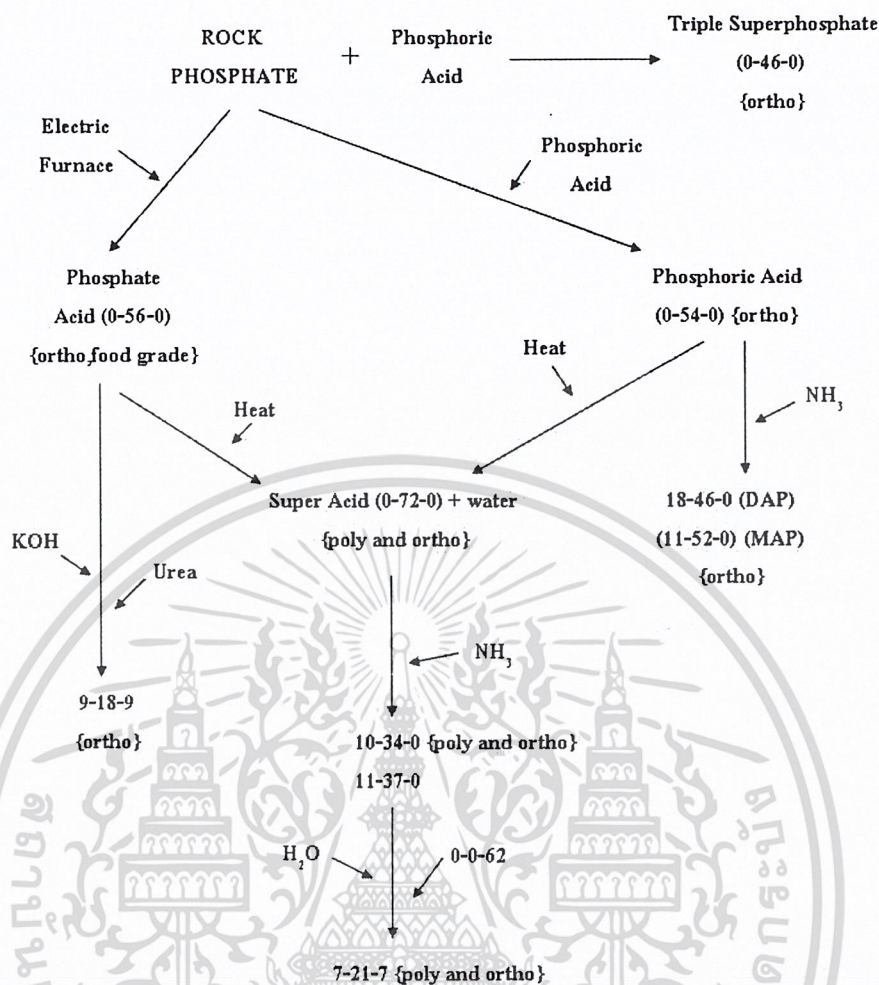
เพิ่มประสิทธิภาพในการปรับเสถียร เช่น การใช้สารประกอบอัลคาไลน์ร่วมกับฟอสเฟต (Wang et al., 2001)

7. ฟอสเฟตที่ละลายได้

ฟอสเฟตในรูปต่างๆ นิยมนำมาใช้เป็นสารปรับเสถียรสารมลพิษจำพวกโลหะ เนื่องจากฟอสเฟตจะรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับโลหะหนัก เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีความสามารถในการละลายลดลง (Bradley et al., 2001 ; McGowen et al., 2001) ทำให้เคลื่อนที่ได้น้อยลง ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่เกิดขึ้นนี้เป็นโลหะที่มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชและอุณหภูมิ (James L. et al., 2000) ทนต่อการกัดเซาะทางธรรมชาติ การเกิดแผ่นดินไหว การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาต่างๆ (Wright, 1990 ; Wright et al., 1987) สารปรับเสถียรที่นิยมใช้ได้แก่ ฟอสเฟตทั้งในรูปสินแร่ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ และออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เช่น ฟอสเฟตจากสิ่งมีชีวิต (กระดูกสัตว์) กรดฟอสฟอริก หินฟอสเฟต ไฮดรอกซีอะพาไทต์ โมโน-, ได- และไตรแคลเซียมฟอสเฟต และปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ ซึ่งฟอสเฟตเหล่านี้จะมีความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกันและยังจะให้ประสิทธิภาพการปรับเสถียรที่แตกต่างกันอีกด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฟอสเฟตสามารถนำมาใช้ปรับเสถียรโลหะและสารมลพิษต่างๆ ได้หลายชนิด ตัวอย่างเช่น การปรับเสถียรตะกั่วโดยใช้หินฟอสเฟต (Geebelen et al., 2002 ; Cao et al., 2004 ; Brown et al., 2005 ; Ownby et al., 2005) อะพาไทต์ (Ma et al., 1993 ; Shi and Erickson, 2001 ; Raicevic et al., 2005) เปลือกฟอสเฟต (Cao et al., 2003 ; Ownly et al., 2005) ปุ๋ยฟอสเฟต (Brown et al., 2005) การปรับเสถียรสังกะสี (Basta et al., 2001 ; Hamon et al., 2002 ; Brown et al., 2004, 2005 ; Impellitteri et al., 2005 ; Panfili et al.,) การปรับเสถียรยูเรเนียม (Raicevic et al., 2006) เป็นต้น

2.7 ปุ๋ยฟอสเฟต

ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยเคมีที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในรูปของสารประกอบฟอสเฟต ชนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่จำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแตกต่างกันไปตามกระบวนการและขั้นตอนผลิต โดยส่วนใหญ่ใช้หินฟอสเฟตเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต

(<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6288.html>)

เมื่อเปรียบเทียบปุ๋ยฟอสเฟตแต่ละชนิด พบว่านอกจากกระบวนการและขั้นตอนผลิตจะแตกต่างกันแล้ว ปุ๋ยฟอสเฟตแต่ละชนิดยังมีปริมาณฟอสเฟตรูปต่างๆ ที่มีอยู่ในปุ๋ยแตกต่างกันซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รูปของฟอสเฟตที่พบในปุ๋ยชนิดต่างๆ

(Ohio Agronomy Guide. Ohio Cooperative Extension Service Bull.472.)

ชนิดปุ๋ย	N	% P ₂ O ₅		
		Total	Available	Water Soluble*
ซูเปอร์ฟอสเฟต (OSP)	0	21	20	85
ซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้น (CSP)	0	45	45	85
โมโนแอมโมเนียม ฟอสเฟต (MAP)	11	49	48	82
ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP)	18	47	46	90
แอมโมเนียม พอลิฟอสเฟต (APP)	10	34	34	100
หินฟอสเฟต (RP)	0	34	3-8	0

* Water Soluble แสดงเป็นร้อยละของ P₂O₅ ทั้งหมด

2.7.1 ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

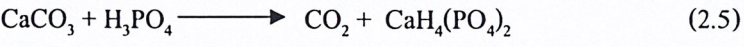
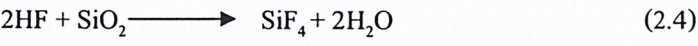
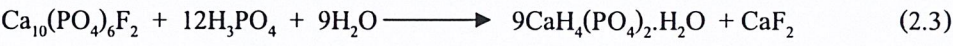
ในงานวิจัยนี้ได้นำสารปรับเสถียรกลุ่มฟอสเฟต คือ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมาใช้เป็นสารปรับเสถียร ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงรายละเอียดของสารปรับเสถียรที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตจัดว่าเป็นปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตชนิดเข้มข้นที่ได้จากการสังเคราะห์ การสังเคราะห์ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปที่ 2.1) จะใช้หินฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกได้สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่มีเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสสูง เรียกกระบวนการสังเคราะห์นี้ว่ากระบวนการ acidulation กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) ที่ใช้ในการผลิตได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างหินฟอสเฟตกับกรดกำมะถัน (Wet process acid) โดยใช้กรดกำมะถันเป็นในปริมาณที่สมดุลกับแคลเซียมที่มีอยู่ในฟอสเฟตแล้วกรองเอาอิปซัม (CaSO₄·2H₂O) ออกจากส่วนผสมที่ได้จากปฏิกิริยา (สุนทร, 2526) ดังสมการที่ 2.2-2.6

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดฟอสฟอริก



ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต



ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่มีฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในปริมาณสูง (P₂O₅, 45-46%) (Vistosh et al., 1990) มีอัตราส่วนของธาตุ N-P-K เท่ากับ 0-45-0, 0-46-0 หรือ 0-50-0 สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้โดยตรงหรือนำไปใช้เป็นแม่ปุ๋ยสำหรับผสมสูตรปุ๋ยต่างๆ เช่น เมื่อผสมกับก๊าซแอมโมเนียจะได้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตซึ่งมีอัตราส่วนของ N-P-K เท่ากับ 16-48-0, 18-46-0 หรือเมื่อนำผสมกับปุ๋ยโพแทสเซียมจะได้ปุ๋ยโพแทสเซียมฟอสเฟตและถ้าผสมทั้งแอมโมเนียและโพแทสเซียมลงไปก็จะได้ปุ๋ยที่มีอัตราส่วนของ N-P-K หลายสูตรเช่น 1-1-1, 1-2-2, 2-1-1 (ดินและปุ๋ยเพื่อการเกษตรกรรม, 2529 ; สุนทร, 2526)

ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่นำมาใช้ในการเกษตรกรรมนั้น โดยทั่วไปจะพบว่ามีความสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพ - เคมีของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

สมบัติ	ลักษณะ / ค่า
สถานะ	ของแข็งสีเทา ^a
กลิ่น	เล็กน้อย ^a
ความชื้น	4 -5 % ^b
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	1 – 4 ^b
พีเอช (100 กรัมต่อลิตร, water solution)	2.5 – 3.0 ^a
จุดหลอมเหลว (°c)	110 °c ^a
จุดวาบไฟ	ไม่ติดไฟ ^d
ความหนาแน่นรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,100 – 1,200 ^a
Saift Index	10.1 ^c
ความสามารถในการละลายน้ำ (30 °c)	1.8 ^c

N/A = Not Available

^a <http://www.simplot.com/agricultural/plant/upload/Triple-Superphosphate-0-45-0.pdf>

^b http://www.alibaba.com/catalog/10389737/Triple_Super_Phosphate_TSP_SSP.html

^c <http://www.ams.usda.gov/nop/NationalList/TAPReviews/monocal.pdf>

^d <http://msds.simplot.com/datasheets/12030.pdf>

2.7.2 รูปฟอร์มของฟอสเฟตในดิน

ฟอสเฟตในดินเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต โดยจะแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ (Linsay, 1979) คือ

- อินทรีย์ฟอสเฟต เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด inositol phosphate

- อนินทรีย์ฟอสเฟต เช่น สารประกอบหรือแร่ชนิดต่างๆ

เมื่อเติมปุ๋ยฟอสเฟตลงในดิน จะพบว่าฟอสเฟตจะอยู่ในของอนินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งมีทั้งส่วนที่อยู่ในสารละลายดิน และพวกที่เป็นสารประกอบหรือของแข็งอยู่ในดิน โดยฟอสเฟตจะแพร่กระจายอยู่ในส่วนต่างๆ ของดินและอยู่ในรูปที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาวะและคุณสมบัติของดิน ซึ่งรูปที่พบอาจเป็นรูปใดรูปหนึ่งหรือหลายรูปดังต่อไปนี้

1. ไอออนฟอสเฟตในสารละลายดิน ซึ่งเป็นรูปฟอร์มแรกของฟอสเฟตที่เกิดขึ้นหลังจากที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตพวกที่ละลายน้ำได้ดี เช่น $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ลงในดินที่มีความชื้นสูงหรือดินที่มีน้ำท่วมขัง

2. ไอออนฟอสเฟตที่ถูกดูดซับที่ผิวของไฮดรอกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียมและแร่ดินเหนียวซิลิเกต ฟอสเฟตเหล่านี้ถูกตรึง (fixed) และยากแก่การปล่อยกลับออกไปในสารละลายดิน

3. สารประกอบฟอสเฟต เกิดจากไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินไปทำปฏิกิริยากับไอออนบวกอื่นๆ ในดิน เช่น แคลเซียม เหล็ก อะลูมิเนียม โพแทสเซียมหรือแมกนีเซียม จะเกิดเป็นสารฟอสเฟตชนิดต่างๆ ที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าเดิมเสมอ เช่น อาจเปลี่ยนเป็น $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ หรือ $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งละลายได้น้อยกว่า $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ แล้วเปลี่ยนไปเป็น octa-calcium phosphate ($\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ซึ่งค่อนข้างเสถียรละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย และในที่สุดอาจเปลี่ยนไปเป็นฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของแร่ ทั้งแร่ปฐมภูมิ เช่น ฟลูออโรโรอะพาไทต์ ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$) คลอโรอะพาไทต์ ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCl}_2$) แร่ทุติยภูมิ เช่น คาร์บอเนตอะพาไทต์ ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$) ออกไซด์อะพาไทต์ ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$) ไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$) ไดแคลเซียมฟอสเฟต ($2(\text{CaHPO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) โดยพบว่าดินที่มีความเป็นด่างสูงจะพบแคลเซียมฟอสเฟตมากกว่าเหล็กฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟต แต่ถ้าดินมีความเป็นกรดสูงจะพบเหล็กฟอสเฟตมากกว่าแคลเซียมฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟต ซึ่งสารประกอบของแร่ฟอสเฟตมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยมาก โดยเฉพาะแร่ที่โครงสร้างโมเลกุลที่มีความซับซ้อนมากๆ

2.7.3 ปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟต

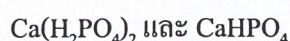
สารประกอบของฟอสเฟตในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก ดังนั้นจึงมักจะมีปัญหาเสมอว่าดินถึงแม้จะมีฟอสฟอรัสมากก็จริงแต่พืชก็ยังขาดฟอสฟอรัส เพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยากนั่นเอง นอกจากนั้นแร่ธาตุต่างๆ ในดินชอบที่จะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เมื่อใส่ลงไปในดินประมาณ 80-90% จะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุในดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยากไม่อาจเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ เนื่องจากพืชจะนำฟอสฟอรัสไปใช้เฉพาะที่อยู่ในรูปของไอออนฟอสเฟต เช่น โมโนเบสิกออร์โท

ฟอสเฟต (H_2PO_4^-) ไคเบสิกออร์โทฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) หรือในรูปของไตรเบสิกออร์โทฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟต ได้แก่

1. ชนิดของสารประกอบฟอสเฟต

ฟอสเฟตในดินที่เกิดจากการเติมปุ๋ยฟอสเฟตจะอยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟตชนิดต่างๆ ซึ่งมีความสามารถในการละลายหรือการปลดปล่อยไอออนของฟอสเฟตออกสู่สารละลายดินได้ต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ เนื่องจากอยู่ในรูปที่สามารถละลายได้ดี เช่น



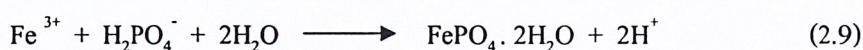
- กลุ่มที่เป็นประโยชน์น้อยถึงน้อยมาก ได้แก่ สารประกอบที่อยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟต แมงกานีสฟอสเฟต อะลูมินัมฟอสเฟตและแร่ชนิดต่างๆ ทั้งนี้ระดับความเป็นประโยชน์ของสารประกอบฟอสเฟตกลุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่สารประกอบฟอสเฟตชนิดนั้นๆ เกิดขึ้น

2. ความเป็นกรด-ด่างของดิน

การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟต ดังนี้ ในสถานะที่ดินมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นสารประกอบโลหะฟอสเฟต (เกลือฟอสเฟต อะลูมินัมฟอสเฟต) จะสามารถปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาสู่สารละลายดินได้มากขึ้น ในขณะที่แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำดังสมการที่ 2.7 – 2.8 (กฤตย์, 2549)



ในสถานะที่ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นสารประกอบของแคลเซียมฟอสเฟตจะละลายได้มากขึ้น ในขณะที่เหล็กหรืออะลูมินัมไฮดรอกไซด์จะกับไอออนฟอสเฟตเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากขึ้น เมื่อดินมีความเป็นกรดต่ำกว่า 5.5 ดังแสดงในสมการที่ 2.9 – 2.10 (กฤตย์ และคณะ, 2549)



นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างของดินยังสำคัญต่อรูปฟอร์มของไอออนฟอสเฟตด้วย เมื่อฟอสเฟตละลายอยู่ในสารละลายดินจะพบว่าฟอสเฟตอยู่ในรูปฟอร์มต่างๆ คือ รูปของ H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} ในสถานะที่ดินเป็นกรดจะพบว่าไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินจะอยู่ในรูป

ของ H_2PO_4^- เป็นส่วนใหญ่ ในสภาวะที่ดินเป็นกลางจะพบว่าไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินจะอยู่ในรูปของ H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน และในสภาวะที่ดินเป็นด่างไอออนฟอสเฟตในสารละลายดินจะอยู่ในรูปของ HPO_4^{2-} เป็นส่วนใหญ่ (Matusik et al., 2007) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนของรูปฟอร์มของไอออนฟอสเฟตที่พีเอชต่างๆ
(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

พีเอชของสารละลาย	เปอร์เซ็นต์		
	H_2PO_4^-	HPO_4^{2-}	$(\text{PO}_4^{3-} + \text{H}_3\text{PO}_4)$
5.0	99.3	0.6	0.1
7.2	50.0	50.0	0.0
9.0	1.5	98.4	0.1

3. ปริมาณของไอออนบวกและสารประกอบต่างๆ ที่ชอบทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟต

ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินจะลดลงเมื่อฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับไอออนของเหล็ก ไอออนของอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต หรือแร่ดินเหนียวซิลิเกต เนื่องจากสารเหล่านี้จะสามารถดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิตหรือทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ($K_{sp} > 10^{-40}$) (Raicevic et al., 2006) ปริมาณไอออนฟอสเฟตที่ประโยชน์ในสารละลายดินจึงลดลง

4. พื้นที่ผิวของสารที่จะปลดปล่อยไอออนฟอสเฟต

ในกรณีของสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้ยาก เมื่อสารนั้นมีพื้นที่ผิวมากก็จะส่งเสริมให้การละลายเกิดได้ดี แต่ถ้าเป็นกรณีของสารที่ละลายได้ดีอยู่ เช่น ปุ๋ยรูปเปอร์ฟอสเฟตแล้วการมีพื้นที่ผิวมากย่อมทำให้ไอออนฟอสเฟตละลายได้ดีขึ้น ปริมาณฟอสเฟตในดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการปลดปล่อยอย่างรวดเร็วเกินไปส่งเสริมให้สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้เร็วขึ้น

2.7.4 การตรึงฟอสเฟตในดิน

เมื่อมีการเติมปุ๋ยฟอสเฟตลงไปในดิน พบว่ามีเพียง 10-25% เท่านั้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ส่วนที่เหลือ 75-90% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จะอยู่ในสภาพที่ไม่ละลายน้ำยากที่พืชจะนำไปใช้ได้ เรียกว่า ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ในดิน อำนวยในการตรึงฟอสเฟตของดินขึ้นอยู่กับ

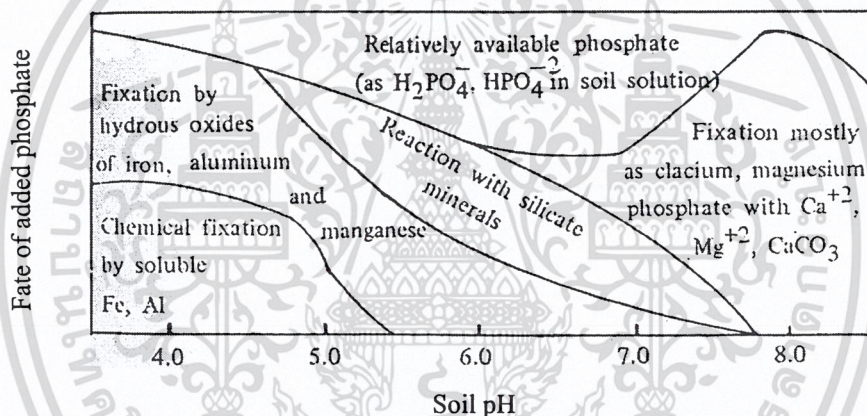
- (1) ชนิดของส่วนประกอบและสภาพของดินนั้นๆ เช่น อินทรีย์วัตถุในดิน
- (2) ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน
- (3) ปริมาณของไอออนบวกและสารประกอบของเหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส แคลเซียม

แมกนีเซียมที่อยู่ในสภาพที่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ฟอสเฟตได้

(4) ปริมาณของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม

(5) ชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียวในดิน

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตรึงฟอสเฟตในดินแล้ว จะพบว่าไม่ว่าดินจะมีสถานะเป็นกรดหรือด่าง ไฮดรอกไซด์ฟอสเฟตที่เกิดจากการเติมปุ๋ยลงไปดินจะถูกตรึงด้วยแร่ธาตุไฮดรอกไซด์ต่างๆ ในดินและปริมาณของไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งสัดส่วนการตรึงจะแตกต่างกันไปตามระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน เมื่อดินมีความเป็นกรดฟอสเฟตจะถูกตรึงด้วยไฮดรอกไซด์และสารประกอบของเหล็ก อะลูมิเนียม แมกนีเซีย การตรึง และในขณะที่ดินเป็นด่างเพิ่มขึ้นการตรึงฟอสเฟตด้วยไฮดรอกไซด์และสารประกอบของเหล็ก อะลูมิเนียม แมกนีเซีย จะลดลง แต่การตรึงด้วยไฮดรอกไซด์และสารประกอบของแคลเซียม แมกนีเซียจะเพิ่มขึ้น และจะพบว่าฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สูงสุด เมื่อดินมีความเป็นกรด-ด่างในช่วง 6-7 แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปฟอร์มของฟอสเฟตในดินที่พีเอชต่างๆ
(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าดินสามารถตรึงฟอสเฟตไว้ด้วยปฏิกิริยาหลายปฏิกิริยาร่วมกัน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของปฏิกิริยาออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ปฏิกิริยาการดูดซับที่ผิว (adsorption reaction)

อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในสภาพคอลลอยด์จะมีประจุไฟฟ้าอยู่ที่ผิวจึงสามารถดูดซับกับไฮดรอกไซด์ฟอสเฟตได้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (physical adsorption) ซึ่งมีผลทำให้ไฮดรอกไซด์ฟอสเฟตรวมตัวอยู่รอบๆ พื้นผิวของคอลลอยด์ หรือการดูดซับด้วยพันธะทางเคมี (chemical adsorption) ซึ่งมีผลทำให้เกิดเป็นโมเลกุลของสารขึ้นเพราะสารคอลลอยด์เหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิลและซิลิเกตที่สามารถหลุดออกไปทำให้เกิดประจุที่ฟอสเฟตไฮดรอกไซด์สามารถเข้ามาแทนในตำแหน่งนี้เกิดการดูดซับด้วยพันธะทางเคมีทำให้เกิดประจุที่สมดุล ปริมาณของฟอสเฟตที่ถูกดูดซับด้วย

พันธะทางเคมีนี้มักจะต่ำกว่าการดูดซับด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ เพราะตำแหน่งที่ไอออนฟอสเฟตเข้าจับตัวกับคอลลอยด์มีจำกัด และเนื่องจากการดูดซับจะทำให้เกิดแรงจำนวนหนึ่งขึ้น ดังนั้นน้ำจะไม่สามารถละลายไอออนฟอสเฟตเหล่านี้ออกมาได้

2. ปฏิริยาการแทนที่ด้วยไอออนที่มีขนาดเท่ากัน (isomorphous replacement reaction)

เกิดจากการที่ไอออนฟอสเฟตที่ถูกดูดซับที่ผิวของแร่ดินเหนียว เคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างผลึกคอลลอยด์ของแร่ดินเหนียว จากเดิมที่คอลลอยด์มีกลุ่มไฮดรอกซิลหรือซิลิเกตรวมอยู่ในโครงสร้างสภาพของโครงสร้างและผลึกจะคงตัว แต่เมื่อไอออนฟอสเฟตเข้ามาแทนที่โครงสร้างผลึกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขนาดที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นผลึกคอลลอยด์ของแร่ดินเหนียวจึงมีการจัดเรียงตัวใหม่ให้ได้รูปร่างที่คงตัว ไอออนฟอสเฟตจึงถูกยึดแน่นเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวอย่างถาวร ไม่สามารถถูกละลายออกมาสู่สารละลายดินได้ นอกจากแร่จะถูกทำให้สลายตัว

3. ปฏิริยาการแตกตัวแล้วทำปฏิริยา (double decomposition)

สารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้จะละลายและแตกตัวเป็นไอออน เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถทำปฏิริยากับไอออนบวกอื่นที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน เช่น ไอออนบวกของเหล็ก อะลูมิเนียม แคลเซียมและแมกนีเซียม เกิดเป็นสารประกอบของเหล็กฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟตหรือสารประกอบที่โครงสร้างโมเลกุลมีความซับซ้อนมากขึ้น และสามารถละลายได้น้อยลง กลไกนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ไม่ว่าดินจะมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับใด เนื่องจากไอออนเหล่านี้สัมผัสกันอยู่ตลอดเวลา

ทั้งนี้การตรึงฟอสเฟตในดิน ไม่ได้เกิดเนื่องจากกลไกใดกลไกหนึ่งเท่านั้น หากแต่เกิดขึ้นพร้อมๆ กันเพราะดินเป็นสารผสมที่มีองค์ประกอบหลายชนิด ดังนั้นเมื่อเติมปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายได้ดีลงในดินจึงจะพบว่าพืชจะไม่สามารถนำฟอสเฟตไปใช้ได้ทั้งหมดขึ้นอยู่กับสภาวะต่างๆ ของดินที่จะมีผลต่อการตรึงฟอสเฟต

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bradley et al. (2000) ทำการศึกษาการปรับเสถียรโลหะหนักในถ้ำหนักจากเตาเผาขยะชุมชนด้วยฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) ในอัตราส่วน 0.38 โมลของฟอสเฟตไอออนต่อถ้ำหนัก 1 กิโลกรัม พบว่าการเติมฟอสเฟตไอออนลงในถ้ำหนักจะสามารถลดความเข้มข้นชะละลายของแคลเซียม แคลเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสีได้เท่ากับ 52, 14, 98, 99 และ 36% ตามลำดับ และจากการศึกษาด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี พบว่าโลหะหนักจะทำปฏิริยากับฟอสเฟตเกิดผลิตภัณฑ์เป็นโลหะฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำทั้งในรูปอสัณฐานและรูปที่เป็นผลึก โดยผลิตภัณฑ์ที่

เกิดขึ้นและเห็นได้ชัดเจนคือ แคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ เลคคอลลอโรไฟโรมอไฟต์ เลคไฮดรอกซีไฟโรมอไฟต์ ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยมาก

Theodoratos et al. (2002) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยโมโนเบสิกแคลเซียมฟอสเฟต เพื่อใช้ในการปรับเสถียรตะกั่ว แคลเมียม และสารหนูที่ปนเปื้อนในดินบริเวณเหมืองแร่ ในอัตราส่วนโมลของฟอสเฟตต่อโมลของตะกั่วในดินตั้งแต่ 0 ถึง 2.5 โดยบ่มเป็นระยะเวลา 2 เดือน จากการทดลองหาปริมาณโลหะจะละลายด้วยวิธี TCLP พบว่าโมโนเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตสามารถลดปริมาณตะกั่วจะละลายให้ต่ำกว่ามาตรฐาน (5 มก./ลิตร) เมื่ออัตราส่วนโมลของฟอสเฟตต่อโมลของตะกั่วเท่ากับ 0.6 (คิดเป็น 86.88%) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโมลของฟอสเฟตต่อโมลของตะกั่วเท่ากับ 2.5 จะสามารถลดปริมาณตะกั่วและแคลเมียมจะละลายได้สูงถึง 95.62 และ 75.47% แต่ปริมาณสารหนูจะละลายกลับเพิ่มขึ้นจากเดิมสูงถึง 600%

McGowen et al. (2001) ทำการศึกษานำปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) มาใช้ในการลดการละลายและการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักปนเปื้อนในดิน โดยนำดินที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว สังกะสี แคลเมียม และสารหนูจากบริเวณเตาหลอมมาเติมปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟตลงไปในอัตราส่วนโมลของฟอสเฟตต่อโมลของโลหะ เท่ากับ 1:74, 1:37 และ 1:15 ตามลำดับ พบว่าการเติม DAP ส่งผลให้ปริมาณโลหะที่ถูกจะละลายลดลง และปริมาณโลหะที่ลดลงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ DAP การศึกษาการเคลื่อนที่ของโลหะโดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ พบว่าการเติม DAP จะทำให้ความหน่วงในการเคลื่อนที่ (Retardation) ของแคลเมียม ตะกั่ว และสังกะสีเพิ่มขึ้น 2, 3.5 และ 6 เท่าตามลำดับ สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Distribution coefficient) ของแคลเมียมเพิ่มจาก 4.0 เป็น 9.0 ลิตร/กก. ตะกั่วเพิ่มจาก 2.9 เป็น 10.8 ลิตร/กก. และสังกะสีเพิ่มจาก 2.5 เป็น 17.1 ลิตร/กก. การทำนายรูปของตะกอนโลหะที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับเสถียรด้วยแบบจำลอง MINTEQA2 พบว่าโลหะในสารละลายจะอยู่ในรูปของโลหะฟอสเฟต ซึ่งแสดงให้เห็นว่า DAP ไปลดความสามารถในการละลายและการเคลื่อนที่ของโลหะ โดยการเกิดเป็นตะกอนของโลหะฟอสเฟตที่มีความเสถียรมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น GBC 932 บริษัท GBC Scientific Equipment PTY
2. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น SRS 3400 บริษัท Siemens
3. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ยูวี/วิสิเบิล) รุ่น Heios บริษัท Thermo electron
4. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น B-169 บริษัท B'U'CHI
5. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น Centaur 2 บริษัท SUNYO
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ รุ่น WB 22 บริษัท Memmert
7. เครื่องเขย่าแนวนอน (Orbital Shaker) บริษัท Gallenkamp
8. เครื่องเขย่าแนวตั้ง (Horizontal Shaker)
9. เครื่องวัดค่าพีเอช รุ่น 215 บริษัท Denver Instrument Company
10. ตู้อบให้ความร้อน รุ่น ISOTEMP บริษัท Fisher Scientific
11. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument Company
12. ไมโครปิเปต ขนาด 10-100 และ 100-1000 ไมโครลิตร รุ่น Nichiyo Le บริษัท Nichiyo
13. ไมโครปิเปต ขนาด 1,000-10,000 ไมโครลิตร รุ่น Nichipet EX บริษัท Nichiyo
14. เครื่องย่อยเจลด้าล (Kjedahl Digestion Unit) รุ่น K-424 บริษัท B'U'CHI
15. เครื่องกลั่นไนโตรเจน รุ่น B-323 บริษัท B'U'CHI
16. เซลล์พลาสติกชนิดที่มีด้านใส 2 ด้าน
17. กระดาษกรอง Whatman GF/C เบอร์ 1
18. แผ่นกรองเมมเบรน Whatman ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
19. ตะแกรงร่อนขนาด 10 เมช
20. ไฮโดรมิเตอร์มาตรฐาน ASTM NO. 1.152 H
21. แท่งแก้วสำหรับคนแบบ Plunger
22. เทอร์โมมิเตอร์
23. เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกสำหรับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. ปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (สูตร 0-46-0)
2. โลหะแคดเมียม บริษัท PANREAC
3. กรดอะซิติก (CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
4. กรดบอริก (H_3BO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
5. กรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
7. กรดฟอสฟอริกเข้มข้น (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
8. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba C
9. กรดแอสคอร์บิก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
10. กรดออกซาลิก ($(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
11. เอธิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
12. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
13. ไฮดรอกซาลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
14. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
15. ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
16. ไตรเอทานอลามีน ($(\text{CH}_2\text{OHCH}_2)_3\text{N}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
17. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
18. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
19. แอมโมเนียมออกซาลेट ($(\text{COONH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
20. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
21. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
22. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
23. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Chemical
24. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต ($\text{KOOOC}(\text{CHOH})_2\text{COOSbO} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
25. แบเรียมคลอไรด์ ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
26. แคลเซียมคลอไรด์ ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
27. ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
28. โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ($(\text{NaPO}_3)_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
29. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem
30. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

- 31. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 32. โซเดียมเตตระบอเรท ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 33. โซเดียมอะซิเตท ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เกรควิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
- 34. โบรโมกลีซอลกรีน เกรควิเคราะห์ บริษัท Adros Organic
- 35. เมทิลเรด เกรควิเคราะห์ บริษัท S.D. Finechem

3.2 การเตรียมตัวอย่างดินและดินที่ปนเปื้อนแคดเมียม

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ 4 แห่งด้วยวิธี Equal interval on diagonal lines ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530) ตัวอย่างดินเป็นตัวอย่างดินแบบรวม (composite sample) ซึ่งสถานที่เก็บรวบรวมดินตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สถานที่เก็บรวบรวมดินที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	สถานที่เก็บ
1	ตำบลบางนกแขวก อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม
2	ตำบลลำปลาทิว อำเภอลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
3	ตำบลนาจอมเทียน อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
4	ตำบลแม่ตาว อำเภอแม่สลด จังหวัดตาก ^a

^a มีรายงานการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน

ทำการเตรียมตัวอย่างดินโดยเกลี่ยดินให้กระจายทั่วผาที่รองพลาสติกไว้ เลือกเศษหญ้า เศษหินออกให้หมดเท่าที่จะทำได้และผึ่งดินให้แห้ง เมื่อดินแห้งทำการบดดินด้วยครกบดดิน จากนั้นร่อนดินด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บดินไว้ในถุงพลาสติกแบบปิดได้ เขียนเลขที่ ตัวอย่างดิน แล้วเก็บไว้วิเคราะห์

3.2.2 การศึกษาสมบัติของดินตัวอย่าง

สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวอย่างทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์สมบัติของดินตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ความชื้น	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 °C
2. เปอร์เซ็นต์เนื้อดินสัมผัส	ไฮโดรมิเตอร์
3. ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช / 1:1 (soil : water)
4. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	การทำให้อิ่มตัวด้วยประจุบวก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547))
5. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	การออกซิเดชันแบบเปียก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
6. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	การสกัดด้วยสารละลาย Bray II (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
7. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน	เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (XRF)
8. ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย	TCLP / อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ SW-846 Method 1311 (US.EPA, 1992)
9. ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด	Acid Digestion / อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ SW-846 Method 3050b (US.EPA, 1996)

3.2.3 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียม

เติมแคดเมียมลงในดินตัวอย่างจากตำบลนาจอมเทียน ตำบลบางนกแขวก และตำบลลำปลาทิว กำหนดให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง ผสมรวมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน (ขณะสังเคราะห์ดินให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) หลังจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหาความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียม ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียม โดยกำหนดให้ดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมมีรหัสดังนี้

- 1. ตำบลบางนกแขวก อำเภอบางคมที่ จังหวัดสมุทรสงคราม รหัส คือ BN
- 2. ตำบลลำปลาทิว อำเภอลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัส คือ LP
- 3. ตำบลนาจอมเทียน อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี รหัส คือ NJ

3.2.4 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและทองแดง

เติมทองแดงลงในดินตัวอย่างที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2.3 โดยเลือกดินตัวอย่างที่มีสมบัติของดินใกล้เคียงกับดินตัวอย่างจากตำบลแม่ตาว กำหนดให้มีความเข้มข้นของทองแดงประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง ผสมรวมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน (ขณะสังเคราะห์ดินให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) หลังจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหาความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและทองแดง ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและทองแดง โดยกำหนดให้ดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและทองแดง มีรหัส BN-Cu

3.2.5 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่ว

เติมตะกั่วลงในดินตัวอย่างที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2.3 โดยเลือกดินตัวอย่างที่มีสมบัติของดินใกล้เคียงกับดินตัวอย่างจากตำบลแม่ตาว กำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกั่วประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง ผสมรวมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน (ขณะสังเคราะห์ดินให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) หลังจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหาความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและตะกั่ว ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและตะกั่ว โดยกำหนดให้ดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและตะกั่วมีรหัส BN-Pb

3.2.6 การเตรียมดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี

เติมโลหะสังกะสีลงในดินตัวอย่างที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2.3 โดยเลือกดินตัวอย่างที่มีสมบัติของดินใกล้เคียงกับดินตัวอย่างจากตำบลแม่ตาว กำหนดให้มีความเข้มข้นของตะกั่วประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดินแห้ง ผสมรวมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 เดือน (ขณะสังเคราะห์ดินให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) หลังจากนั้นนำไปผึ่งให้แห้ง แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหาความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและสังกะสี ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและสังกะสี โดยกำหนดให้ดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสี มีรหัส BN-Zn

3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

3.3.1 การศึกษาชนิดของดินที่มีผลต่อการปรับเสถียร

1. นำดิน BN ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยให้มีอัตราส่วนของโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 2:3
2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดและความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียม

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนชนิดของดินเป็นดิน LP และ NJ ตามลำดับ

3.3.2 การศึกษาปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่มีผลต่อการปรับเสถียรแคะเมียมในดินแต่ละชนิด

1. นำดิน BN ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยให้มีอัตราส่วนของโมลฟอสเฟตต่อ โมลแคะเมียมเท่ากับ 1:2

2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดและความเข้มข้นชะละลายของแคะเมียม

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น โดยแปรค่าอัตราส่วนของโมลฟอสเฟตต่อ โมลแคะเมียมเป็น 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนชนิดดินเป็นดิน LP และ NJ ตามลำดับ

3.3.3 การศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

(1) ผลของทองแดงต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่าง BN-Cu จากข้อ 3.2.4 ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยกำหนดให้มีปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2

2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดของแคะเมียมและสังกะสี ความเข้มข้นชะละลายของแคะเมียมและสังกะสี

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

(2) ผลของตะกั่วต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่าง BN-Pb จากข้อ 3.2.5 ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยกำหนดให้มีปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2

2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเซียมและทองแดง ความเข้มข้นชะละลายของแคลเซียมและทองแดง

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

(3) ผลของสังกะสีต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร

1. นำดินตัวอย่าง BN-Zn จากข้อ 3.2.6 ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยกำหนดให้มีปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2

2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเซียมและตะกั่ว ความเข้มข้นชะละลายของแคลเซียมและตะกั่ว

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

3.4 การประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคลเซียมที่ปนเปื้อนในดินจากพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากแคลเซียม

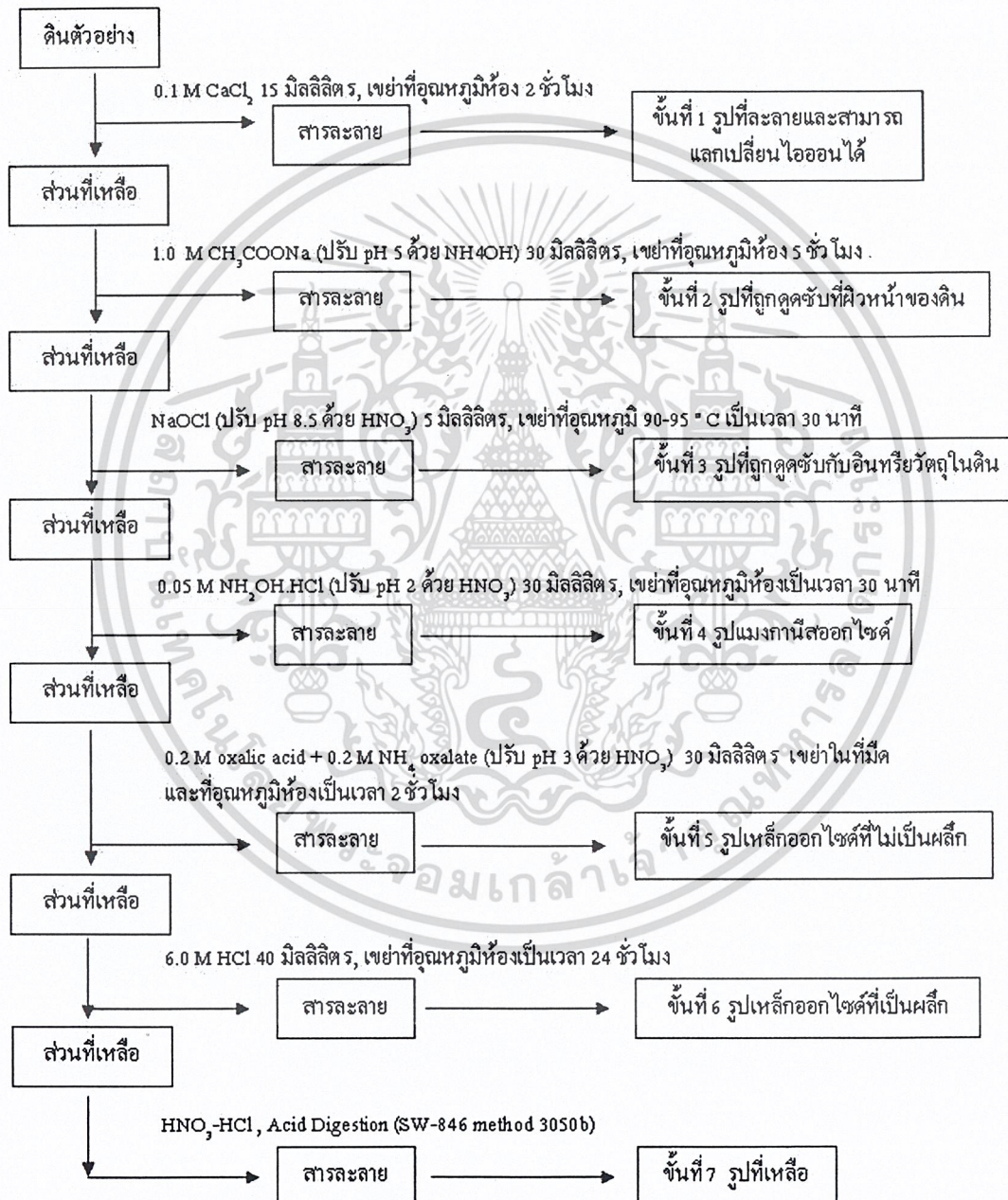
1. นำดินจากตำบลแม่ดาว (ข้อ 3.2.1) ใส่ลงในภาชนะพลาสติก เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต โดยกำหนดให้มีปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.3.2

2. ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลานาน 1 เดือน (ขณะปรับเสถียรให้คลุกเคล้าดินให้ผสมกันอย่างสม่ำเสมอ) นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นทั้งหมดและความเข้มข้นชะละลายของแคลเซียม

3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามวิธีข้างต้น ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งทำชุดควบคุมควบคู่กันไปด้วย โดยชุดควบคุมจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับชุดทดลองแต่ไม่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

3.5 การศึกษารูปฟอร์มของแคดเมียมในดินด้วยวิธีการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction)

นำดินตัวอย่างก่อนและหลังการปรับเสถียรมาทำการสกัดแบบเป็นลำดับขั้น (Sequential extraction) เพื่อศึกษาสัดส่วนของแคดเมียมรูปฟอร์มต่าง ๆ ในดิน (Silveira et al., 2006) ซึ่งวิธีการทดลองสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพวิธีการสกัดแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ออกจากดินแบบลำดับขั้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์
ฟอสเฟต ผลของโลหะร่วมชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในดินต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร และศึกษารูป
ฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น ผล
การวิเคราะห์ที่ได้เป็นดังนี้

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินที่ใช้ในการศึกษา

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ 4 แห่งที่มีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่าง
กัน มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน^a

คุณสมบัติ		ดินตัวอย่าง			
		บางนกแขวก	ลำปาวทิว	นาจอมเทียน	แม่ดาว
1. ความชื้น (%)		9.40 ± 1.50	7.19 ± 0.04	0.18 ± 0.02	2.95 ± 0.01
2. เปอร์เซนต์ เนื้อดินสัมผัส	% ทราย	38.82	31.06	84.80	43.57
	% ซิลต์	24.11	21.99	9.11	25.73
	% ดินเหนียว	38.57	46.95	6.09	30.70
	เนื้อดิน	clay loam	clay	loamy sand	clay loam
3. ค่าพีเอช (ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1)		7.22 ± 0.02	5.73 ± 0.01	6.01 ± 0.01	6.62 ± 0.01
4. ความจุในการแลกเปลี่ยน ประจุบวก (meq/ดิน 100 กรัม)		12.76 ± 1.20	18.43 ± 0.94	0.80 ± 0.00	10.22 ± 0.29
5. ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (%)		0.58 ± 0.06	1.11 ± 0.09	0.12 ± 0.03	1.33 ± 0.05
6. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น ประโยชน์ (mg/kg ดินแห้ง)		7.17 ± 2.40	5.70 ± 0.58	4.26 ± 1.59	nd

^a รายละเอียดในภาคผนวก ก

nd = not detected

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

คุณสมบัติ		ดินตัวอย่าง			
		บางนกแขวก	ลำปลาทิว	นาจอมเทียน	แม่ดาว
7. อนินทรีย์วัตถุ	% SiO ₂	57.8	62.3	91.6	70.0
	% Al ₂ O ₃	16.0	19.3	1.99	11.7
	% Fe ₂ O ₃	12.0	9.13	1.72	7.99
	% CaO	4.04	0.65	0.30	1.62
8. ความเข้มข้นของแคดเมียม ชะละลาย (mg/kg ดินแห้ง)		nd	nd	nd	0.53 ± 0.14
9.ความเข้มข้นของแคดเมียม ทั้งหมด (mg/kg ดินแห้ง)		nd	nd	nd	9.47 ± 0.94

เมื่อพิจารณาคูสมบัติและลักษณะของดินตัวอย่างเทียบกับคุณภาพของดินตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (2547) พบว่า ดินจากทั้ง 4 แห่งมีคุณสมบัติและลักษณะของดินแตกต่างกัน ดังนี้คือ

1. ลักษณะของเนื้อดิน พบว่า ดินบางนกแขวกและดินแม่ดาวจัดอยู่ในกลุ่มดินร่วนหรือดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soil) ดินลำปลาทิวจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียวหรือดินเนื้อละเอียด (fine-textured soil) และดินนาจอมเทียนจัดอยู่ในกลุ่มดินทรายหรือดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soil)

2. ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีค่าพีเอชอยู่ในช่วงกรดปานกลางถึงเป็นกลาง ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของดินลำปลาทิว ดินนาจอมเทียน ดินแม่ดาวและดินบางนกแขวก มีค่าเท่ากับ 5.73 ± 0.01, 6.01 ± 0.01, 6.62 ± 0.01 และ 7.22 ± 0.02 ตามลำดับ

3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินตัวอย่างมีค่าแตกต่างกัน โดยดินลำปลาทิวมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (15.0-20.0 meq/ดิน 100 กรัม) ดินบางนกแขวกและดินแม่ดาวมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง (10.0-15.0 meq/ดิน 100 กรัม) ในขณะที่ดินนาจอมเทียนมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับต่ำมาก (< 3.0 meq/ดิน 100 กรัม) ซึ่งความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อดิน กล่าวคือ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อดินมีเนื้อละเอียดหรือมีสัดส่วนของดินเหนียว (clay fraction) เพิ่มมากขึ้น อนุภาคของดินเหนียวซึ่งมีประจุลบอยู่ที่ผิวเป็นส่วนใหญ่มีการจับกับไอออนบวกอย่างหลวมๆ จึงสามารถถูกแทนที่ด้วยประจุบวกอื่นๆ ได้โดยง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4. ความอุดมสมบูรณ์ของดินซึ่งวัดจากร้อยละของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่า ดินลำปลาทิวและดินแม่ดาวมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 1.0-1.5 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินบางนกแขวกมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ (ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 0.5-1.0%) ในขณะที่ดินนาจอมเทียนมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำมาก (ปริมาณอินทรีย์วัตถุ < 0.5%) ซึ่งดินจากทั้ง 4 แห่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกัน คือ เมื่อดินเนื้อละเอียดขึ้นจะพบว่ามีความชื้นที่อินทรีย์วัตถุในดินจะมากขึ้น เนื่องจากดินเนื้อละเอียดจะอุ้มน้ำและดูดซับไออนที่เป็นธาตุอาหารพืชได้มาก ประกอบกับดินเนื้อหยาบจะมีการแลกเปลี่ยนก๊าซและการระบายน้ำที่ดีกว่าดินเนื้อละเอียด ทำให้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเกิดขึ้นได้ดีกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมในดินเนื้อหยาบอย่างเช่น ดินนาจอมเทียนจึงน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด ในขณะที่ดินแม่ดาวซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง แต่พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินลำปลาทิวซึ่งเป็นดินที่จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียด เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างดินเคยใช้เป็นที่เกษตรกรรม จึงพบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินตัวอย่างชนิดอื่นๆ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างมาจากพื้นที่รกร้าง

5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (3-10 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง) โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินบางนกแขวก ดินลำปลาทิว และดินนาจอมเทียนมีค่าเท่ากับ 7.17 ± 2.40 , 5.70 ± 0.58 และ 4.26 ± 1.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ

6. อินทรีย์วัตถุในดิน จากการวิเคราะห์พบว่าดินทั้งสี่ชนิดที่ใช้ในการศึกษามีออกไซด์ของซิลิกอน อะลูมิเนียมและเหล็ก เป็นองค์ประกอบหลัก คิดเป็น 85-95%

7. ความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลาย ซึ่งทำการวิเคราะห์ตามวิธี SW-846 Method 1311 (US.EPA, 1992) พบว่า ดินแม่ดาวมีความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลายเท่ากับ 0.53 ± 0.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ในขณะที่ดินบางนกแขวก ดินลำปลาทิวและดินนาจอมเทียนมีความเข้มข้นของแคดเมียมจะละลายอยู่ในระดับที่ต่ำมาก (ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันซึ่งเท่ากับ 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร)

8. ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด ซึ่งทำการวิเคราะห์ตามวิธี SW-846 Method 3050b (US.EPA, 1996) พบว่า ดินแม่ดาวมีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 9.47 ± 0.94 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ในขณะที่ดินบางนกแขวก ดินลำปลาทิวและดินนาจอมเทียนมีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดอยู่ในระดับที่ต่ำมาก (ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันซึ่งเท่ากับ 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร)

เมื่อแบ่งชนิดของดินตามกลุ่มชุดดิน (soil series) พบว่า ดินบางนกแขวก ดินลำปลาทิว และดินนาจอมเทียนจัดอยู่ในกลุ่มของดินชุดธนบุรี ชุดบางกอก และชุดยางตลาดตามลำดับ และเมื่อพิจารณาคูสมบัติและลักษณะของดินตามกลุ่มชุดดินเทียบกับคุณสมบัติและลักษณะของดินตัวอย่าง พบว่า คุณสมบัติและลักษณะของดินมีค่าที่สอดคล้องกัน

เนื่องจากดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นมีความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ซึ่งได้กำหนดให้พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินสูงเกิน 37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสำหรับการอยู่อาศัยและการทำเกษตรกรรม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) และความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดที่พบในดินอยู่ในระดับต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7, 2549) ดังนั้นดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในการศึกษาจึงยังไม่จัดว่าเป็นของเสียอันตราย เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการสังเคราะห์ดินปนเปื้อนแคดเมียมโดยการเติมสารละลายแคดเมียมลงในดิน ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดและความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย (ภายหลังจากการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน) ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน¹

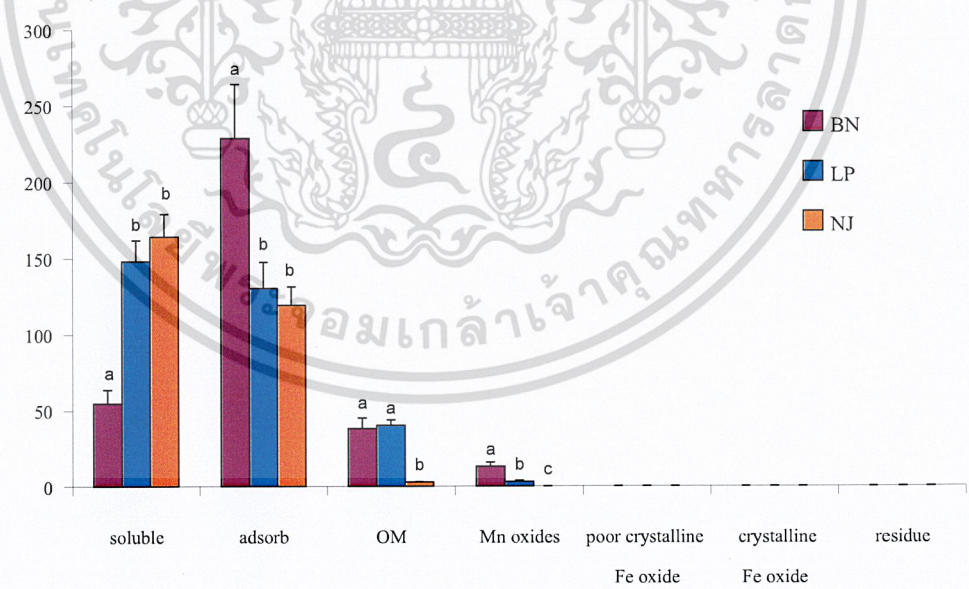
รหัสตัวอย่าง	ตัวอย่างดินที่ใช้ในการเตรียม	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม / กิโลกรัมดินแห้ง)	
		แคดเมียมทั้งหมด	แคดเมียมชะละลาย
BN	บางนกแขวก	325.83 ± 86.93	83.88 ± 10.75
LP	ลำปลาทิว	303.02 ± 54.04	66.42 ± 0.96
NJ	นาจอมเทียน	288.70 ± 13.24	191.59 ± 3.19

¹ รายละเอียดในภาคผนวก ข

จากตารางที่ 4.2 พบว่าดิน BN, LP และ NJ มีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 325.83 ± 86.93, 303.02 ± 54.04 และ 288.70 ± 13.24 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน BN, LP และ NJ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย พบว่า ดินที่ใช้ในการศึกษา มีความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย เท่ากับ 83.88 ± 10.75, 66.42 ± 0.96 และ 191.59 ± 3.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างของความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดิน BN, LP และ NJ อาจเนื่องมาจากดินทั้งสามชนิดมีสัดส่วนดินเหนียว (clay fraction) และอินทรีย์วัตถุไม่เท่ากัน (ตารางที่ 4.1) โดยดิน LP และดิน BN มี clay fraction และอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดิน NJ ประกอบกับดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่เล็ก รูปร่างแบนและยังมีประจุลบที่ผิวเป็นจำนวนมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ทำให้สามารถดูดซับแคดเมียมไว้ได้เป็นอย่างดี และจากงานวิจัยของ Ge et al. (2005) ซึ่งได้ทำการศึกษาแบบจำลองของการดูดซับแคดเมียมในดินด้วย

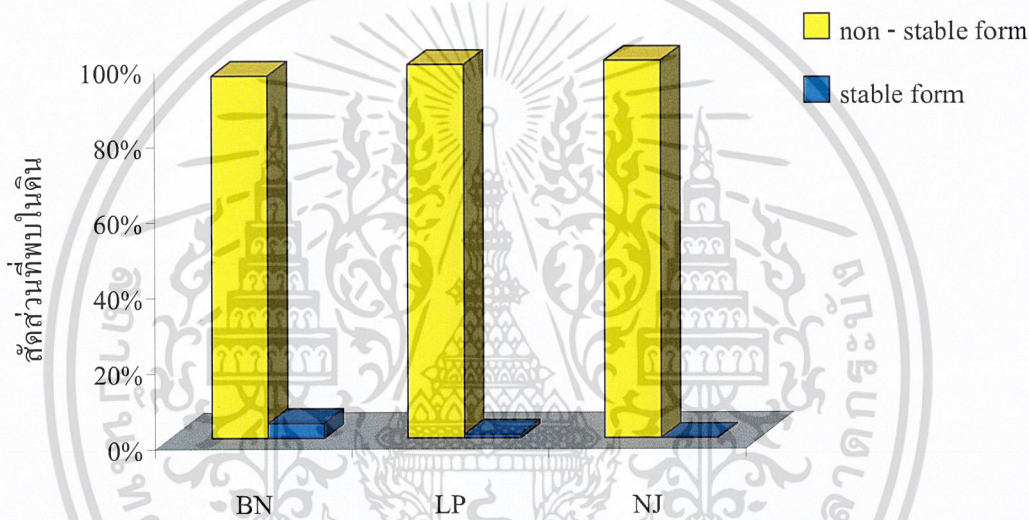
NICA (non-ideal competitive adsorption) พบว่าอินทรีย์วัตถุเป็นตัวดูดซับปฐมภูมิ (primary sorbent) ของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีประจุลบและจะมีการสะสมเป็นชั้นเคลือบอยู่ที่ผิวของดิน ส่งผลให้ดินสามารถดูดซับประจุบวกได้ดีขึ้น การชะละลายของแคดเมียมจากผิวดินที่มี clay fraction และอินทรีย์วัตถุในปริมาณมากจึงเกิดได้น้อยกว่าดินที่มี clay fraction และอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่น้อยกว่า

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (รูปที่ 4.1) พบว่าแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาพบใน 3 รูปฟอร์มหลัก คือ รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (soluble-exchangeable; soluble) รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน (surface adsorbed; adsorb) และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (organic matter; OM) คิดเป็น 96-100% โดยในดิน BN แคดเมียมอยู่ในรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินมากที่สุด (68.38%) รองลงมาคือรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (16.34%) และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (11.35%) ในขณะที่ดิน LP และดิน NJ แคดเมียมอยู่ในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้มากที่สุด (46.04% และ 57.34% ตามลำดับ) รองลงมาคือรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน (40.48% และ 41.63% ตามลำดับ) และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (12.50% และ 1.04% ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kabata-Pendias et al. (2000) ที่ได้รายงานไว้ว่าแคดเมียมในดินพบอยู่ในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออน รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินและรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 4.1 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินBN (■) ดิน LP (■) และดิน NJ (■) แถบแสดงความผิดพลาดแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ หากไม่ปรากฏแสดงว่ามีค่าน้อยมาก และตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

นอกจากนี้รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ตามความสามารถในการเคลื่อนย้ายจากดินไปสู่ตัวกลางอื่นๆ และการนำไปใช้ของพืช ดังนี้คือ (1) รูปฟอร์มที่ไม่เสถียร (non –stable form) ได้แก่ รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออน รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และรูปที่ดูดซับอยู่กับอินทรีย์วัตถุในดิน (2) รูปฟอร์มที่เสถียร (stable form) ได้แก่ รูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ (Mn oxides) รูปออสฐานของเหล็กออกไซด์(Poor crystalline Fe oxides) รูปผลึกของเหล็กออกไซด์ (Crystalline Fe oxides) และรูปที่เหลือ (residue) (ศุภมาส, 2539 ; Chang et al., 2007 ; Kaasalainen et al., 2003) เมื่อพิจารณาสัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษาตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว พบว่า แคดเมียมในดิน BN, LP และ NJ อยู่ในรูปฟอร์มที่ไม่เสถียรเป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา

4.2 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

การศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ทำการศึกษาโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดิน BN, LP และ NJ กำหนดให้มีสัดส่วนของโมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 2:3 ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาดังกล่าว นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย และรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน มีรายละเอียดดังนี้

ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตจัดเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี การละลายของปุ๋ยจะมีการปลดปล่อย H^+ ของ phosphate anion (HPO_4^{3-} , $H_2PO_4^-$, H_3PO_4) (Matusik et al., 2007, Harris et al., 2006) ดังนั้นการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินจึงอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการวัดค่าพีเอชของดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร จากการศึกษาพบว่าพีเอชของดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชของดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ตารางที่ 4.3) โดยดิน BN มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.71 ± 0.34 เป็น 5.79 ± 0.05 ดิน LP มีค่าพีเอชลดลงจาก 5.66 ± 0.12 เป็น 4.99 ± 0.01 และดิน NJ มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.41 ± 0.02 เป็น 3.30 ± 0.06 การลดลงของพีเอชในดินทั้ง 3 ชนิดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน โดยในดิน LP มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่าดิน BN และ NJ (ตารางที่ 4.1) ดิน LP จึงสามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชได้มากกว่าดิน BN และ NJ

ตารางที่ 4.3 พีเอชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน ^a

ชนิดดิน	พีเอชของดิน	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
BN	7.71 ± 0.34	5.79 ± 0.05
LP	5.66 ± 0.12	4.99 ± 0.01
NJ	7.41 ± 0.02	3.30 ± 0.06

^a รายละเอียดในภาคผนวก ก

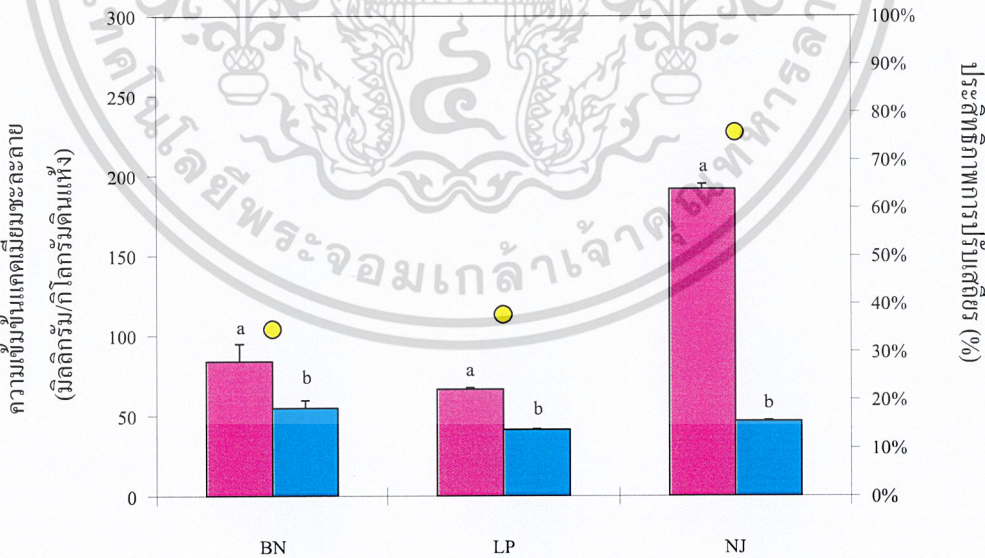
ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่มีการเติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) (ตารางที่ 4.4) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม) ภายหลังจากปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน^a

ชนิดดิน	แคดเมียมทั้งหมด(มิลลิกรัม / กิโลกรัมดินแห้ง)	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
BN	337.06 ± 4.67	329.02 ± 41.73
LP	327.81 ± 15.56	336.54 ± 15.98
NJ	257.45 ± 26.88	236.30 ± 15.86

^a รายละเอียดในภาคผนวก ค

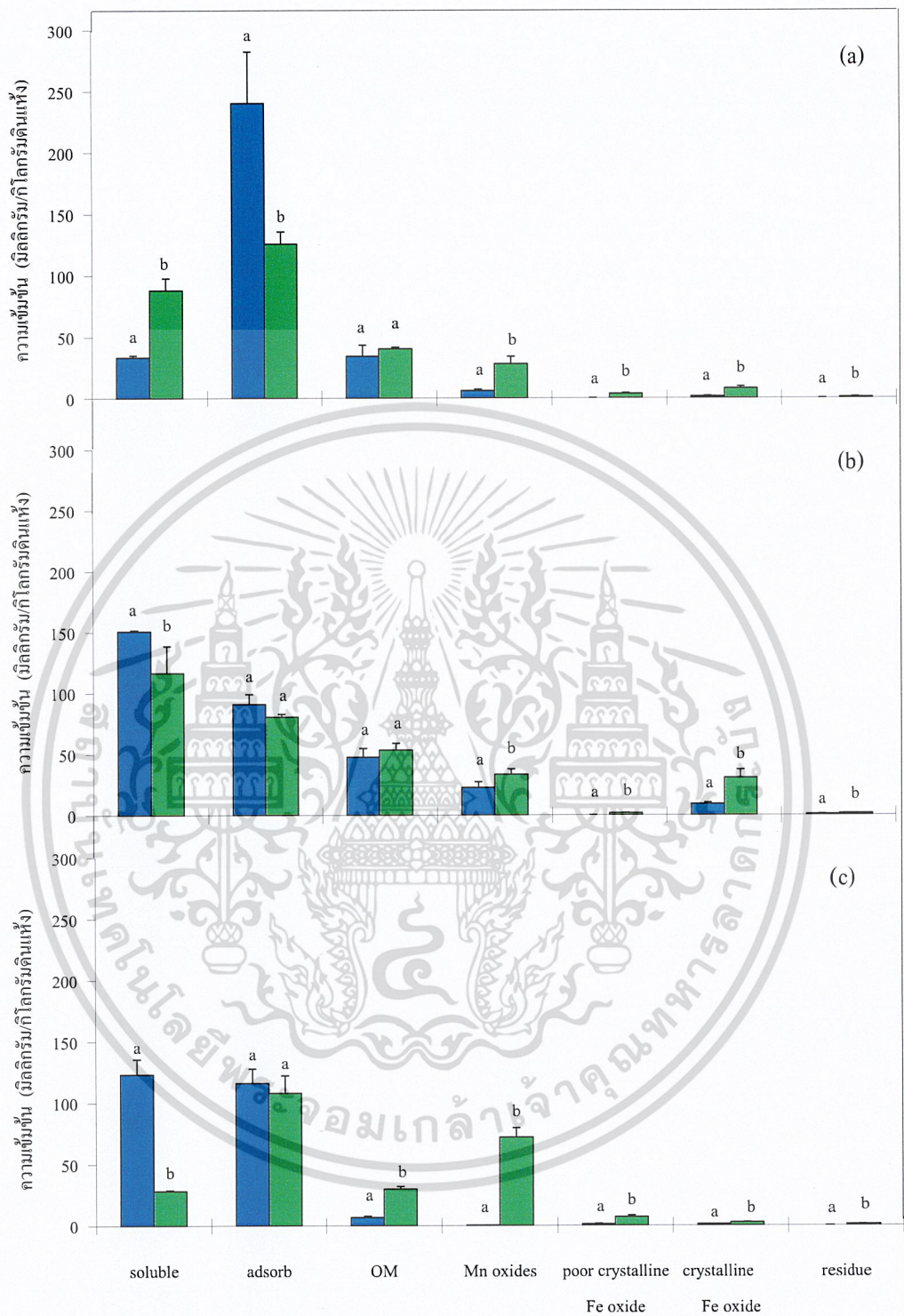
เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินตัวอย่างก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ชะละลายออกมาจากดินที่ผ่านการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.3) โดยดิน BN มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 83.88 ± 10.75 เป็น 54.84 ± 4.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ดิน LP มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 66.42 ± 0.96 เป็น 41.36 ± 0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และดิน NJ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 191.59 ± 3.19 เป็น 46.53 ± 0.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตช่วยลดการชะละลายของแคดเมียมจากดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมได้



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายและประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (●) ในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม, ■) ภายหลังจากปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

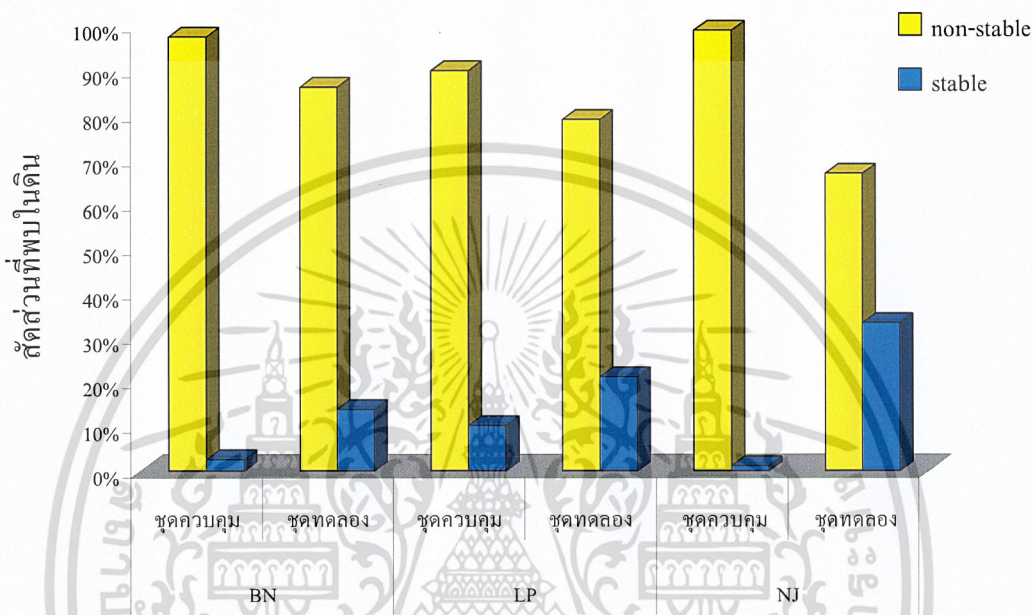
เมื่อพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการปรับเสถียรพบว่าประสิทธิภาพการปรับเสถียร แคลเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในดิน NJ (75.72%) รองลงมาคือดิน LP (37.73%) และดิน BN (34.63 %) ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) การปรับเสถียรในดินที่มีเนื้อหยาบ เช่น ดิน NJ มีค่าสูงกว่าดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดิน BN และดิน LP ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากดินที่มีเนื้อหยาบมีสัดส่วนดินเหนียว (clay fraction) และปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าเมื่อเทียบกับดินเนื้อละเอียด (ตารางที่ 4.1) ซึ่ง clay fraction และอินทรีย์วัตถุมีประจุลบที่ผิวหน้าเป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้สามารถดึงดูดแคลเมียมให้คงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ ดิน NJ ซึ่งมีความสามารถในการจับยึดแคลเมียมไว้ได้น้อยกว่าดิน LP และดิน BN แคลเมียมจึงสามารถชะละลายออกมาสู่สารละลายดินและสามารถทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตได้มากกว่าดิน LP และดิน BN เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเมียมในดิน LP และดิน BN พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรในดิน LP มีค่าสูงกว่าดิน BN ถึงแม้ว่าดิน LP เป็นดินที่มีเนื้อละเอียดกว่าดิน BN ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นผลที่เกิดจากดินทั้งสองชนิดมีปริมาณแคลเซียมในดินที่ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 4.1) โดยในดิน BN มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบ 4.04% ในขณะที่ดิน LP มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ 0.65% ซึ่งแคลเซียมที่พบในดินจะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเมียมไอออนกับฟอสเฟตไอออน (Ayati et al., 2000)

การวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคลเมียมในดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคลเมียมในรูปที่จับอยู่กับเมงกานีสออกไซด์, รูปอิสระของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินตัวอย่างที่มีการเติมปุ๋ยเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.4) การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าว สัมพันธ์กับการลดลงของแคลเมียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน



รูปที่ 4.4 รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม, ■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ

เมื่อพิจารณาความเสถียรของแคะเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ในดิน พบว่า รูปฟอร์มแคะเมียมที่มีความเสถียรน้อยมีแนวโน้มลดลงในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) เทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) และการลดลงของแคะเมียมในรูปฟอร์มที่มีความเสถียรน้อยนี้สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแคะเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น โดยสามารถแสดงสัดส่วนของแคะเมียมที่พบในดินได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

4.3 ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ

การศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ทำการศึกษาโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดิน BN, LP และ NJ โดยแปรค่าปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตที่เติมลงในดินตัวอย่างในอัตราส่วนโดยโมลของฟอสเฟตในปุ๋ยต่อโมลแคะเมียมในดินเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลาย และรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเอชของดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณปุ๋ย (ตารางที่ 4.5) โดยดิน BN มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.71 ± 0.34 เป็น 5.89 ± 0.02 , 5.57 ± 0.01 และ 4.72 ± 0.49 ตามลำดับ ดิน LP มีค่าพีเอชลดลงจาก 5.66 ± 0.12 เป็น 5.16 ± 0.02 , 4.75 ± 0.04 และ 4.24 ± 0.03 ตามลำดับ และดิน NJ มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.41 ± 0.02 เป็น 3.78 ± 0.02 , 3.21 ± 0.03 และ 3.03 ± 0.04 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 พีเอชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในอัตราส่วน โมลฟอสเฟตในปุ๋ยต่อ โมลแคลเซียมในดินเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1 (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน ^a

อัตราส่วน โมลฟอสเฟตต่อ โมลแคลเซียม	พีเอชของดิน		
	BN	LP	NJ
ชุดควบคุม	7.71 ± 0.34	5.66 ± 0.12	7.41 ± 0.02
1 : 2	5.89 ± 0.02	5.16 ± 0.02	3.78 ± 0.02
1 : 1	5.57 ± 0.01	4.75 ± 0.04	3.21 ± 0.03
2 : 1	4.72 ± 0.49	4.24 ± 0.03	3.03 ± 0.04

^a รายละเอียดในภาคผนวก ง

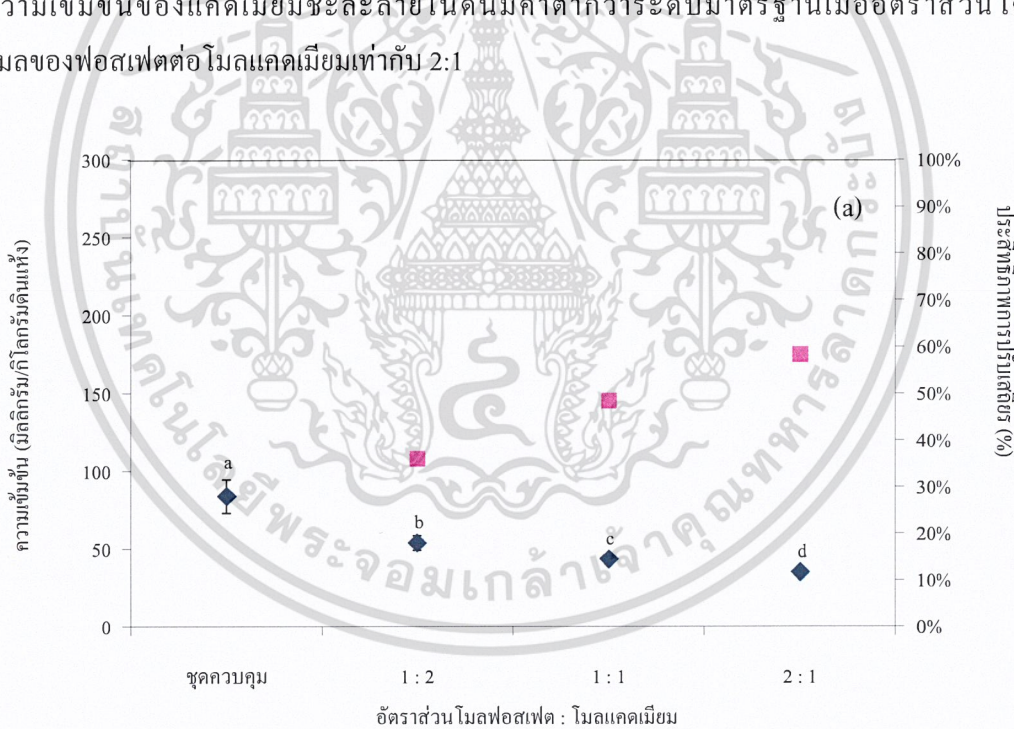
ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินที่มีการเติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) (ตารางที่ 4.6) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินที่มีการปนเปื้อนของแคลเซียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดิน

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ในอัตราส่วน โมลฟอสเฟตในปุ๋ยต่อ โมลแคลเซียมในดินเท่ากับ 1:2, 1:1 และ 2:1 (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน^a

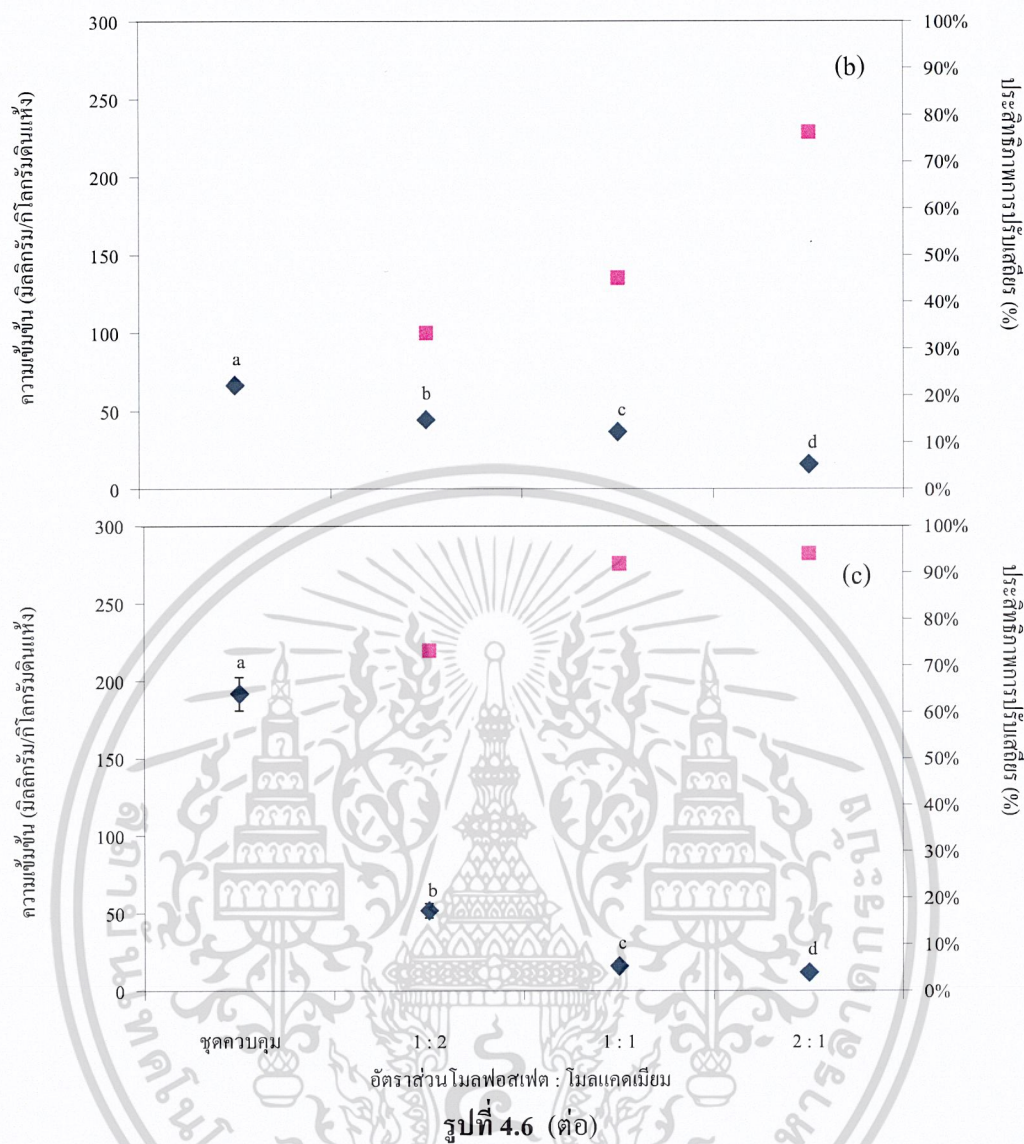
อัตราส่วน โมลฟอสเฟตต่อ โมลแคลเซียม	แคลเซียมทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)		
	BN	LP	NJ
ชุดควบคุม	337.06 ± 4.67	327.81 ± 15.56	257.45 ± 26.88
1 : 2	332.22 ± 20.98	338.12 ± 26.25	245.63 ± 17.40
1 : 1	303.29 ± 25.70	339.43 ± 14.91	239.66 ± 18.53
2 : 1	271.76 ± 42.03	314.99 ± 13.96	225.07 ± 42.63

^a รายละเอียดในภาคผนวก ง

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ชะละลายออกมาจากดินมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วน โดยโมลของฟอสเฟตในปุ๋ยต่อโมลแคดเมียมเพิ่มขึ้นจาก 1:2 เป็น 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ส่งผลให้ดิน BN มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 83.88 ± 10.75 เป็น 53.77 ± 4.74 , 43.35 ± 0.56 และ 35.08 ± 0.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ดิน LP มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 66.42 ± 0.96 เป็น 44.39 ± 0.27 , 36.56 ± 1.08 และ 32.01 ± 0.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ และดิน NJ มีค่าความเข้มข้นแคดเมียมชะละลายลดลงจาก 191.59 ± 3.19 เป็น 51.49 ± 2.01 , 15.80 ± 0.22 และ 11.69 ± 0.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยในดินจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานของคุณภาพดินสำหรับพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่เกษตรกรรม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) โดยในดิน LP และดิน NJ ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานเมื่อใช้อัตราส่วน โดยโมลของฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมอย่างน้อย 1:1 ในขณะที่ดิน BN ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานเมื่ออัตราส่วน โดยโมลของฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียมเท่ากับ 2:1



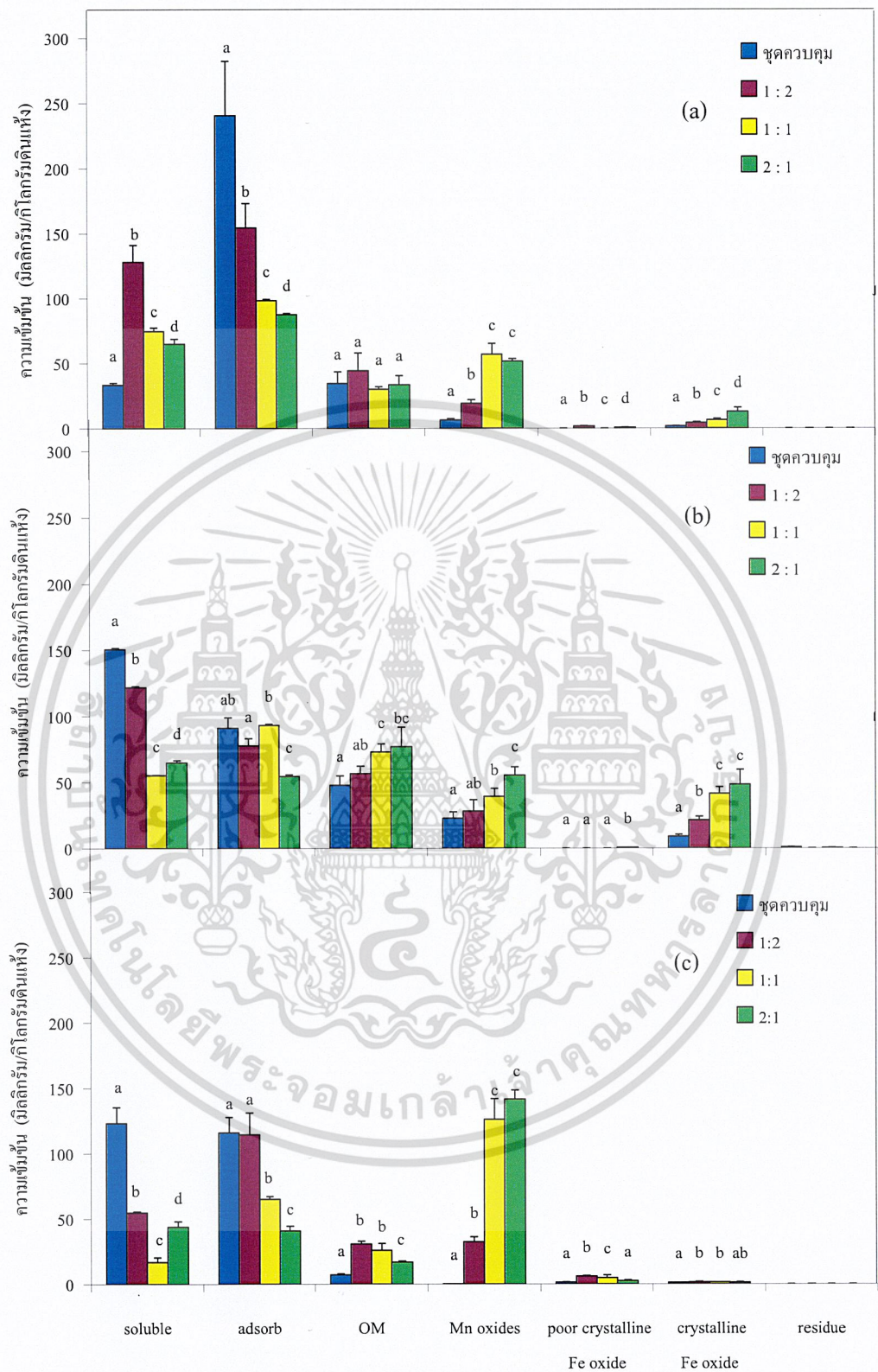
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย (◆) และประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (■) ในดิน ตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ



เมื่อพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการปรับเสถียร พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียร แคลเซียมในดินเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน โดยโมลของฟอสเฟตต่อโมลแคลเซียมเพิ่มจาก 1:2 เป็น 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดิน BN เพิ่มขึ้นจาก 35.90% เป็น 48.33% และ 58.18% ตามลำดับ ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดิน LP เพิ่มขึ้นจาก 33.17% เป็น 44.96% และ 76.21% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดิน NJ เพิ่มขึ้นจาก 73.12% เป็น 91.75% และ 93.90% ตามลำดับ

การวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคลเซียมในดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคลเซียมในรูปที่จับอยู่กับเมงกานีสออกไซด์, รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณปุ๋ยในดินตัวอย่างเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.7) การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคลเซียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน

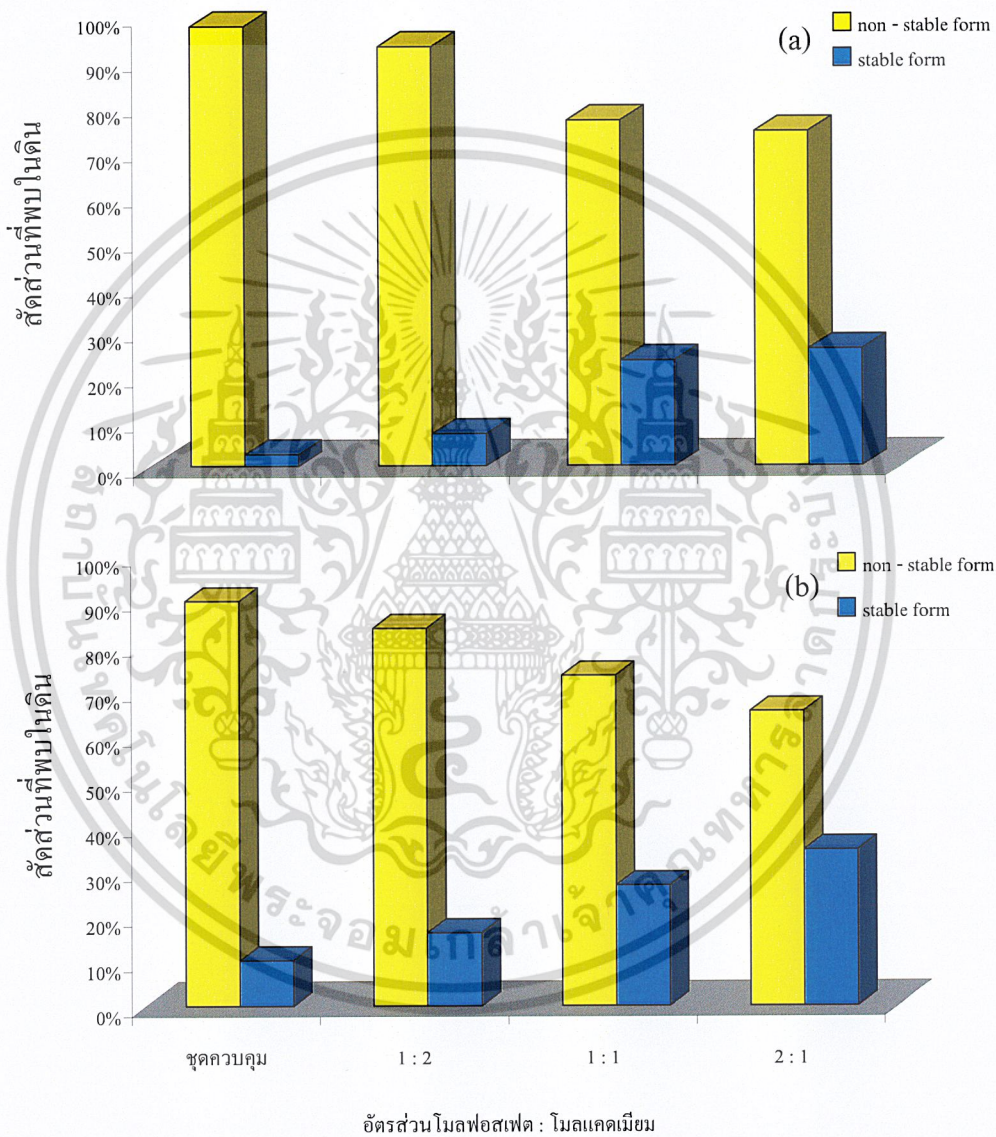
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



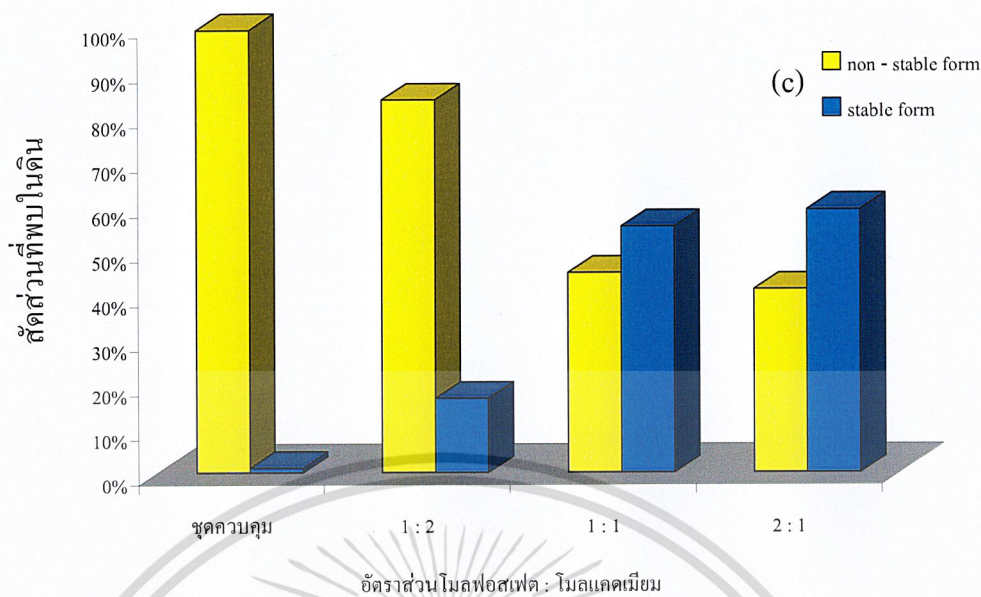
รูปที่ 4.7 รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความเสถียรของแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ในดิน พบว่า รูปฟอร์มแคดเมียมที่มีความเสถียรน้อยมีแนวโน้มลดลงในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) เทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) และการลดลงของแคดเมียมในรูปฟอร์มที่มีความเสถียรน้อยนี้สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น โดยสามารถแสดงสัดส่วนของแคดเมียมที่พบในดินได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต และดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังจากปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดิน BN (b) ดิน LP (c) ดิน NJ



รูปที่ 4.8 (ต่อ)

4.4 ผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

เพื่อศึกษาผลของโลหะร่วมชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ผู้วิจัยจึงทำการสังเคราะห์ดินปนเปื้อนแคดเมียมและโลหะชนิดอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี โดยการเติมสารละลายแคดเมียมและโลหะชนิดอื่นๆ ลงในดินแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา

รหัสตัวอย่าง	ตัวอย่างดินที่ใช้ในการเตรียม	โลหะที่ปนเปื้อนในดิน
BN	บางนกแขวก	แคดเมียม
BN-Cu	บางนกแขวก	แคดเมียมและทองแดง
BN-Pb	บางนกแขวก	แคดเมียมและตะกั่ว
BN-Zn	บางนกแขวก	แคดเมียมและสังกะสี

เมื่อทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสี ในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn ภายหลังจากการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของแคดเมียมและโลหะชนิดอื่นๆ ในดิน^a

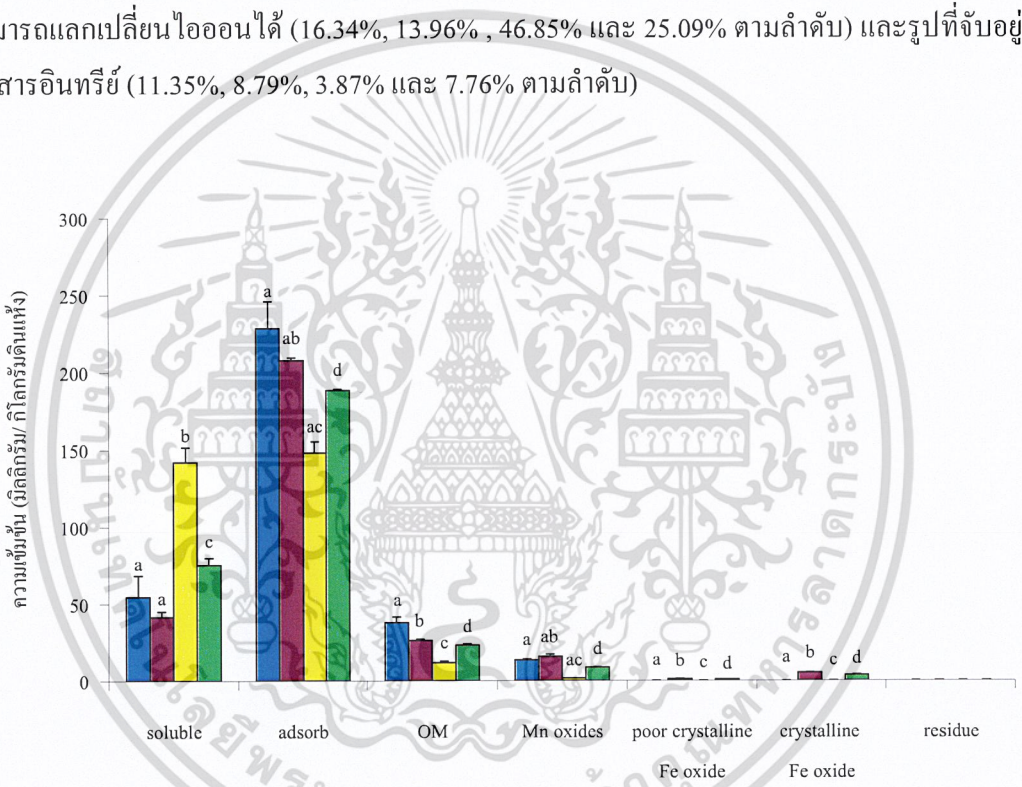
ความเข้มข้นของโลหะ (มก./กก.ดินแห้ง)		รหัสตัวอย่าง			
		BN	BN-Cu	BN-Pb	BN-Zn
แคดเมียม	ทั้งหมด	325.83 ± 86.93	305.96 ± 14.21	296.16 ± 27.63	312.51 ± 19.81
	ชะละลาย	83.88 ± 10.75	114.51 ± 8.02	263.89 ± 18.28	158.42 ± 6.50
ทองแดง	ทั้งหมด	-	291.81 ± 12.97	-	-
	ชะละลาย	-	148.20 ± 4.11	-	-
ตะกั่ว	ทั้งหมด	-	-	303.80 ± 0.80	-
	ชะละลาย	-	-	129.98 ± 8.79	-
สังกะสี	ทั้งหมด	-	-	-	292.71 ± 18.34
	ชะละลาย	-	-	-	60.36 ± 1.41

^a รายละเอียดในภาคผนวก ข

จากตารางที่ 4.8 ดิน BN, BN-Cu , BN-Pb และ BN-Zn มีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดเท่ากับ 325.83 ± 86.93, 305.96 ± 14.21, 296.16 ± 27.63 และ 312.51 ± 19.81 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ภาคผนวก ข) จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย พบว่า ดินBN, BN-Cu , BN-Pb และ BN-Zn มีความเข้มข้นแคดเมียมชะละลาย เท่ากับ 83.88 ± 10.75, 114.51 ± 8.02, 129.98 ± 8.79 และ 158.42 ± 6.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมร่วมกับการปนเปื้อนของโลหะชนิดอื่นๆ เช่น ดิน BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn และดินที่มีปนเปื้อนของแคดเมียมเพียงชนิดเดียว เช่น ดิน BN พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมร่วมกับการปนเปื้อนของโลหะชนิดอื่นๆ มีค่าสูงกว่าดินที่มีปนเปื้อนของแคดเมียมเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากดินมีตำแหน่งดูดซับ (adsorption site) ในการดูดซับโลหะที่จำกัด ประกอบกับโลหะแต่ละชนิดมีความสามารถในการถูกดูดซับในดินที่แตกต่างกัน โลหะที่มีความสามารถในการถูกดูดซับในดินสูงกว่า เช่น ตะกั่ว จะสามารถถูกดูดซับบน adsorption site แทนที่โลหะที่มีความสามารถในการถูกดูดซับในดินต่ำกว่า เช่น แคดเมียม (Chen et al., 2006 ; Wang et al., 2001) ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ชะละลายออกมาจากดิน BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn มีค่าสูงกว่าดิน BN จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งหมดและความเข้มข้นชะละลายของโลหะอื่นๆ พบว่า ดิน BN-Cu มีความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดและทองแดงชะละลายเท่ากับ 291.81 ± 12.97 และ 148.20 ± 4.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ดิน BN-Pb มีความเข้มข้น

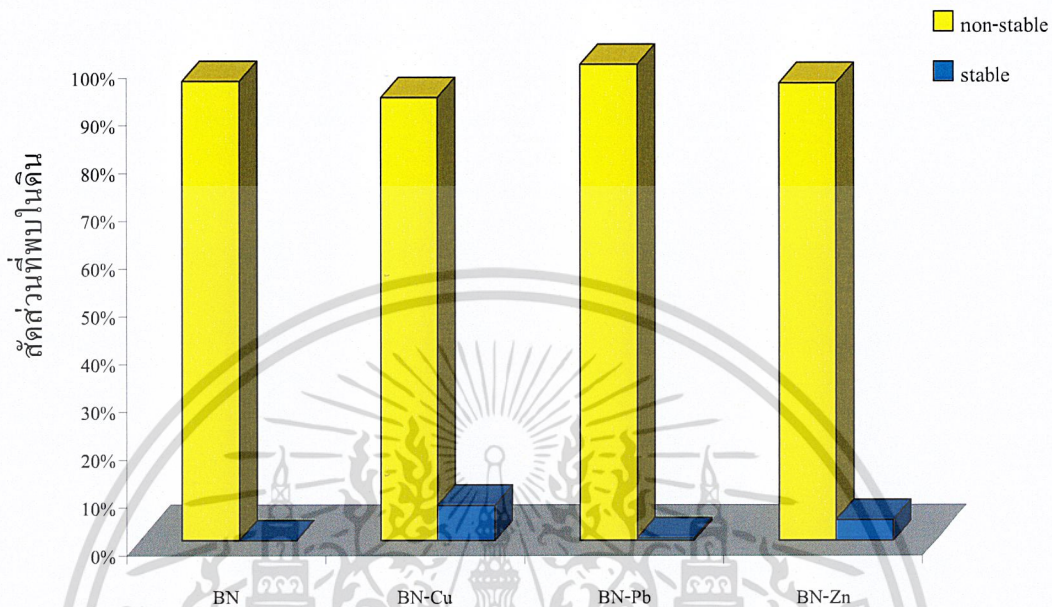
ของตะกั่วทั้งหมดและตะกั่วชะละลายเท่ากับ 303.80 ± 0.80 และ 129.98 ± 8.79 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ดิน BN-Zn มีความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดและสังกะสีชะละลายเท่ากับ 292.71 ± 18.34 และ 60.36 ± 1.41 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (รูปที่ 4.9) พบว่าแคดเมียมในดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาพบใน 3 รูปฟอร์มหลัก คือ รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินและรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ คิดเป็น 92.7-99.5 % โดยในดิน BN, BN-Cu , BN-Pb และ BN-Zn แคดเมียมอยู่ในรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินมากที่สุด (68.38%, 67.93%, 48.41% และ 62.86% ตามลำดับ) รองลงมาคือรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (16.34%, 13.96% , 46.85% และ 25.09% ตามลำดับ) และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (11.35%, 8.79%, 3.87% และ 7.76% ตามลำดับ)



รูปที่ 4.9 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN (■) ดิน BN-Cu (■) ดิน BN-Pb (■) และดิน BN-Zn (■)

เมื่อพิจารณาความเสถียรของรูปฟอร์มของแคดเมียมในดินที่ใช้ในการศึกษา พบว่า แคดเมียมในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn อยู่ในรูปฟอร์มที่ไม่เสถียรเป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาผลของโลหะร่วมชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ทำการศึกษาโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn กำหนดให้มีอัตราส่วนโดยโมลของฟอสเฟตในปุ๋ยต่อโมลแคดเมียมในดินเท่ากับ 2:1 ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์หาค่าพีเอช ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย และรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน มีรายละเอียดดังนี้

เมื่อทำการวิเคราะห์พีเอชของดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า พีเอชของดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชของดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ตารางที่ 4.9) โดยดิน BN มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.71 ± 0.34 เป็น 4.72 ± 0.49 ดิน BN-Cu มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.62 ± 0.18 เป็น 4.64 ± 0.06 ดิน BN-Pb มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.43 ± 0.02 เป็น 4.61 ± 0.03 และดิน BN-Zn มีค่าพีเอชลดลงจาก 7.23 ± 0.19 เป็น 4.43 ± 0.08

ตารางที่ 4.9 ปีเอชของดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน ^a

ชนิดดิน	พีเอชของดิน	
	ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
BN	7.71 ± 0.34	4.72 ± 0.49
BN-Cu	7.62 ± 0.18	4.64 ± 0.06
BN-Pb	7.43 ± 0.02	4.61 ± 0.03
BN-Zn	7.23 ± 0.19	4.43 ± 0.08

^a รายละเอียดในภาคผนวก จ

ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและโลหะอื่นในดินที่มีการเติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) (ตารางที่ 4.10) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและโลหะชนิดอื่น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดิน

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของโลหะทั้งหมดในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม)ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน^a

ชนิดดิน	ชนิดโลหะ	แคดเมียมทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัมดินแห้ง)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง
BN	แคดเมียม	337.06 ± 4.67	271.76 ± 42.03
BN-Cu	แคดเมียม	294.60 ± 11.78	289.24± 4.91
	ทองแดง	303.86 ± 22.16	281.48 ± 18.80
BN-Pb	แคดเมียม	305.47 ± 19.77	283.63 ± 7.01
	ตะกั่ว	302.35 ± 17.85	289.25 ± 22.42
BN-Zn	แคดเมียม	305.77 ± 11.49	285.34 ± 10.66
	สังกะสี	313.27 ± 9.96	308.73 ± 9.82

^a รายละเอียดในภาคผนวก จ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดินที่ผ่านการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (ตารางที่ 4.11) โดยในดิน BN ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายมีค่าลดลงจาก 83.88 ± 10.75 เป็น 35.08 ± 0.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ดิน BN-Cu ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายมีค่าลดลงจาก 111.99 ± 7.72 เป็น 33.05 ± 0.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ดิน BN-Pb ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายมีค่าลดลงจาก 278.19 ± 3.28 เป็น 231.99 ± 21.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง และดิน BN-Zn ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายมีค่าลดลงจาก 122.07 ± 7.37 เป็น 56.48 ± 5.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นชะละลายของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในดินตัวอย่างทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า ความเข้มข้นชะละลายของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในดินที่ผ่านการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (ตารางที่ 4.11) โดยใน ดิน BN-Cu ความเข้มข้นของทองแดงชะละลายมีค่าลดลงจาก 132.67 ± 12.21 เป็น 99.53 ± 7.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง ดิน BN-Pb ความเข้มข้นของตะกั่วชะละลายมีค่าลดลงจาก 107.10 ± 6.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งจนถึงระดับที่ต่ำมาก (ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชัน ซึ่งเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร) และดิน BN-Zn ความเข้มข้นของสังกะสีชะละลายมีค่าลดลงจาก 54.37 ± 5.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งเป็น 8.27 ± 0.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง

ตารางที่ 4.11 ความเข้มข้นของโลหะชะละลายในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย(ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน^a

ชนิดดิน	ชนิดโลหะ	โลหะชะละลาย (มิลลิกรัม / กิโลกรัมดินแห้ง)		ประสิทธิภาพ การปรับเสถียร (%)
		ชุดควบคุม	ชุดทดลอง	
BN	แคดเมียม	83.88 ± 10.75	35.08 ± 0.50	58.18 %
BN-Cu	แคดเมียม	111.99 ± 7.72	33.05 ± 0.55	70.49 %
	ทองแดง	132.67 ± 12.21	99.53 ± 7.97	24.98 %
BN-Pb	แคดเมียม	278.19 ± 3.28	231.99 ± 21.29	16.61 %
	ตะกั่ว	107.10 ± 6.15	ND	100.00 %
BN-Zn	แคดเมียม	122.07 ± 7.37	56.48 ± 5.55	53.73 %
	สังกะสี	54.37 ± 5.21	8.27 ± 0.41	84.78 %

^a รายละเอียดในภาคผนวก จ

เมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพการปรับเสถียร พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียร แคลเซียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn มีค่าเท่ากับ 58.18%, 70.49%, 16.61% และ 53.73% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) และเมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดินที่มีการปนเปื้อนของแคลเซียมร่วมกับโลหะชนิดอื่นๆ พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดินที่มีการปนเปื้อนแคลเซียมร่วมกับ โลหะทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมในดินที่มีการปนเปื้อน แคลเซียมร่วมกับตะกั่วและแคลเซียมร่วมกับสังกะสีมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับดินที่มีการปนเปื้อนของ แคลเซียมเพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ยังพบว่านอกจากแคลเซียมแล้วปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตยังสามารถปรับเสถียรทองแดง ตะกั่วและสังกะสีได้เช่นเดียวกัน โดยมีประสิทธิภาพในการปรับ เสถียรแตกต่างกัน ดังนี้

ในสภาวะที่ดินมีการปนเปื้อนของแคลเซียมร่วมกับทองแดง พบว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรแคลเซียมสูงกว่าทองแดง โดยประสิทธิภาพการปรับ เสถียรแคลเซียมและทองแดงมีค่าเท่ากับ 70.49% และ 24.98% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ทั้งนี้ เนื่องมาจากแคลเซียมมีรัศมีของไอออนใกล้เคียงกับรัศมีของแคลเซียมมากกว่าทองแดง โดย แคลเซียมมีรัศมีของไอออน (ionic radius) เท่ากับ 0.109 นาโนเมตร แคลเซียมมีรัศมีของไอออน เท่ากับ 0.114 นาโนเมตร ในขณะที่ทองแดงมีรัศมีของไอออนเท่ากับ 0.087 นาโนเมตร ดังนั้น แคลเซียมจึงสามารถแทนที่แคลเซียมในโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยกลไกการ แลกเปลี่ยนไอออนได้ดีกว่าทองแดง (Xu and Schwartz, 1994) ประสิทธิภาพในการปรับเสถียร แคลเซียมจึงสูงกว่าทองแดง

ในสภาวะที่ดินมีการปนเปื้อนของแคลเซียมร่วมกับตะกั่ว พบว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรตะกั่วได้ดีกว่าแคลเซียม โดยประสิทธิภาพการปรับ เสถียรตะกั่วและแคลเซียมมีค่าเท่ากับ 100% และ 16.61% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งสาเหตุที่ ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรตะกั่วสูงกว่าแคลเซียมสามารถอธิบาย ได้ 3 กรณีคือ (1) ความเสถียรผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปรับเสถียร พบว่า สารประกอบ แคลเซียม-ฟอสเฟตที่ขึ้นภายหลังกระบวนการปรับเสถียรแคลเซียมมีค่าคงที่การละลายของ สารประกอบสูงกว่าค่าคงที่การละลายของสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตที่ขึ้นภายหลังกระบวนการ ปรับเสถียร (Linsay, 1979) สารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตจึงมีความเสถียรมากกว่าสารประกอบ แคลเซียม-ฟอสเฟต และการเกิดสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตจึงอาจเกิดขึ้นได้เร็วกว่าสารประกอบ แคลเซียม-ฟอสเฟต (Xu and Schwartz, 1994) (2) พีเอชของดิน เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของพีเอช ต่อรูปฟอร์มของตะกั่ว พบว่า พีเอชจะมีผลต่อรูปฟอร์มของตะกั่วใน 2 กรณีคือ กรณีแรกพีเอชมีผล ต่อการละลายของตะกั่ว โดยการละลายของตะกั่วจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพีเอชลดลง (สุภมาส, 2538) ส่งผลให้ตะกั่วอยู่ในรูปที่สามารถจับกับฟอสเฟตและเกิดเป็นสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตได้

โดยง่าย ซึ่งจากงานวิจัยของ Ryan et al. (2001), Yang et al. (2001) และ Laperche et al. (1996) พบว่าขั้นตอนการละลายของตะกั่วเป็นขั้นที่กำหนดอัตราของปฏิกิริยา (rate-limiting step) ของกลไกการเกิดสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟต กรณีที่สองพีเอชมีผลต่อรูปฟอร์มและความเสถียรของสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟต คือ การเกิดสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตในรูปคลอโรไพโรมอร์ไฟท์จะสามารถเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 4-5 (Bradley et al., 2000 ; Zhang and Wang, 1998) สารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตในรูปไฮดรอกซีไพโรมอร์ไฟท์ จะสามารถเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 5 (Laperche et al., 1996) ประกอบกับเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 3-11 ตะกั่วซึ่งอยู่ในรูปไพโรมอร์ไฟท์จะมีความเสถียรสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตะกั่วในรูปฟอร์มอื่นๆ เช่น เลดคาร์บอเนต (PbCO_3) หรือ เลดออกไซด์ (PbO) (Nriagu et al., 1974) ซึ่งพีเอชในช่วงดังกล่าวสอดคล้องกับพีเอชที่วัดได้จากการศึกษาการปรับเสถียรในครั้งนี้ (3) ปริมาณฟอสเฟต เนื่องจากในการศึกษาทำการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดิน โดยอ้างอิงโมลของฟอสเฟตจากโมลของแคลเซียมที่เติมลงในดิน ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับการเกิดสารประกอบตะกั่ว-ฟอสเฟตและแคลเซียม-ฟอสเฟต เมื่อมีฟอสเฟตในปริมาณที่จำกัดและอัตราการเกิดของตะกั่ว-ฟอสเฟตเกิดขึ้นได้ดีกว่าแคลเซียม-ฟอสเฟต จึงทำให้พบตะกั่ว-ฟอสเฟตได้มากกว่าแคลเซียม-ฟอสเฟต

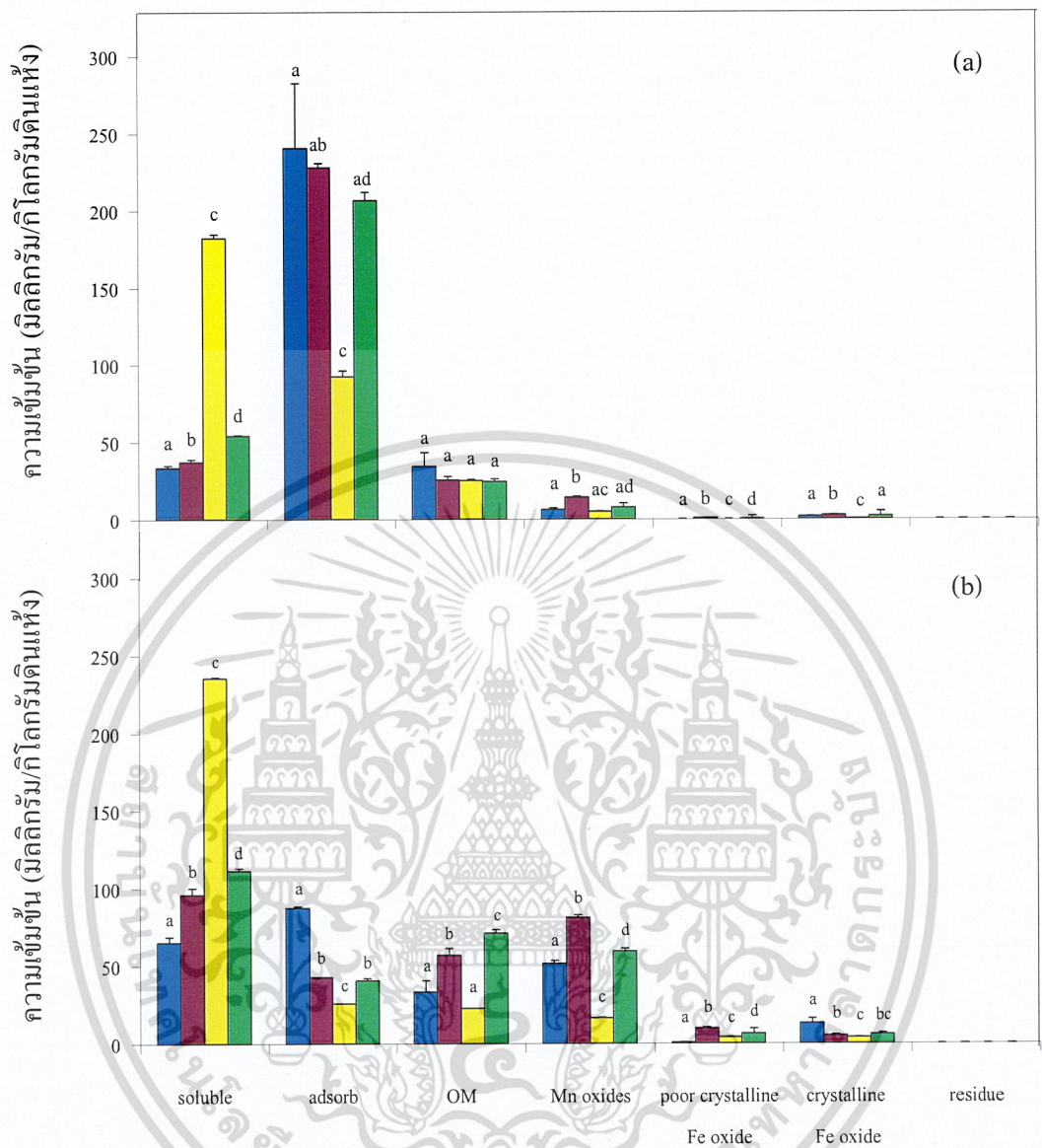
ในสถานะที่ดินมีการปนเปื้อนของแคลเซียมร่วมกับสังกะสี พบว่า ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสังกะสีได้ดีกว่าแคลเซียม โดยประสิทธิภาพการปรับเสถียรสังกะสีและแคลเซียมมีค่าเท่ากับ 84.78% และ 53.73% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งสาเหตุที่ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีประสิทธิภาพในการปรับเสถียรสังกะสีสูงกว่าแคลเซียมสามารถอธิบายได้ 3 กรณีคือ (1) ความเสถียรผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปรับเสถียร พบว่าสารประกอบแคลเซียม-ฟอสเฟตที่ขึ้นภายหลังกระบวนการปรับเสถียรแคลเซียมมีค่าคงที่การละลายของสารประกอบสูงกว่าค่าคงที่การละลายของสารประกอบสังกะสี-ฟอสเฟตที่ขึ้นภายหลังกระบวนการปรับเสถียร (Crannell et al., 2000) สารประกอบสังกะสี-ฟอสเฟตจึงมีความเสถียรมากกว่าสารประกอบแคลเซียม-ฟอสเฟต และการเกิดสารประกอบสังกะสี-ฟอสเฟตจึงอาจเกิดขึ้นได้เร็วกว่าสารประกอบแคลเซียม-ฟอสเฟต (Xu et al., 1994) (2) พีเอชของดิน เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของพีเอชต่อรูปฟอร์มพีเอช พบว่าพีเอชมีผลต่อการละลายของสังกะสีมากกว่าแคลเซียม (Sauve et al., 2000 ; Xiaobing et al., 1997) โดยการละลายของสังกะสีจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อพีเอชลดลง (สุกมาศ, 2538) ส่งผลให้สังกะสีอยู่ในรูปที่สามารถจับกับฟอสเฟตและเกิดเป็นสารประกอบสังกะสี-ฟอสเฟตได้โดยง่าย (3) ปริมาณฟอสเฟต เนื่องจากในการศึกษาทำการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดิน โดยอ้างอิงโมลของฟอสเฟตจากโมลของแคลเซียมที่เติมลงในดิน ซึ่งอาจไม่เพียงพอสำหรับการเกิดสารประกอบสังกะสี-ฟอสเฟตและแคลเซียม-ฟอสเฟต เมื่อมีฟอสเฟตในปริมาณที่จำกัดและอัตราการเกิดของสังกะสี-ฟอสเฟตเกิดขึ้นได้ดีกว่าแคลเซียม-ฟอสเฟต จึงทำให้พบสังกะสี-ฟอสเฟตได้มากกว่าแคลเซียม-ฟอสเฟต

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคดเมียมรูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์, รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินตัวอย่างที่มีการเติมปุ๋ยเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.11) การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคดเมียมรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมร่วมกับโลหะชนิดอื่นๆ ภายหลังผ่านการปรับเสถียร พบว่า

ในดิน BN-Cu การเพิ่มขึ้นของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น (รูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์, รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย) และการลดลงของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรน้อย (รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน) เกิดขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับดิน BN ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินชนิดนี้เทียบกับดิน BN (ตารางที่ 4.11)

ในดิน BN-Zn การเพิ่มขึ้นของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น (รูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์, รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย) และการลดลงของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรน้อย (รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน) เกิดขึ้นใกล้เคียงกับดิน BN สอดคล้องกับประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมของดินทั้งสองชนิดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.11)

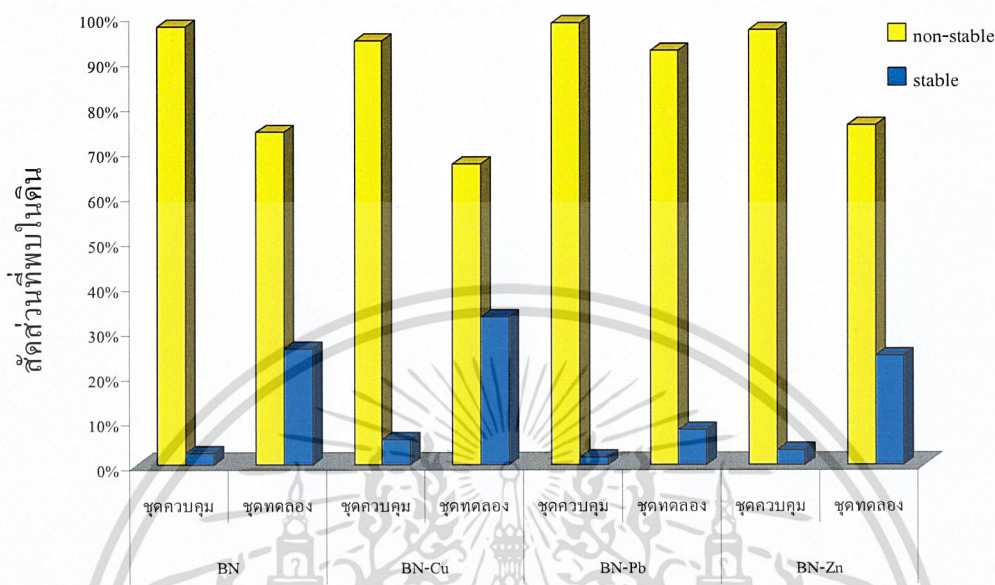
ในดิน BN-Pb การเพิ่มขึ้นของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น (รูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์, รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย) และการลดลงของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรน้อย (รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน) เกิดขึ้นได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับดิน BN ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการลดลงของประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมในดินชนิดนี้เทียบกับดิน BN (ตารางที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN (■) ดิน BN-Cu (■) ดิน BN-Pb (■) และดิน BN-Zn (■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน เมื่อ (a) ดินตัวอย่างที่ไม่ได้เติมปุ๋ยทรีป เปลชุปเปอร์ฟอสเฟต (b) ดินตัวอย่างที่ปุ๋ยทรีปเปลชุปเปอร์ฟอสเฟต

เมื่อพิจารณาความเสถียรของแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ในดิน พบว่า รูปฟอร์มแคดเมียมที่มีความเสถียรน้อยมีแนวโน้มลดลงในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) เทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) และการลดลงของแคดเมียมในรูปฟอร์มที่มีความเสถียรน้อยนี้สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมที่มีความเสถียรมากขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มของแคดเมียมจากรูปที่มีความเสถียรน้อยไปอยู่ในรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น พบว่าเกิดสูงขึ้นในดิน BN-Cu และลดลงในดิน BN-

Pb เมื่อเทียบกับดิน BN ในขณะที่ดิน BN-Zn พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับดิน BN โดยสามารถแสดงสัดส่วนของแคดเมียมที่พบในดินได้ดังรูปที่ 4.12



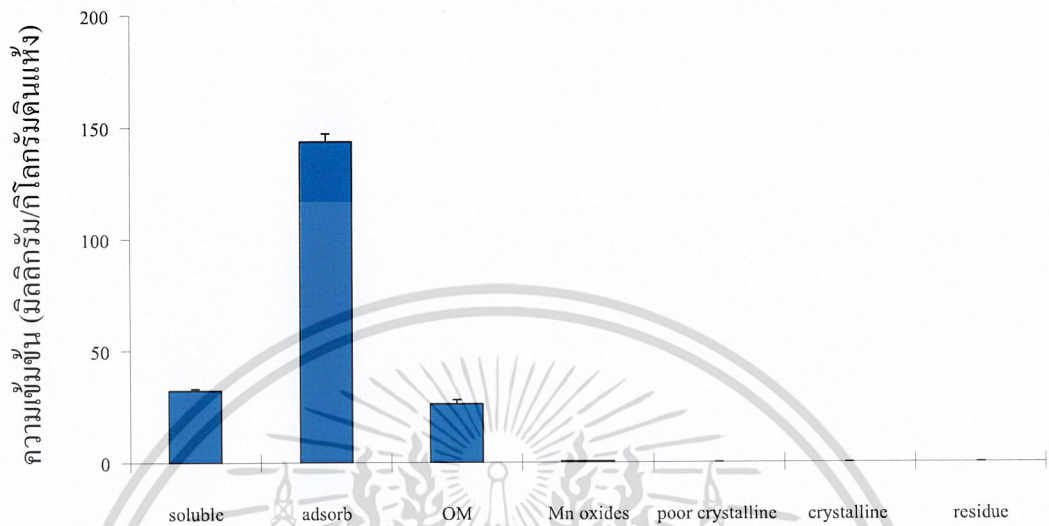
รูปที่ 4.12 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

4.5 การประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ตาว อ.แม่สวด จ.ตาก

เนื่องจากดินตัวอย่างจาก ต.แม่ตาว อ.แม่สวด จ.ตาก ที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นมีความเข้มข้นของโลหะชะละลายอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม และความเข้มข้นของโลหะทั้งหมดที่พบในดินอยู่ในระดับต่ำมาตรฐานการจัดการของเสียอันตราย (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7, 2548) เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาผู้วิจัยจึงทำการสังเคราะห์ดินปนเปื้อนแคดเมียมโดยการเติมสารละลายแคดเมียมลงในดิน ภายหลังจากการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลาย พบว่า ดินที่ใช้ในการศึกษามีความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 206.95 ± 2.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายมีค่าเท่ากับ 132.24 ± 0.95 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง

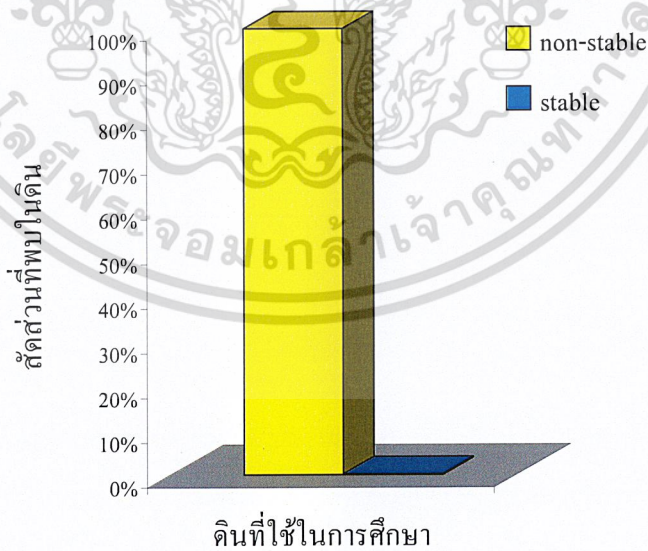
เมื่อทำการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น (รูปที่ 4.13) พบว่าแคดเมียมในดินตัวอย่างพบใน 3 รูปฟอร์มหลัก คือ รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ คิดเป็น 99.8% โดย

แคลเซียมอยู่ในรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดินมากที่สุด (70.99%) รองลงมาคือรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ (15.89%) และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (12.94%)



รูปที่ 4.13 รูปฟอร์มของแคลเซียมที่พบในดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของรูปฟอร์มของแคลเซียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา พบว่า แคลเซียมในดิน อยู่ในรูปฟอร์มที่ไม่เสถียรเป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคลเซียมที่พบในดินที่ใช้ในการศึกษา

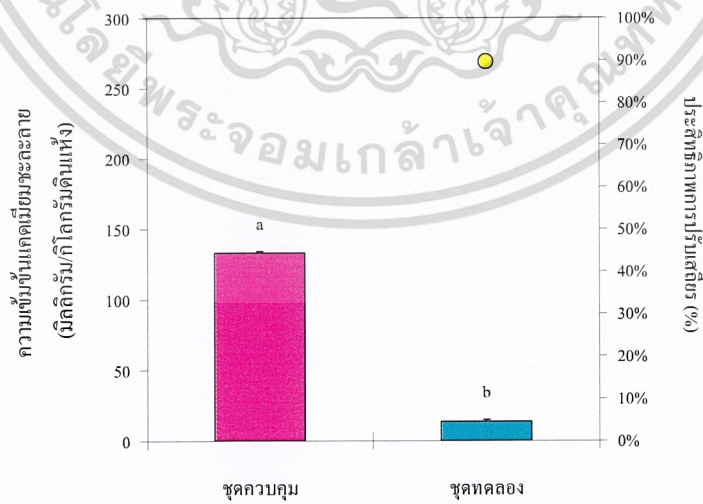
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สวด จ.ตาก ทำการศึกษาโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินในอัตราส่วนโดยโมลของฟอสเฟตในปุ๋ยต่อโมลแคะเมียมในดินเท่ากับ 2:1 ทำการปรับเสถียรเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด นำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลาย และรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน มีรายละเอียดดังนี้

เมื่อทำการวัดค่าพีเอชของดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า พีเอชของดินที่มีการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพีเอชของดินที่ไม่เติมปุ๋ย โดยพีเอชมีค่าลดลงจาก 7.48 ± 0.04 เป็น 4.62 ± 0.06 (ภาคผนวก ฉ)

ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมดในดินที่มีการเติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ช) โดยความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมดในดินที่มีการเติมปุ๋ยและดินที่ไม่เติมปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 206.96 ± 8.97 และ 204.49 ± 2.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตลงในดินที่มีการปนเปื้อนของแคะเมียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมดในดิน

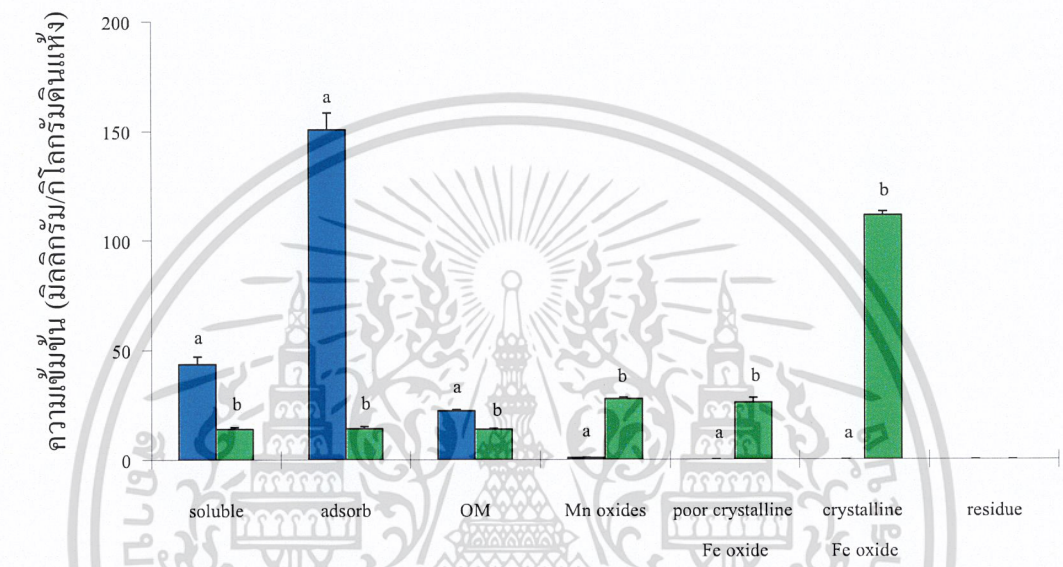
เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลายในดินตัวอย่างก่อนและหลังการปรับเสถียร พบว่า ความเข้มข้นของแคะเมียมที่ชะละลายออกจากดินที่ผ่านการเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.15) โดยความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลายของดินมีค่าลดลงจาก 132.97 ± 1.18 เป็น 13.75 ± 1.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง คิดเป็นประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในดินมีค่าเท่ากับ 89.66% (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลายและประสิทธิภาพในการปรับเสถียร (●) ในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม, ■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

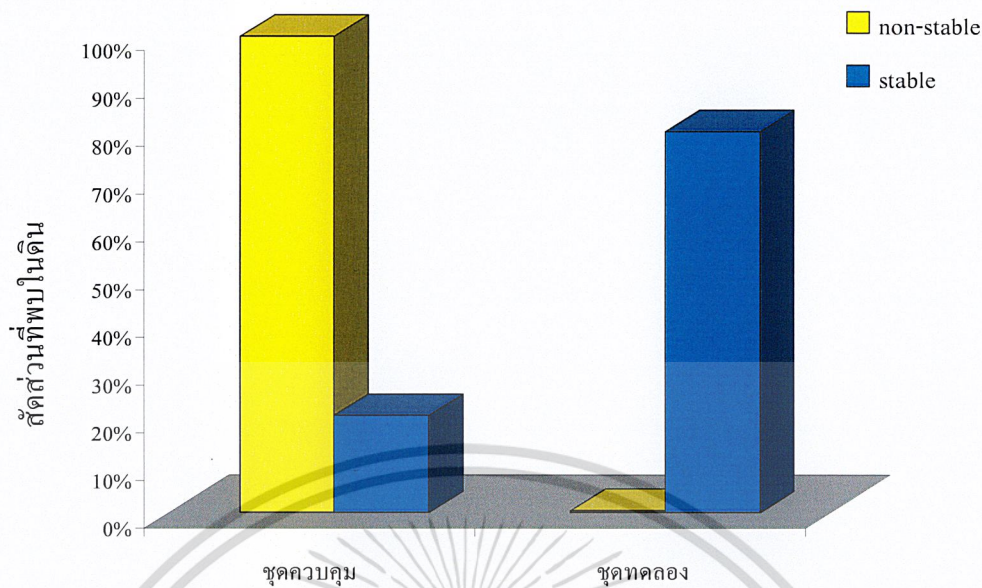
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคดเมียมในรูปที่จับอยู่กับเมงกานีสออกไซด์, รูปออสฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่ละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในดินตัวอย่างที่มีการเติมปุ๋ยเทียบกับดินตัวอย่างที่ไม่เติมปุ๋ย (รูปที่ 4.16) การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคดเมียมในรูปที่ละลาย และสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และรูปที่จับอยู่กับอินทรีย์วัตถุในดิน



รูปที่ 4.16 รูปฟอร์มของแคดเมียมในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ชุดทดลอง, ■) และดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม, ■) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

เมื่อพิจารณาความเสถียรของแคดเมียมรูปฟอร์มต่างๆ ในดิน พบว่า รูปฟอร์มแคดเมียมที่มีความเสถียรน้อยมีแนวโน้มลดลงในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ย (ชุดทดลอง) เทียบกับดินที่ไม่ได้เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) และการลดลงของแคดเมียมในรูปฟอร์มที่มีความเสถียรน้อยนี้สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแคดเมียมรูปที่มีความเสถียรมากขึ้น โดยสามารถแสดงสัดส่วนของแคดเมียมที่พบในดินได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 สัดส่วนของรูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดินตัวอย่างที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์-ฟอสเฟตและดินที่ไม่เติมปุ๋ย (ชุดควบคุม) ภายหลังการปรับเสถียรเป็นเวลา 30 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการปรับเสถียรแคลเซียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ปริมาณปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ผลของโลหะร่วมชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในดินต่อประสิทธิภาพในการปรับเสถียร และศึกษารูปฟอร์มของแคลเซียมที่พบในดินทั้งก่อนและหลังการปรับเสถียรด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้เป็นดังนี้

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ 4 แห่งที่มีลักษณะเนื้อดินที่แตกต่างกัน ได้แก่ ดินบางนกแขวก ดินลำปาว ดินนาจอมเทียน และดินที่เก็บรวบรวมมาจากพื้นที่ที่ประสบปัญหาการปนเปื้อนของแคลเซียมในดินที่ห้วยแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะทางกายภาพและเคมี ดังนี้ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินเหนียว ดินทรายร่วน และดินร่วนเหนียวตามลำดับ พีเอชมีค่าเท่ากับ 7.22 ± 0.02 , 5.73 ± 0.01 , 6.01 ± 0.01 และ 6.62 ± 0.01 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเท่ากับ 12.76 ± 1.20 , 18.43 ± 0.94 , 0.80 ± 0.00 และ 10.22 ± 0.29 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักดินแห้ง 100 กรัม ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าเท่ากับ 0.58 ± 0.06 , 1.11 ± 0.09 , 0.12 ± 0.03 และ 1.33 ± 0.05 % ตามลำดับ ดินบางนกแขวก ดินลำปาว ดินนาจอมเทียน มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 7.17 ± 2.40 , 5.70 ± 0.58 และ 4.26 ± 1.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ในขณะที่ดินแม่ดาวพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำมาก ดินทั้งสี่ชนิดมีออกไซด์ของซิลิกอน อะลูมิเนียมและเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 325.83 ± 86.93 , 303.02 ± 54.04 , 288.70 ± 13.24 และ 206.95 ± 2.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ ความเข้มข้นของแคลเซียมละลายมีค่าเท่ากับ 83.88 ± 10.75 , 66.42 ± 0.96 , 191.59 ± 3.19 และ 132.24 ± 0.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้งตามลำดับ รูปฟอร์มของแคลเซียมที่พบในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และรูปที่จับอยู่กับสารอินทรีย์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคลเซียมที่ปนเปื้อนในดินทรายร่วน ดินเหนียว และดินร่วนเหนียวด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 75.72%, 37.73% และ 34.63% ตามลำดับ และการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคลเซียมด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า

แคคเมียมในรูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์ รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่เหลื่อ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังผ่านการปรับเสถียร การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคคเมียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมในดินทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียมเพิ่มจาก 1:2 เป็น 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ โดยในดินร่วนเหนียวประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมเพิ่มขึ้นจาก 35.90% เป็น 48.33% และ 58.18% ตามลำดับ ดินเหนียวประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมเพิ่มขึ้นจาก 33.17% เป็น 44.96% และ 76.21% ตามลำดับ ดินทรายร่วนประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมเพิ่มขึ้นจาก 73.12% เป็น 91.75% และ 93.90% และการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคคเมียมด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคคเมียมในรูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์ รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่เหลื่อ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังผ่านการปรับเสถียร การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคคเมียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน

จากการศึกษาผลของโลหะร่วมชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมเท่ากับ 70.49% ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับตะกั่วและดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับสังกะสีมีค่าลดลง โดยมีประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมเท่ากับ 16.61% และ 53.73% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคคเมียมในดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมเพียงชนิดเดียวซึ่งมีประสิทธิภาพการปรับเสถียรเท่ากับ 58.18% และการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคคเมียมด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า ในดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับทองแดงและดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับสังกะสี แคคเมียมในรูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์ รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่เหลื่อ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังผ่านการปรับเสถียร การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคคเมียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน ในขณะที่ดินที่มีการปนเปื้อนของแคคเมียมร่วมกับตะกั่วพบการเปลี่ยนแปลงของแคคเมียมในรูปฟอร์มดังกล่าวเพียงเล็กน้อย

จากการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สอ ด.ตาก ซึ่งมีความเข้มข้นของแคคเมียมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 206.95 ± 2.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง ความเข้มข้นของแคคเมียมชะละลายมีค่าเท่ากับ 132.24 ± 0.95

มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง พบว่า ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 89.66% และจากการวิเคราะห์รูปฟอร์มของแคะเมียมในดินตัวอย่างด้วยวิธีการสกัดแบบลำดับขั้น พบว่า แคะเมียมในรูปที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์, รูปออสฐานของเหล็กออกไซด์, รูปผลึกของเหล็กออกไซด์และรูปที่เหลือนั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังผ่านการปรับเสถียร การเพิ่มขึ้นของรูปฟอร์มดังกล่าวสัมพันธ์กับการลดลงของแคะเมียมในรูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้ รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน และรูปที่จับอยู่กับอินทรีย์วัตถุในดิน

จากงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตสามารถนำมาใช้ในการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้เป็นอย่างดี โดยประสิทธิภาพการปรับเสถียรจะลดลงเมื่อดินมีเนื้อละเอียดขึ้นและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพการปรับเสถียรจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโมลของฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียมเพิ่มขึ้น และการมีโลหะชนิดต่างๆ รวมอยู่ในดินจะมีผลต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมในดินแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโลหะชนิดนั้นๆ อย่างไรก็ตามในการปรับเสถียรนั้นจำเป็นต้องมีการติดตามและควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอชร่วมด้วย เนื่องจากปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตจะส่งผลให้พีเอชของดินลดลง โดยเฉพาะในดินที่มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชต่ำ ดังนั้นปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตจึงสามารถพัฒนาให้นำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางดินจากแคะเมียมได้โดยจำเป็นต้องมีการศึกษาความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ควบคู่กันไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงการใช้สารประกอบอัลคาไลน์ร่วมกับการปรับเสถียรเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของพีเอช
2. ควรมีการศึกษาถึงการเพิ่มปริมาณของปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตเพื่อให้ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมในดินเกิดขึ้นได้สูงที่สุด ทั้งนี้ควรมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้
3. ควรมีการศึกษาถึงกระบวนการปรับเสถียรแบบต่อเนื่อง เพื่อติดตามกลไกหรือการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการปรับเสถียรในแต่ละช่วงเวลา
4. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรในระยะยาวและผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือสภาพภูมิอากาศต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียร
5. ควรมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำดินที่ผ่านการปรับเสถียรไปใช้ในการเกษตรกรรมหรือใช้ประโยชน์อื่นๆ

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 7 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.
- กฤตย์ สมสาร. 2549. ฟอสฟอรัสในดิน. [Online]. Available :
http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_9_2549_Phosphorus.pdf (27/12/2550)
- กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2530. คู่มือการเก็บและรักษาตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะหนัก. กรุงเทพฯ ฯ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ.
- กิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ ภาวิไล ส่งแสง และอรรณพ บุญเพชรแก้ว. 2547. การปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยฟอสเฟต. โครงการพิเศษสาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดินและปุ๋ยเพื่อการเกษตรกรรม. 2529. ฐานเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ ฯ ฐานเกษตรกรรม.
- ปุ๋ยฟอสเฟต. [Online]. Available :<http://www.geocities.com/fertilizals/jayjay.htm> (27/12/2550)
- มาตรฐานคุณภาพดิน. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25. กรุงเทพฯ.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ ฯ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุนทร พูนพิพัฒน์. 2526. เทคโนโลยีการผลิตและการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Alvarez-Ayuso, E. and Garcia-Sanchez, A. 2003a. "Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils." *Environ. Pollut.* 125:337–344.
- Alvarez-Ayuso, E. and Garcia-Sanchez, A. 2003b. "Sepiolite as a feasible soil additive for the immobilization of cadmium and zinc." *Sci. Total Environ.* 305:1–12.
- Ahnstrom and D.R. Parker. 1999. "Development and assessment of a sequential extraction procedure for the fractionation of soil cadmium." *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1650–1658.

- Ayati, M. and Lundager Madsen, H.E. 2000. "Crystallization of some heavy-metal phosphate alone and in the presence of calcium ion." **J. Crystal Growth**. 208:579-591.
- Basta, N.T., Gradwohl, R., Snethen, K.L. and Schroder, J.L. 2001. "Chemical immobilization of lead, zinc, and cadmium in smelter-contaminated soils using biosolids and rock phosphate." **J. Environ. Qual.** 30:1222-1230.
- Benefield, L.D., Judkins, J. F. and Weand, B. L. 1982. **Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment**. Englewood Cliffs. N.J Prentice_Hall Inc.
- Bradley, S.C., Taler, T.E., James, E.K., Dykstra, J.E., Elizabeth, L.S. and Carl, A.F. 2001. "Heavy Metal Speciation and Leaching Behaviors in Cement Base Solidified/Stabilized Waste. Material." **J. Hazard. Mater.** A82:215-230.
- Cao, X., Ma, L.Q., Rhue, D.R. and Appel, C.S. 2004. "Mechanisms of lead, copper, and zinc retention by phosphate rock." **Environ. Pollut.** 131:435-444.
- Carlson, L., Bigham, J.M., Schwertmann, U., Kyek, A. and Wagner, F., 2002. "Scavenging of As from Acid mine drainage by Schwertmannite and ferrihydrite: a comparison with synthetic analogues." **Environ. Sci. Technol.** 36:1712-1719.
- Chen, X., Wright, J.V., Conca, J.L. and Peurrung, L.M. 1997. "Evaluation of Heavy Metal Remediation Using Mineral Apatite." **Water Air Soil Pollut.** 98: 57-78.
- Chen, S.B., Zhu, Y.G. and Ma, Y.B. 2006. "The effect of grain size of rock phosphate amendment on metal immobilization in contaminated soils." **J. Hazard. Mater.** 134:74-79.
- Chiu, V.Q. and Hering, J.G. 2000. "Arsenic adsorption and oxidation at manganite surfaces. 1. Method for simultaneous determination of adsorbed and dissolved arsenic species." **Environ. Sci. Technol.** 34:2029-2034.
- Crannell, B.S., Eighmy, T.T., Krzanowski, J.E., Eusden Jr., J.D., Shaw, E.L. and Francis, C.A. 2000. "Heavy Metal Stabilization in Municipal Solid Waste Combustion Bottom Ash Using Soluble Phosphate." **Waste Management.** 20:135-148.
- Fendorf, S.E. 1995. "Surface reactions of chromium in soils and waters." **Geoderma.** 67:55-71.
- Foster, A.L., Brown Jr., G.E. and Parks, G.A. 2003. "X-ray absorption fine structure study of As(V) and Se(IV) sorption complexes on hydrous Mn oxides." **Geochimica et Cosmochimica Acta** 67:1937-1953.

- Garcia-Sanchez, A., Alvarez-Ayuso, E. and Rodriguez-Martin, F. 2002. "Sorption of As(V) by some oxyhydroxides and clay minerals. Application to its immobilisation in two polluted mining soils." **Clay minerals**. 37:187–194.
- Ge, Y and Hendershot, W. 2005. "Modeling sorption of Cd, Hg and Pb in soils by the NICA (non-ideal competitive adsorption) –Donnan model." **Soil and Sediment Contamination**. 14:53-69.
- Geebelen, W., Adriano, D.C., van der Lelie, D., Mench, M., Carleer, R., Clijsters, H. and Vangronsveld, J. 2002. "Selected bioavailability assays to test the efficacy of amendment-induced immobilisation of lead in soils." **Plant and Soil**. 249:217–228.
- Grafe, M., Eick, M.J., Grossl, P.R. and Saunders, A.M. 2002. "Adsorption of arsenate and arsenite on ferrihydrite in the presence and absence of dissolved organic carbon." **J. Environ. Qual.** 31:1115–1123.
- Harris, D.L. and Lottermoser, B.G. 2006. "Evaluation of phosphate fertilizers for ameliorating acid mine waste." **Applied Geochemistry**. 21:1216-1225.
- Hartley, W., Edwards, R. and Lepp, N.W. 2004. "Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short- and long-term leaching tests." **Environ Pollut.** 131:495–504.
- Hickey, M.G. and Kittrick, J.A. 1984. "Chemical partitioning of Cd, Cu, Ni and Zn in soils and sediments containing high levels of heavy metals." **J. Environ. Qual.** 13:372-376.
- Hamon, R.E., McLaughlin, M.J. and Cozens, G. 2002. "Mechanisms of attenuation of metal availability in in situ remediation treatments." **Environ. Sci. and Technol.** 36:3991–3996.
- Impellitteri, C.A. 2005. "Effects of pH and phosphate on metal distribution with emphasis on As speciation and mobilization in soils from a lead smelting site." **Sci. Total Environ.** 345:175–190.
- Jeanjean, J., Vincent, U. and Fedoroff, M. 1994. "Structural modification of calcium hydroxyapatite induced by sorption of cadmium ions." **J. Solid State Chem.** 108:68-72.
- Kaasalainen, M. and Yli-Halla, M. 2003. "Use of sequential extraction to assess metal partitioning in soils." **Environ. Pollut.** 126:225-233.
- Kabata Pendias, A. and Pendias, H. 2000. **Trace Elements in Soils and Plants**. second ed. CRC press. Baton Rouge. FL.

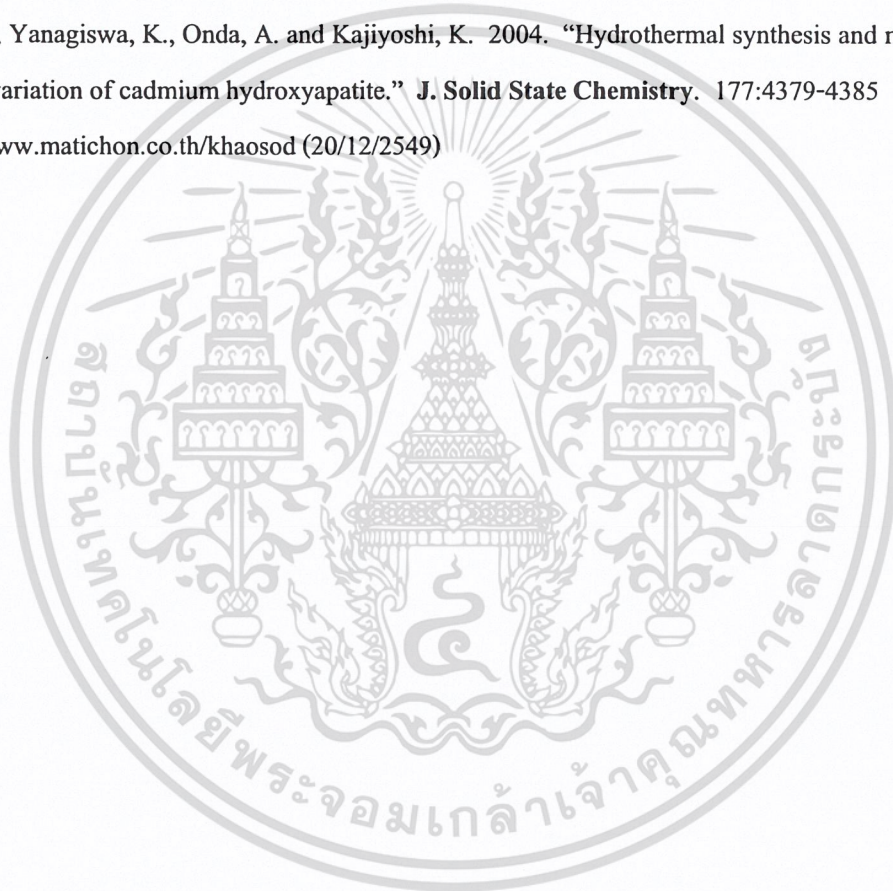
- Kandah, M.I. 2004. "Zinc and cadmium adsorption on low-grade phosphate." **Separation and Purification Technology**. 35:61-70.
- Kim, J.-Y., Davis, A.P. and Kim, K.-W. 2003. "Stabilization of available arsenic in highly contaminated mine tailings using iron." **Environ. Sci. Technol.** 37:189-195.
- Kumpiene, J., Montesinos, I.C., Lagerkvist, A. and Maurice, C. 2007. "Evaluation of the critical factors controlling stability of chromium, copper, arsenic and zinc in iron-treated soil." **Chemosphere**. 67:410-417.
- Laperche, V., Traina, S.J., Gaddam, P. and Logan, T.J. 1996. "Chemical and mineralogical characterizations of Pb in a contaminated soil: reactions with synthetic apatite." **Environ. Sci. Technol.** 30:3321-3326.
- Linsay, W.L. 1979 **Chemical Equilibria in soil**. Wiley. New York.
- Liu, R. and Zhao, D. 2007. "Reducing leachability and bioaccessibility of lead in soils using a new class of stabilized iron phosphate nano particles." **Water Research**. 41:2491-2502
- Ma, Q.Y., Traina, S.J., Logan, T.J. and Ryan, J.A. 1994. "Effects of aqueous Al, Cd, Cu, Fe(II), Ni and Zn on Pb immobilization by hydroxyapatite." **Environ. Sci. Technol.** 28:1219-1228.
- Ma, Q.Y., Logan, T.J. and Traina, S.J. 1995. "Lead Immobilization from Aqueous Solutions and Contaminated Soils Using Phosphate Rocks." **Environ. Sci. Technol.** 29:1118-1126.
- Ma, Q.Y., Logan, T.J. and Traina, S.J. 1995. "Lead Immobilization from Aqueous Solutions and Contaminated Soils Using Phosphate Rocks." **Environ. Sci. Technol.** 29:1118-1126.
- Ma, Q.Y. and Rao, G.N. 1997. "Effects of Phosphate on Sequential Chemical Extraction of Lead in Contaminated Soils." **J. Environ. Qual.** 26:788-794.
- Manning, B.A., Fendorf, S.E., Bostick, B. and Suarez, D.L. 2002. "Arsenic(III) oxidation and arsenic(V) adsorption reactions on synthetic birnessite." **Environ. Sci. Technol.** 36(5):976-981.
- Marchat, D., Bernache-Assolant, D. and Champion, E. 2007. "Cadmium fixation by synthetic hydroxyapatite in aqueous solution—thermal behaviour." **J. Hazard. Mater.** A139:453-460.
- Matusik, J., Bajda, T. And Manecki, M. 2007. "Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphate." **J. Hazard. Mater.** Article In Press
- 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." **J. Environ. Qual.** 30:493-500

- Mench, M., Vangronsveld, J., Clijsters, H., Lepp, N.W. and Edwards, R. 2000. "In situ metal immobilisation and phytostabilisation of contaminated soil." In : Terry, N. and Banuelos, G. **Phytoremediation of contaminated soil and water**. USA : Lewis Publishers
- Middelburg, J.J. and Comans, R.N.J. 1991. "Sorption of cadmium on hydroxyapatite." **Chem. Geol.** 45-53
- Moore, T.J., Rightmire, C.M., Vempati, R.K., 2000. "Ferrous iron treatment of soils contaminated with arsenic-containing wood-preserving solution." **Soil & Sediment Contamination.** 9:375-405.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N. and B.F. Gibbs. 2001. "Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater : an evaluation." **Eng. Geo.** 60:193-207
- Nriagu, J.O. 1976. "Phosphate-clay mineral relations in soils and sediment." **Can. J. Earth. Sci.** 13:717.
- Ownby, D.R., Galvan, K.A. and Lydy, M.J. 2005. "Lead and zinc bioavailability to *Eisenia fetida* after phosphorus amendment to repository soils." **Environ Pollut.** 136:315-321.
- Panfili, F., Manceau, A., Sarret, G., Spadini, L., Kirpichtchnikova, T. And Bert, V., 2005. "The effect of phytostabilization on Zn speciation in a dredged contaminated sediment using scanning electron microscopy, X-ray fluorescence, EXAFS spectroscopy, and principal component analysis." **Geochimica et Cosmochimica Acta.** 69:2265-2284.
- Phosphate Fertilizers.** Ohio Agronomy Guide. Ohio Cooperative Extension Service Bull. 472.
[Online]. Available : <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6288.html>
(27/12/2550)
- Porter, S.K., Scheckel, K.G., Impellitteri, C.A. and Ryan, J.A., 2004. "Toxic metals in the environment: thermodynamic considerations for possible immobilisation strategies for Pb, Cd, As, and Hg." **Critical Reviews in Environmental Science and Technology.** 34:495-604.
- Quevauviller. 1998. "Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis : I. Standardization." **Trends Anal Chem.** 17:289-298.
- Raicevic, S., Kaludjerovic-Radoicic, T. and Zouboulis, A.I. 2005. "In situ stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates: theoretical prediction and experimental verification." **J. Hazard. Mater.** 117:41-53.
- Ritcey, G.M. 2005. "Tailings management in gold plants." **Hydrometallurgy.** 78:3-20.

- Ryan, J.A., Zhang, P., Hesterberg, D., Chou, J. and Sayers, D.E. 2001. "Formation of chloropyromorphite in a lead-contaminated soil amended with hydroxyapatite." **Environ. Sci. Technol.** 35:3798–3803.
- Sahuquillao, A., Rigol, A. and Rauret, G. 2003. "Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments." **Trends Anal Chem.** 22:152-159.
- Sastre, J., Hernandez, E., Rodriguez, R., Alcobe, X., Vidal, M. and Rauret, G. 2004. "Use of sorption and extraction tests to predict the dynamics of the interaction of trace elements in agricultural soils contaminated by a mine tailing accident." **Sci. Total Environ.** 329:261–281.
- Sauve, S., Martinez, C.E., McBride, M. and Hendershot, W., 2000. "Adsorption of free lead (Pb^{2+}) by pedogenic oxides, ferrihydrite, and leaf compost." **Soil Sci. Soc. of America J.** 64:595–599.
- Schwertmann, U., 1991. "Solubility and dissolution of iron oxides." **Plant Soil.** 130:11-22.
- Shi, Z. and Erickson, L.E. 2001. "Mathematical model development and simulation of in situ stabilization in lead-contaminated soils." **J. Hazard. Mater.** 87:99–116.
- Shiowatana, J., Tantidanai, N., Nookabkaew, S. and Nacapricha, D. 2001. "A flow system for the determination of metal speciation in soil by sequential." **Environ. Inter.** 26:381-387.
- Shiralipour, A., Ma, L. and Cao, R. 2002. "Effects of compost on arsenic leachability in soils and arsenic uptake by a fern." Florida Centre for Solid Hazardous Waste Management, State University System of Florida, Gainesville, Florida. Report #02-04.
- Shuman, L. M. 1985. "Fractionation method for soil microelements". **Soil Sci.** 14:11-12
- Silveira, M.L., Alleoni, L.R.F., O'Connor, G.A. and Chang, A.C. 2006. "Heavy metal sequential extraction methods – A modification for tropical soils." **Chemosphere.** 64:1929-1938
- Solubility equilibrium.** [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Solubility_equilibrium (20/12/2549)
- Solubility Product.** [Online]. Available : <http://www.geocities.com/novedu/notes/ctpr.htm> (27/12/2550)
- Su, D.C. and Wong, J.W.C. 2004. "Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge." **Environ. Inter.** 29:895–900
- Takeuchi, Y. and Arai, H. 1998. "A study of equilibrium and mass transfer in processes for removal of heavy metal ions by hydroxyapatites." **J. Chem. Eng. Jpn.** 21:98-100

- Theodoratos, P., Papassiopi, N. and Xenidis, A. 2002. "Evaluation of Monobasic Calcium Phosphate for Immobilization of Heavy Metals in Contaminated Soils from Laviron." **J. Hazard. Mater. B** 94:135-146
- Tipping, E., Hetherington, N.B. and Hilton, J. 1985. "Artifacts in the use of selective chemical extraction to determine distributions of metals between oxides of manganese and iron." **Anal. Chem.** 57:1944-1946.
- Tournassat, C., Charlet, L., Bosbach, D. and Manceau, A. 2002. "Arsenic(III) oxidation by birnessite and precipitation of manganese(II) arsenate." **Environ. Sci. Technol.** 36:493-500.
- Triple Superphosphate Crops.** [Online]. Available :
<http://www.ams.usda.gov/nop/NationalList/TAPReviews/monocal.pdf>. (27/12/2550)
- Triple Superphosphate / MSDS.** [Online]. Available :
<http://msds.simplot.com/datasheets/12030.pdf> (27/12/2550)
- Triple Superphosphate / Product Description.** [Online]. Available :
http://www.alibaba.com/catalog/10389737/Triple_Super_Phosphate_TSP_SSP.html.
 (27/12/2550)
- Triple Superphosphate /Product Data Sheet.** [Online]. Available :
<http://www.simplot.com/agricultural/plant/upload/Trippl-Superphosphate-0-45-0.pdf>
 (27/12/2550)
- U.S. EPA. 1996. **Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soil / SW-846 Method 3050b.**
 [Online]. Available : www.epa.gov/sw-846/pdfs/3050b.pdf. (20/12/2549)
- U.S. EPA. 1992. **Toxicity Characteristic Leaching Procedure / SW-846 Method 1311.**
 [Online]. Available : www.epa.gov/sw-846/pdfs/1311.pdf. (20/12/2549)
- Viellard, P. and Tardy, Y. 1984. "Thermochemical properties of phosphates." In: **Phosphate Minerals**. Berlin : Springer,
- Vitosh, M.L. 1990. **Phosphate Fertilizers.** [Online]. Available :
<http://web1.msue.msu.edu/imp/modf1/06109728.html>
- Wang, Y.M., Chen, T.C., Yeh, K.J. and Shue, M.F. 2001. "Stabilization of an elevated heavy metal contaminated site." **J. Hazard. Mater. B** 88:63-74.
- Wright, J. 1990. "Conodont apatite: structure and geochemistry." In : **Biom mineralization: Patterns, Processes and Evolutionary Trends**. New York.

- Wright, J., H. Schrader, and W. T. Holser. 1987. "Paleoredox Variations in Ancient Oceans Recorded by Rare Earth Elements in Fossil Apatite." **Geoch. Cosmoch. Acta.** 51:631-644.
- Xu, Y. and Schwartz, F.W. 1994. "Lead immobilization by hydroxyapatite in aqueous. **J. Contaminant Hydrology.** 15:187-206
- Yang, J., Mosby, D.E., Casteel, S.W. and Blanchar, R.W. 2001. "Lead immobilization using phosphoric acid in a smelter-contaminated urban soil." **Environ. Sci. Technol.** 35: 3553–3559
- Zhnag, p., Ryan, J.A. and Bryndzia, L.T. 1997. "Pyromorphite formation from goethite adsorbed lead." **Environ. Sci. Technol.** 31:2673-2678
- Zhu, K., Yanagisawa, K., Onda, A. and Kajiyoshi, K. 2004. "Hydrothermal synthesis and morphology variation of cadmium hydroxyapatite." **J. Solid State Chemistry.** 177:4379-4385
- <http://www.matichon.co.th/khaosod> (20/12/2549)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
คุณสมบัติทางกายภาพ – เคมี่ของดินที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักกรูชีเบิ้ล (กรัม)	น้ำหนัก (กรูชีเบิ้ล+ดินเปียก) (กรัม)	น้ำหนัก (กรูชีเบิ้ล+ดินแห้ง) (กรัม)
บางนกแขวก	1	31.1555	41.1970	40.1899
	2	29.6003	39.8332	39.0287
	3	34.4278	44.4883	43.6972
ลำปลาทิว	1	29.6061	39.6527	38.9780
	2	33.0496	43.2138	42.5290
	3	32.0328	42.1524	41.4775
นาจอมเทียน	1	35.1890	45.2797	45.2615
	2	34.4311	44.4507	44.4311
	3	30.4889	40.4932	40.4772
แม่ตาว	1	34.4361	44.4333	44.1366
	2	34.4306	44.4214	44.1270
	3	35.1935	45.2131	44.9166

การคำนวณ

$$\% \text{ ความชื้น} = \left\{ \frac{\text{นน. (กรูชีเบิ้ล + ดินเปียก)} - \text{นน. (กรูชีเบิ้ล + ดินแห้ง)}}{\text{นน. (กรูชีเบิ้ล + ดินแห้ง)} - \text{นน. กรูชีเบิ้ล}} \right\} \times 100$$

ตารางที่ ก-2 เปอร์เซ็นต์เนื้อดินสัมผัส

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักดิน แห้ง (กรัม)	ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (กรัม/ลิตร)			
			อุณหภูมิ (°C)	40 วินาที	อุณหภูมิ (°C)	2 ชั่วโมง
สารละลาย คัลลิกอน	-	0.0000	30.0	2.0	30.0	2.0
บางนกแขวก	1	36.60	30.0	20.0	30.5	12.0
	2	36.59	30.0	22.0	30.0	13.0
	3	36.58	30.0	22.0	31.0	12.0
ลำปลาทิว	1	37.90	31.0	24.0	31.0	14.0
	2	37.90	31.0	24.0	31.0	16.0
	3	37.90	31.0	23.0	31.0	16.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (กรัม/ลิตร)			
			อุณหภูมิ (°C)	40 วินาที	อุณหภูมิ (°C)	2 ชั่วโมง
นาจอมเทียน	1	99.82	30.0	14.0	31.0	4.0
	2	99.85	31.0	13.0	32.0	4.0
	3	99.86	31.0	13.0	31.0	4.0
แม่ดาว	1	38.85	31.0	21.0	30.0	11.0
	2	38.85	31.0	20.0	30.0	10.0
	3	38.90	31.0	20.0	30.0	10.0

การคำนวณ

$$R_c = A - 0.5 (T - B)$$
$$R_s = R's + 0.36 (T - L)$$
$$\% (Silt + Clay) = \frac{R_s \text{ ที่ } 40 \text{ วินาที} \times 100}{W}$$
$$\% Clay = \frac{R_s \text{ ที่ } 2 \text{ ชั่วโมง} \times 100}{W}$$
$$\% Sand = 100 - \% (Silt + Clay)$$
$$\% Silt = \% (Silt + Clay) - \% Clay$$

เมื่อ R_c = ค่าที่อ่านได้จากการปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์ (กรัมต่อลิตร)

R_s = ค่าที่ถูกต้อง(ปรับเทียบไฮโดรมิเตอร์และอุณหภูมิแล้ว) (กรัมต่อลิตร)

$R's$ = ค่าที่ควรอ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์ (ปรับเทียบแล้ว) (กรัมต่อลิตร)

A = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์โดยตรง (กรัมต่อลิตร)

T = อุณหภูมิของสารแขวนลอยดิน (°C)

B = อุณหภูมิของสารละลายคัลลิกอน (°C)

L = อุณหภูมิบนก้านไฮโดรมิเตอร์ (20 °C)

W = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

ตารางที่ ก-3 พีเอชของดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดิน (กรัม)	pH
บางนกแขวก	1	5.0206	7.20
	2	5.0000	7.24
	3	5.0304	7.23
ลำปลาทิว	1	5.0211	5.74
	2	5.0503	5.72
	3	5.0200	5.72
นาจอมเทียน	1	5.0003	6.02
	2	5.0717	6.01
	3	5.0434	6.00
แม่ดาว	1	4.8520	6.62
	2	4.8520	6.62
	3	4.8520	6.61

ตารางที่ ก-4 ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรของ HCl (มล.)	ความเข้มข้นของ HCl (N)
เบสคง	-	-	0.00	0.10
บางนกแขวก	1	4.5710	5.70	0.10
	2	4.5801	5.00	0.10
	3	4.5710	6.80	0.10
ลำปลาทิว	1	4.7125	9.00	0.10
	2	4.7125	8.20	0.10
	3	4.7502	9.00	0.10
นาจอมเทียน	1	4.9910	0.40	0.10
	2	5.0010	0.40	0.10
	3	5.0110	0.40	0.10
แม่ดาว	1	4.8714	5.10	0.10
	2	4.8617	5.00	0.10
	3	4.8520	4.80	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\frac{\text{ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (มิลลิกรัมสมมูลต่อดินแห้ง 100 กรัม)}}{= \frac{(S - B) N \times 100}{W}}$$

- เมื่อ S = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดิน (มิลลิลิตร)
- B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
- N = ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์มอล)
- W = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

ตารางที่ ก-5 อินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรของ FAS (มล.)	ความเข้มข้นของ FAS (N)
แบลงค์	-	-	20	0.50
	1	0.9233	16.50	0.50
บางนกแขวก	2	0.9416	16.90	0.50
	3	0.9325	17.00	0.50
ลำปลาทิว	1	0.4713	17.00	0.50
	2	0.4807	17.00	0.50
	3	0.4713	16.60	0.50
นาจอมเทียน	1	0.9982	19.30	0.50
	2	1.0082	19.10	0.50
	3	0.9982	19.40	0.50
แม่ดาว	1	0.4852	16.20	0.50
	2	0.4852	16.30	0.50
	3	0.4852	16.00	0.50

การคำนวณ

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ} = \frac{(B - S) N \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \times 77 \times 58 \times 10^3 \times W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)
- S = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายดิน (มิลลิลิตร)
- N = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (นอร์มอล)
- W = น้ำหนักดิน (กรัม)

ตารางที่ ก-6 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	ปริมาตรของ สารสกัด (มล.)	ค่าการดูดกลืนแสง (Abs.)	อัตราส่วน การเจือจาง
แบลงค์	-	-	10	0.0163	-
บางนกแขวก	1	0.9142	10	0.2951	4.17
	2	0.9142	10	0.2788	4.17
	3	0.9142	10	0.2564	4.17
ลำปลาทิว	1	0.9425	10	0.2717	4.17
	2	0.9425	10	0.2646	4.17
	3	0.9425	10	0.2624	4.17
นาจอมเทียน	1	0.9982	10	0.2493	4.17
	2	0.9982	10	0.2725	4.17
	3	0.9982	10	0.2472	4.17
แม่ดาว	1	0.9704	10	0.0439	4.17
	2	0.9704	10	0.0502	4.17
	3	0.9704	10	0.0654	4.17

กราฟมาตรฐาน คือ $Y = 0.3697X + 0.2023$

เมื่อ Y = ค่า Absorbance

X = ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัส/ต่อกิโลกรัม)

การคำนวณ

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินแห้ง)

=

B x df (ตัวอย่าง) x R

A x df (สารละลายมาตรฐาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)
B = ปริมาตรของสารละลายสกัด (มิลลิลิตร)
R = ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่คำนวณได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
df = อัตราส่วนการแจกแจง

ตารางที่ ก-7 อนินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้ในการศึกษา

ธาตุ / สารประกอบ	ตัวอย่างดิน			
	บางนกแขวก (%)	ลาดกระบัง (%)	นาจอมเทียน (%)	แม่ตาว (%)
O	45.8	47.8	51.5	48.0
Na	0.55	0.62	-	-
Mg	0.76	0.71	-	0.57
Al	8.48	10.2	1.05	6.19
Si	27.0	29.1	42.8	32.7
P	0.08	0.07	-	-
S	0.10	0.29	0.13	0.11
K	3.99	2.95	0.15	3.45
Ca	2.88	0.47	0.21	1.16
Ti	1.01	0.99	0.53	1.13
Mn	0.31	0.08	-	0.14
Fe	8.39	6.38	1.21	5.59
Cu	0.24	0.19	0.25	0.24
Zn	0.06	-	-	0.19
Ni	0.04	-	-	-
Co	-	-	0.05	-
Zr	0.10	0.05	0.55	0.13
Hf	-	-	0.20	
W	0.16	-	1.31	0.24
Rb	0.07	0.04	-	0.04
Sr	-	0.02	-	-
Ba	-	-	-	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

ธาตุ / สารประกอบ	ตัวอย่างดิน			
	บางนกแขวก (%)	ลาดกระบัง (%)	นาจอมเทียน (%)	แม่ตาว (%)
Y	-	-	-	0.03
Na ₂ O	0.74	0.84	-	-
MgO	1.26	1.17	-	0.94
Al ₂ O ₃	16.0	19.3	1.99	11.7
SiO ₂	57.8	62.3	91.6	70.0
P ₂ O ₅	0.18	0.16	-	-
SO ₃	0.26	0.71	0.32	0.28
K ₂ O	4.80	3.55	0.18	4.16
CaO	4.04	0.65	0.30	1.62
TiO ₂	1.69	1.66	0.88	1.89
MnO	0.40	0.10	-	0.18
Fe ₂ O ₃	12.0	9.13	1.72	7.99
CoO	-	-	0.06	-
NiO	0.06	-	-	-
CuO	0.31	0.24	0.31	0.30
ZnO	0.07	-	-	0.24
Rb ₂ O	0.07	0.05	-	0.04
Y ₂ O ₃	-	-	-	0.04
ZrO ₂	0.14	0.07	0.75	0.17
SrO	-	0.02	-	-
BaO	-	-	-	0.10
HfO ₂	-	-	0.23	-
WO ₃	0.20	-	1.65	0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
บางนกแขวก	1	0.9185	0.0038	0.0038	1	50	Y = 0.1487X + 0.0039
	2	0.9108	0.0038	0.0001	1	50	
	3	0.9133	0.0038	0.0015	1	50	
ลำปลาทิว	1	1.0005	0.0038	0.0008	1	50	
	2	1.0062	0.0038	0.0036	1	50	
	3	1.0017	0.0038	0.0011	1	50	
นาจอมเทียน	1	0.9332	0.0038	0.0006	1	50	
	2	0.9311	0.0038	0.0003	1	50	
	3	0.9324	0.0038	0.0009	1	50	
แม่ดาว	1	0.9733	0.0039	0.0104	1	50	Y = 0.0744X + 0.0059
	2	0.9738	0.0039	0.0108	1	50	
	3	0.9726	0.0039	0.0105	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ก-9 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
บางนกแขวก	1	0.4558	0.0038	0.0038	1	50	Y = 0.1487X + 0.0039
	2	0.4584	0.0038	0.0042	1	50	
	3	0.4586	0.0038	0.0035	1	50	
ลำปลาทิว	1	0.4715	0.0038	0.0008	1	50	
	2	0.4706	0.0038	0.0029	1	50	
	3	0.4719	0.0038	0.0016	1	50	
นาจอมเทียน	1	0.5005	0.0038	0.0006	1	50	
	2	0.5064	0.0038	0.0007	1	50	
	3	0.5049	0.0038	0.0001	1	50	
แม่ดาว	1	0.4900	0.0039	0.0162	1	50	Y = 0.0744X + 0.0059
	2	0.4913	0.0039	0.0175	1	50	
	3	0.4874	0.0039	0.0164	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
คุณสมบัติของดินปนเปื้อนแคดเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดิน BN, LP และ NJ

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	1	0.4880	0.0013	0.0684	10	50	Y = 0.2131X + 0.0054
	2	0.4784	0.0013	0.1116	5	50	
	3	0.4880	0.0013	0.1829	5	50	
LP	1	0.4600	0.0013	0.0547	10	50	
	2	0.4691	0.0013	0.0692	10	50	
	3	0.4691	0.0013	0.0770	10	50	
NJ	1	0.5090	0.0013	0.0719	10	50	
	2	0.5190	0.0013	0.0674	10	50	
	3	0.5190	0.0013	0.0711	10	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วนการเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดิน BN, LP และ NJ

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	1	0.9902	0.0013	0.1329	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
	2	0.9866	0.0013	0.1372	2	50	
	3	0.9865	0.0013	0.1084	2	50	
LP	1	0.9551	0.0013	0.1422	2	50	Y = 0.2131X + 0.005
	2	0.9591	0.0013	0.1444	2	50	
	3	0.9571	0.0013	0.1402	2	50	
NJ	1	1.0039	0.0002	0.4434	2	50	Y = 0.228X + 0.0081
	2	1.0027	0.0002	0.4547	2	50	
	3	1.0014	0.0002	0.4408	2	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

×

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

×

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ข-3 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, LP และ NJ

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบสลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยน ไอออนได้	BN	1	0.9473	0.0013	0.1045	5	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0790	5	25	
		3	0.9568	0.0013	0.1030	5	25	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.2635	5	25	
		2	0.9199	0.0013	0.2157	5	25	
		3	0.9383	0.0013	0.2476	5	25	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.3105	5	25	
		2	1.0180	0.0013	0.2687	5	25	
		3	1.0080	0.0013	0.2842	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	1	0.9473	0.0013	0.2782	4	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.2251	4	50	
		3	0.9568	0.0013	0.2134	4	50	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.2805	2	50	
		2	0.9199	0.0013	0.2238	2	50	
		3	0.9383	0.0013	0.2927	2	50	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0968	5	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	1.0180	0.0013	0.1105	5	50	
		3	1.0080	0.0013	0.1194	5	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN	1	0.9473	0.0013	0.3347	1	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.2494	1	25	
		3	0.9568	0.0013	0.3614	1	25	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.2963	1	25	
		2	0.9199	0.0013	0.3400	1	25	
		3	0.9383	0.0013	0.3423	1	25	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0304	1	25	
		2	1.0180	0.0013	0.0319	1	25	
		3	1.0080	0.0013	0.0342	1	25	
4 รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0717	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0589	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0497	1	50	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.0234	1	50	
		2	0.9199	0.0013	0.0173	1	50	
		3	0.9383	0.0013	0.0173	1	50	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0000	1	50	
		2	1.0180	0.0013	0.0000	1	50	
		3	1.0080	0.0013	0.0004	1	50	
5. รูปอัสัณฐานของเหล็กออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0010	1	50	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.0000	1	50	
		2	0.9199	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9383	0.0013	0.0000	1	50	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0000	1	50	
		2	1.0180	0.0013	0.0000	1	50	
		3	1.0080	0.0013	0.0000	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ก	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0065	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0029	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0010	1	50	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.0020	1	50	
		2	0.9199	0.0013	0.0013	1	50	
		3	0.9383	0.0013	0.0005	1	50	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0000	1	50	
		2	1.0180	0.0013	0.0000	1	50	
		3	1.0080	0.0013	0.0000	1	50	
7. รูปที่เหลื่อ	BN	1	0.9473	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0008	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0052	1	50	
	LP	1	0.9383	0.0013	0.0000	1	50	
		2	0.9199	0.0013	0.0008	1	50	
		3	0.9383	0.0013	0.0000	1	50	
	NJ	1	0.9880	0.0013	0.0000	1	50	
		2	1.0180	0.0013	0.0015	1	50	
		3	1.0080	0.0013	0.0000	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคดเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

X

100

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคดเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและ โลหะชนิดต่างๆ ในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ก	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	Cd	1	0.4880	0.0013	0.0684	10	50	Y = 0.2131X + 0.0054
		2	0.4784	0.0013	0.1116	5	50	
		3	0.4880	0.0013	0.1829	5	50	
BN-Cu	Cd	1	0.4988	0.0039	0.0337	10	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.4921	0.0039	0.0314	10	50	
		3	0.4936	0.0039	0.0319	10	50	
	Cu	1	0.4988	0.0003	0.0424	5	50	Y = 0.07X + 0.0013
		2	0.4921	0.0003	0.0400	5	50	
		3	0.4936	0.0003	0.0437	5	50	
BN-Pb	Cd	1	0.4996	0.0039	0.0316	10	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.5002	0.0039	0.0340	10	50	
		3	0.5001	0.0039	0.0299	10	50	
	Pb	1	0.4996	0.0004	0.3012	2	50	Y = 0.0196X + 0.0032
		2	0.5002	0.0004	0.3006	2	50	
		3	0.5001	0.0004	0.3021	2	50	
BN-Zn	Cd	1	0.4927	0.0039	0.0316	10	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.4913	0.0039	0.0340	10	50	
		3	0.4912	0.0039	0.0299	10	50	
	Zn	1	0.4927	0.0057	0.1144	5	50	Y = 0.176X+ 0.0033
		2	0.4913	0.0057	0.1137	5	50	
		3	0.4912	0.0057	0.1029	5	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นจะละลายของแคดเมียมและโลหะชนิดต่างๆ ในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	Cd	1	0.9902	0.0013	0.1329	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9866	0.0013	0.1372	2	50	
		3	0.9865	0.0013	0.1084	2	50	
BN-Cu	Cd	1	0.9848	0.0039	0.0414	5	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9857	0.0039	0.0460	5	50	
		3	0.9905	0.0039	0.0429	5	50	
	Cu	1	0.9848	0.0003	0.2071	1	50	Y = 0.07X + 0.0013
		2	0.9857	0.0003	0.2111	1	50	
		3	0.9905	0.0003	0.2009	1	50	
BN-Pb	Cd	1	0.9902	0.0039	0.0933	5	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9846	0.0039	0.0822	5	50	
		3	0.9866	0.0039	0.0865	5	50	
	Pb	1	0.9902	0.0004	0.0569	1	50	Y = 0.0196X + 0.0032
		2	0.9846	0.0004	0.0547	1	50	
		3	0.9866	0.0004	0.0501	1	50	
BN-Zn	Cd	1	0.9857	0.0039	0.0541	5	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9902	0.0039	0.0579	5	50	
		3	0.9913	0.0039	0.0573	5	50	
	Zn	1	0.9857	0.0057	0.2130	1	50	Y = 0.176X + 0.0033
		2	0.9902	0.0057	0.2208	1	50	
		3	0.9913	0.0057	0.2237	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ข-6 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn

รูปฟอร์มของแคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	1	0.9473	0.0013	0.1045	5	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0790	5	25	
		3	0.9568	0.0013	0.1030	5	25	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0339	5	25	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9838	0.0039	0.0363	5	25	
		3	0.9886	0.0039	0.0322	5	25	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0905	5	25	
		2	0.9827	0.0039	0.0892	5	25	
		3	0.9858	0.0039	0.0995	5	25	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0517	5	25	
		2	0.9854	0.0039	0.0570	5	25	
		3	0.9838	0.0039	0.0528	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	1	0.9473	0.0013	0.2782	4	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.2251	4	50	
		3	0.9568	0.0013	0.2134	4	50	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0705	5	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9838	0.0039	0.0703	5	50	
		3	0.9886	0.0039	0.0715	5	50	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.1222	2	50	
		2	0.9827	0.0039	0.1204	2	50	
		3	0.9858	0.0039	0.1121	2	50	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0653	5	50	
		2	0.9854	0.0039	0.0649	5	50	
		3	0.9838	0.0039	0.0647	5	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	BN	1	0.9473	0.0013	0.3347	1	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.2494	1	25	
		3	0.9568	0.0013	0.3614	1	25	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0836	1	25	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9838	0.0039	0.0859	1	25	
		3	0.9886	0.0039	0.0895	1	25	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบสค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0455	1	25	$Y = 0.0744X + 0.0059$
		2	0.9827	0.0039	0.0407	1	25	
		3	0.9858	0.0039	0.0465	1	25	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0754	1	25	
		2	0.9854	0.0039	0.0785	1	25	
		3	0.9838	0.0039	0.0798	1	25	
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0717	1	50	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9568	0.0013	0.0589	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0497	1	50	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0351	1	50	$Y = 0.0744X + 0.0059$
		2	0.9838	0.0039	0.0316	1	50	
		3	0.9886	0.0039	0.0313	1	50	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0118	1	50	
		2	0.9827	0.0039	0.0117	1	50	
		3	0.9858	0.0039	0.0121	1	50	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0225	1	50	
		2	0.9854	0.0039	0.0229	1	50	
		3	0.9838	0.0039	0.0225	1	50	
5. รูปอัตราส่วนของเหล็กออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0000	1	50	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9568	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0010	1	50	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0111	1	50	$Y = 0.0744X + 0.0059$
		2	0.9838	0.0039	0.0112	1	50	
		3	0.9886	0.0039	0.0114	1	50	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0009	1	50	
		2	0.9827	0.0039	0.0010	1	50	
		3	0.9858	0.0039	0.0005	1	50	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0109	1	50	
		2	0.9854	0.0039	0.0108	1	50	
		3	0.9838	0.0039	0.0108	1	50	

* $Y = \text{Abs.}$, $X = \text{ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)}$

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ค	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลิตภัณฑ์หลักออกไซด์	BN	1	0.9473	0.0013	0.0065	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0029	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0010	1	50	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0178	1	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9838	0.0039	0.0172	1	50	
		3	0.9886	0.0039	0.0171	1	50	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0077	1	50	
		2	0.9827	0.0039	0.0046	1	50	
		3	0.9858	0.0039	0.0068	1	50	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0145	1	50	
		2	0.9854	0.0039	0.0155	1	50	
		3	0.9838	0.0039	0.0143	1	50	
7. รูปที่เหลือ	BN	1	0.9473	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9568	0.0013	0.0008	1	50	
		3	0.9568	0.0013	0.0052	1	50	
	BN-Cu	1	0.9830	0.0039	0.0000	1	50	Y = 0.0744X + 0.0059
		2	0.9838	0.0039	0.0000	1	50	
		3	0.9886	0.0039	0.0000	1	50	
	BN-Pb	1	0.9877	0.0039	0.0078	1	50	
		2	0.9827	0.0039	0.0008	1	50	
		3	0.9858	0.0039	0.0033	1	50	
	BN-Zn	1	0.9851	0.0039	0.0009	1	50	
		2	0.9854	0.0039	0.0023	1	50	
		3	0.9838	0.0039	0.0025	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% แคลเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคลเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคลเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X 100

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคลเมียมในดินแม่ดาว

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
แม่ดาว	1	0.4868	0.0000	0.1669	2	50	Y = 0.1589X + 0.0081
	2	0.4859	0.0000	0.1698	2	50	
	3	0.4925	0.0000	0.1694	2	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคลเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคลเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคลเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ข-8 ความเข้มข้นชะละลายของแคลเมียมในดินแม่ดาว

ตัวอย่างดิน	ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
แม่ดาว	1	0.9726	0.0000	0.2138	2	50	Y = 0.1589X + 0.0081
	2	0.9765	0.0000	0.2117	2	50	
	3	0.9734	0.0000	0.2129	2	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคลเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคลเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคลเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินแม่ตา

รูปฟอร์มของแคดเมียม	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	1	0.9728	0.0000	0.2089	1	25	Y = 0.1589X + 0.0081
	2	0.9779	0.0000	0.2117	1	25	
	3	0.9761	0.0000	0.2013	1	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	1	0.9728	0.0000	0.2361	2	50	
	2	0.9779	0.0000	0.2268	2	50	
	3	0.9761	0.0000	0.2289	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	1	0.9728	0.0000	0.1824	1	25	
	2	0.9779	0.0000	0.1623	1	25	
	3	0.9761	0.0000	0.1661	1	25	
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	1	0.9728	0.0000	0.0091	1	50	
	2	0.9779	0.0000	0.0092	1	50	
	3	0.9761	0.0000	0.0094	1	50	
5. รูปอสัณฐานของเหล็กออกไซด์	1	0.9728	0.0000	0.0054	1	50	
	2	0.9779	0.0000	0.0072	1	50	
	3	0.9761	0.0000	0.0076	1	50	
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	1	0.9728	0.0000	0.0029	1	50	
	2	0.9779	0.0000	0.0038	1	50	
	3	0.9761	0.0000	0.0033	1	50	
7. รูปที่เหลือ	1	0.9728	0.0000	0.0012	1	50	
	2	0.9779	0.0000	0.0027	1	50	
	3	0.9761	0.0000	0.0014	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคดเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคดเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่
ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทรีปีเปิดรูปเปอร์ฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-1 พีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ย
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	pH
BN	ชุดควบคุม	1	4.8700	7.99
		2	4.9407	7.34
		3	4.8838	7.81
	ชุดทดลอง	1	4.8390	5.82
		2	4.8349	5.73
		3	4.8122	5.82
LP	ชุดควบคุม	1	4.7584	5.58
		2	4.7592	5.80
		3	4.7630	5.60
	ชุดทดลอง	1	4.7069	5.00
		2	4.7112	5.00
		3	4.7055	4.98
NJ	ชุดควบคุม	1	4.9963	7.40
		2	4.9922	7.44
		3	5.0023	7.40
	ชุดทดลอง	1	4.9916	3.23
		2	4.9850	3.35
		3	4.9870	3.31

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อน
ในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	ชุดควบคุม	1	0.4846	0.0013	0.0455	12	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.4876	0.0013	0.0458	12	50	
		3	0.4998	0.0013	0.0448	12	50	
	ชุดทดลอง	1	0.4826	0.0002	0.0529	14	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.4859	0.0002	0.0617	14	50	
		3	0.4967	0.0002	0.0675	14	50	
LP	ชุดควบคุม	1	0.4759	0.0013	0.0737	10	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.4786	0.0013	0.0766	10	50	
		3	0.4778	0.0013	0.0702	10	50	
	ชุดทดลอง	1	0.4788	0.0002	0.0701	12	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.4806	0.0002	0.0666	12	50	
		3	0.4802	0.0002	0.0723	12	50	
NJ	ชุดควบคุม	1	0.5018	0.0002	0.0618	10	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.5018	0.0002	0.0739	10	50	
		3	0.4998	0.0002	0.0657	10	50	
	ชุดทดลอง	1	0.4991	0.0002	0.0496	14	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.5068	0.0002	0.0452	14	50	
		3	0.4044	0.0002	0.0463	14	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	ชุดควบคุม	1	0.9902	0.0013	0.1329	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9866	0.0013	0.1372	2	50	
		3	0.9865	0.0013	0.1084	2	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0566	0.0002	0.1050	2.5	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9802	0.0002	0.1147	2.5	50	
		3	0.9679	0.0002	0.1051	2.5	50	
LP	ชุดควบคุม	1	0.9551	0.0013	0.1422	2	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9591	0.0013	0.1444	2	50	
		3	0.9571	0.0013	0.1402	2	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9521	0.0002	0.0793	2.5	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9525	0.0002	0.0809	2.5	50	
		3	0.9546	0.0002	0.0804	2.5	50	
NJ	ชุดควบคุม	1	1.0039	0.0002	0.4434	2	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0027	0.0002	0.4547	2	50	
		3	1.0014	0.0002	0.4408	2	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0016	0.0002	0.2203	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0009	0.0002	0.2186	1	50	
		3	1.0060	0.0002	0.2243	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ประสิทธิภาพ
การปรับเสถียร (%)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

-

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

x 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน BN ภายหลังจากปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อน
ในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
1. รูปที่ละลายและสามารถ แลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.1916	1	25	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.1991	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2145	1	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.0955	10	25	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0317	0.0002	0.0823	10	25	
		3	0.9756	0.0002	0.0858	10	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้า ของดิน	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0680	10	50	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.0692	10	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0921	10	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.2984	2	50	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0317	0.0002	0.3193	2	50	
		3	0.9756	0.0002	0.2614	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุใน ดิน	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.1514	1	25	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.2113	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2611	1	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.1890	2	25	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0317	0.0002	0.1909	2	25	
		3	0.9756	0.0002	0.1931	2	25	
4. รูปที่จับกับแอมโมเนียม ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0271	1	50	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.0210	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0248	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.0784	2	50	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0317	0.0002	0.0831	2	50	
		3	0.9756	0.0002	0.0554	2	50	
5. รูปออสเตชันของเหล็ก ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0047	1	50	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.0016	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0015	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.0264	1	50	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0317	0.0002	0.0207	1	50	
		3	0.9756	0.0002	0.0253	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของเหล็ก ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0109	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0093	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0113	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.0486	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0317	0.0002	0.0378	1	50	
		3	0.9756	0.0002	0.0575	1	50	
7. รูปที่เหลือ	ชุดควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0046	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0000	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9777	0.0002	0.0103	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0317	0.0002	0.0141	1	50	
		3	0.9756	0.0002	0.0123	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคดเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

÷

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคดเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X 100

ตารางที่ ค-5 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน LP ภายหลังการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อน
ในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิดรูปเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ก	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถ แลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.2534	5	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.2535	5	25	
		3	0.9586	0.0013	0.2533	5	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.0747	12	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.1048	12	25	
		3	0.9460	0.0002	0.0969	12	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้า ของดิน	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.1769	2	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.2071	2	50	
		3	0.9586	0.0013	0.1943	2	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.1779	2	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.1807	2	50	
		3	0.9460	0.0002	0.1871	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุใน ดิน	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.2292	2	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.1680	2	25	
		3	0.9586	0.0013	0.2072	2	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.2457	2	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.2130	2	25	
		3	0.9460	0.0002	0.2598	2	25	
4 รูปที่จับกับแมงกานีส ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0798	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.1162	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.1031	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.1422	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.1404	1	50	
		3	0.9460	0.0002	0.1749	1	50	
5. รูปอัตราส่วนของเหล็ก ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0067	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.0058	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0052	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.0140	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.0169	1	50	
		3	0.9460	0.0002	0.0140	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของหลัก ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0500	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9542	0.0013	0.0407	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0413	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.1494	1	50	
		2	0.9452	0.0002	0.1645	1	50	
		3	0.9460	0.0002	0.1067	1	50	
7. รูปที่เหลือ	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0092	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.0108	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0100	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9534	0.0002	0.0139	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.9452	0.0002	0.0135	1	50	
		3	0.9460	0.0002	0.0139	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคคเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคคเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคคเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคคเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

÷

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคคเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน NJ ภายหลังจากปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของแคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.2065	5	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.2500	5	25	
		3	1.0006	0.0013	0.2437	5	25	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.1364	2	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.1336	2	25	
		3	1.0001	0.0002	0.1410	2	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.2996	2	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.2478	2	50	
		3	1.0006	0.0013	0.2726	2	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.1507	4	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.1241	4	50	
		3	1.0001	0.0002	0.1220	4	50	
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.0645	1	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.0814	1	25	
		3	1.0006	0.0013	0.0701	1	25	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.0671	5	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.0606	5	25	
		3	1.0001	0.0002	0.0613	5	25	
4. รูปที่จับกับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.0091	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.0090	1	50	
		3	1.0006	0.0013	0.0088	1	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.0534	8	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.0508	8	50	
		3	1.0001	0.0002	0.0446	8	50	
5. องค์มูลฐานของหลักออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.0149	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.0156	1	50	
		3	1.0006	0.0013	0.0139	1	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.0212	2	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.0258	2	50	
		3	1.0001	0.0002	0.264	2	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของเหล็ก ออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.0136	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.0128	1	50	
		3	1.0006	0.0013	0.0140	1	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.0196	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.0208	1	50	
		3	1.0001	0.0002	0.0210	1	50	
.รูปที่เหลือ	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0013	0.0080	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0013	0.0084	1	50	
		3	1.0006	0.0013	0.0076	1	50	
	ชุดทดลอง	1	1.0036	0.0002	0.0105	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0200	0.0002	0.0126	1	50	
		3	1.0001	0.0002	0.0129	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคดเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

÷

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคดเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X

100

ภาคผนวก ง

ข้อมูลจากการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่
ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเลอซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 ปีเอชของดินภายหลังการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิล
ซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อ โมลแคะเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	pH
BN	ชุดควบคุม	1	4.8700	7.99
		2	4.9407	7.34
		3	4.8838	7.81
	1 : 2	1	4.8517	5.91
		2	4.8511	5.88
		3	4.8597	5.88
	1 : 1	1	4.8651	5.56
		2	4.8895	5.57
		3	4.8739	5.58
	2 : 1	1	4.8842	4.17
		2	4.8770	4.87
		3	4.8367	5.12
LP	ชุดควบคุม	1	4.7584	5.58
		2	4.7592	5.80
		3	4.7630	5.60
	1 : 2	1	4.9437	5.18
		2	4.9426	5.14
		3	4.9449	5.15
	1 : 1	1	4.7102	4.78
		2	4.7096	4.77
		3	4.7050	4.71
	2 : 1	1	4.9483	4.22
		2	4.9536	4.27
		3	4.9527	4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

อัตราส่วนโดยโมลฟอสเฟตต่อ โมลแคลเซียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	pH
NJ	ชุดควบคุม	1	4.9963	7.40
		2	4.9922	7.44
		3	5.0023	7.40
	1 : 2	1	4.9896	3.76
		2	4.9943	3.80
		3	4.9964	3.78
	1 : 1	1	4.9848	3.23
		2	4.9828	3.18
		3	4.9842	3.21
	2 : 1	1	4.9782	3.07
		2	4.9812	3.00
		3	4.9860	3.02

ตารางที่ ง-2 ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในดินภายหลังการปรับเสถียรแคลเซียมที่ปนเปื้อน
ในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

อัตราส่วนโดย โมลฟอสเฟตต่อ โมลแคลเซียม	ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
BN	ชุด ควบคุม	1	0.4846	0.0013	0.0455	12	50
		2	0.4876	0.0013	0.0458	12	50
		3	0.4998	0.0013	0.0458	12	50
	1 : 2	1	0.4912	0.0013	0.0448	12	50
		2	0.4838	0.0013	0.0472	12	50
		3	0.4875	0.0013	0.0426	12	50
	1 : 1	1	0.4893	0.0013	0.0451	12	50
		2	0.4887	0.0013	0.0400	12	50
		3	0.4991	0.0013	0.0403	12	50
	2 : 1	1	0.4919	0.0013	0.0414	12	50
		2	0.4927	0.0013	0.0323	12	50
		3	0.4948	0.0013	0.0426	12	50

$Y = 0.1455X + 0.0043$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงก์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
LP	ชุดควบคุม	1	0.4759	0.0013	0.0737	10	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.4785	0.0013	0.0766	10	50	
		3	0.4778	0.0013	0.0702	10	50	
	1 : 2	1	0.4997	0.0013	0.0796	10	50	
		2	0.4967	0.0013	0.0835	10	50	
		3	0.4992	0.0013	0.0728	10	50	
	1 : 1	1	0.4734	0.0013	0.0769	10	50	
		2	0.4733	0.0013	0.0718	10	50	
		3	0.4711	0.0013	0.0768	10	50	
	2 : 1	1	0.4976	0.0013	0.0763	10	50	
		2	0.4989	0.0013	0.0706	10	50	
		3	0.4993	0.0013	0.0743	10	50	
NJ	ชุดควบคุม	1	0.5018	0.0002	0.0618	10	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.5018	0.0002	0.0739	10	50	
		3	0.4998	0.0002	0.0657	10	50	
	1 : 2	1	0.5018	0.0002	0.0601	10	50	
		2	0.5014	0.0002	0.0678	10	50	
		3	0.5047	0.0002	0.0659	10	50	
	1 : 1	1	0.4987	0.0002	0.0605	10	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	0.5032	0.0002	0.0682	10	50	
		3	0.5012	0.0002	0.0605	10	50	
	2 : 1	1	0.5033	0.0002	0.0868	8	50	
		2	0.4996	0.0002	0.0635	8	50	
		3	0.4991	0.0002	0.0674	8	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ความเข้มข้นของแคลเซียมชะละลายในดินภายหลังการปรับเสถียรแคลเซียมที่
ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

อัตราส่วนโดย โมลฟอสเฟตต่อ โมลแคลเซียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงก์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
BN	ชุด ควบคุม	1	0.9902	0.0013	0.1329	2	50	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9866	0.0013	0.1372	2	50	
		3	0.9865	0.0013	0.1084	2	50	
	1 : 2	1	0.9693	0.0013	0.1674	1	50	
		2	0.9635	0.0013	0.1413	1	50	
		3	0.9634	0.0013	0.1613	1	50	
	1 : 1	1	0.9661	0.0013	0.1280	1	50	
		2	0.9819	0.0013	0.1307	1	50	
		3	0.9934	0.0013	0.1291	1	50	
	2 : 1	1	0.9750	0.0013	0.1063	1	50	
		2	0.9724	0.0013	0.1033	1	50	
		3	0.9827	0.0013	0.1063	1	50	
LP	ชุด ควบคุม	1	0.9551	0.0013	0.1422	2	50	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9591	0.0013	0.1444	2	50	
		3	0.9571	0.0013	0.1402	2	50	
	1 : 2	1	0.9955	0.0013	0.1948	1	50	
		2	0.9939	0.0013	0.1939	1	50	
		3	0.9954	0.0013	0.1964	1	50	
	1 : 1	1	0.9482	0.0013	0.1581	1	50	
		2	0.9446	0.0013	0.1491	1	50	
		3	0.9440	0.0013	0.1552	1	50	
	2 : 1	1	0.9977	0.0013	0.1395	1	50	
		2	1.0008	0.0013	0.1451	1	50	
		3	0.9917	0.0013	0.1437	1	50	
NJ	ชุด ควบคุม	1	1.0039	0.0002	0.4434	2	50	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0027	0.0002	0.4547	2	50	
		3	1.0014	0.0002	0.4408	2	50	
	1 : 2	1	1.0068	0.0002	0.2545	1	50	
		2	1.0053	0.0002	0.2352	1	50	
		3	1.0000	0.0002	0.2425	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
NJ	1 : 1	1	1.0033	0.0002	0.0812	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0008	0.0002	0.0810	1	50	
		3	0.9986	0.0002	0.0791	1	50	
	2 : 1	1	1.0023	0.0002	0.0657	1	50	
		2	1.0026	0.0002	0.0613	1	50	
		3	0.9989	0.0002	0.0580	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วนการเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ประสิทธิภาพการปรับเสถียร (%)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

x 100

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

ตารางที่ ง-4 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน BN ภายหลังจากปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อน
ในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.1916	1	25	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.1991	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2145	1	25	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.1386	5	25	
		2	1.0057	0.0013	0.1492	5	25	
		3	0.9827	0.0013	0.1689	5	25	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.0929	5	25	
		2	0.9829	0.0013	0.0915	5	25	
		3	0.9858	0.0013	0.0876	5	25	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.0836	5	25	
		2	0.9747	0.0013	0.0757	5	25	
		3	0.9823	0.0013	0.0788	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0680	10	50	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.0692	10	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0921	10	50	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.2072	2	50	
		2	1.0057	0.0013	0.2149	2	50	
		3	0.9827	0.0013	0.2572	2	50	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.1461	2	50	
		2	0.9829	0.0013	0.1446	2	50	
		3	0.9858	0.0013	0.1458	2	50	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.1279	2	50	
		2	0.9747	0.0013	0.1289	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.1320	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.1514	1	25	$Y = 0.1455X + 0.0043$
		2	0.9945	0.0013	0.2113	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2611	1	25	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.1383	2	25	
		2	1.0057	0.0013	0.0917	2	25	
		3	0.9827	0.0013	0.1657	2	25	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.1720	1	25	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9829	0.0013	0.1700	1	25	
		3	0.9858	0.0013	0.1900	1	25	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.1111	2	25	
		2	0.9747	0.0013	0.0765	2	25	
		3	0.9823	0.0013	0.1128	2	25	
4. รูปที่จับกับแอมโมเนียมออกไซด์	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0271	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0210	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0248	1	50	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.0535	1	50	
		2	1.0057	0.0013	0.0585	1	50	
		3	0.9827	0.0013	0.0693	1	50	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.0719	2	50	
		2	0.9829	0.0013	0.0947	2	50	
		3	0.9858	0.0013	0.0929	2	50	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.0812	2	50	
		2	0.9747	0.0013	0.0758	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0785	2	50	
5. รูปเอสซีลูชันของเหล็กออกไซด์	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0047	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0016	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0015	1	50	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.0093	1	50	
		2	1.0057	0.0013	0.0114	1	50	
		3	0.9827	0.0013	0.0099	1	50	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.0054	1	50	
		2	0.9829	0.0013	0.0046	1	50	
		3	0.9858	0.0013	0.0014	1	50	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.0074	1	50	
		2	0.9747	0.0013	0.0080	1	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0072	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ง-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0109	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0093	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0113	1	50	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.0145	1	50	
		2	1.0057	0.0013	0.0174	1	50	
		3	0.9827	0.0013	0.0196	1	50	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.0209	1	50	
		2	0.9829	0.0013	0.0237	1	50	
		3	0.9858	0.0013	0.0268	1	50	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.0239	2	50	
		2	0.9747	0.0013	0.0191	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0282	2	50	
7. รูปที่เหลือ	ชุด ควบคุม	1	1.0060	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0046	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0000	1	50	
	1 : 2	1	0.9635	0.0013	0.0000	1	50	
		2	1.0057	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9827	0.0013	0.0000	1	50	
	1 : 1	1	0.9722	0.0013	0.0030	1	50	
		2	0.9829	0.0013	0.0040	1	50	
		3	0.9858	0.0013	0.0042	1	50	
	2 : 1	1	0.9704	0.0013	0.0000	1	50	
		2	0.9747	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0000	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ง-5 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน LP ภายหลังจากปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของแคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบบลค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.2534	5	25	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9542	0.0013	0.2535	5	25	
		3	0.9586	0.0013	0.2533	5	25	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.2110	5	25	
		2	0.9887	0.0013	0.2138	5	25	
		3	0.9875	0.0013	0.2119	5	25	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.2294	2	25	
		2	0.9507	0.0013	0.2314	2	25	
		3	0.9430	0.0013	0.2274	2	25	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.2896	2	25	
		2	0.9984	0.0013	0.2808	2	25	
		3	0.9919	0.0013	0.2755	2	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.1769	2	50	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9542	0.0013	0.2071	2	50	
		3	0.9586	0.0013	0.1943	2	50	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.1685	2	50	
		2	0.9887	0.0013	0.1826	2	50	
		3	0.9875	0.0013	0.1598	2	50	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.1930	2	50	
		2	0.9507	0.0013	0.1958	2	50	
		3	0.9430	0.0013	0.1961	2	50	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.2354	1	50	
		2	0.9984	0.0013	0.2349	1	50	
		3	0.9919	0.0013	0.2422	1	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.2292	2	25	$Y = 0.2131X + 0.0055$
		2	0.9542	0.0013	0.1680	2	25	
		3	0.9586	0.0013	0.2072	2	25	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.2378	2	25	
		2	0.9887	0.0013	0.2706	2	25	
		3	0.9875	0.0013	0.2258	2	25	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.3280	2	25	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9507	0.0013	0.2964	2	25	
		3	0.9430	0.0013	0.2794	2	25	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.3173	2.5	25	
		2	0.9984	0.0013	0.2706	2.5	25	
		3	0.9919	0.0013	0.2142	2.5	25	
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0798	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.1162	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.1031	1	50	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.1409	1	50	
		2	0.9887	0.0013	0.0857	1	50	
		3	0.9875	0.0013	0.1512	1	50	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.1932	1	50	
		2	0.9507	0.0013	0.1541	1	50	
		3	0.9430	0.0013	0.1483	1	50	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.2320	1	50	
		2	0.9984	0.0013	0.2711	1	50	
		3	0.9919	0.0013	0.2199	1	50	
5. รูปเอกลักษณ์ของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0067	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.0058	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0052	1	50	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.0041	1	50	
		2	0.9887	0.0013	0.0027	1	50	
		3	0.9875	0.0013	0.0041	1	50	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.0030	1	50	
		2	0.9507	0.0013	0.0051	1	50	
		3	0.9430	0.0013	0.0016	1	50	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.0092	1	50	
		2	0.9984	0.0013	0.0099	1	50	
		3	0.9919	0.0013	0.0086	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ๓-5 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลจ	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปเปลือกหอยออกไซด์	ชุด ควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0500	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.0407	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0413	1	50	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.1084	1	50	
		2	0.9887	0.0013	0.0943	1	50	
		3	0.9875	0.0013	0.0858	1	50	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.1560	1	50	
		2	0.9507	0.0013	0.1683	1	50	
		3	0.9430	0.0013	0.1945	1	50	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.1066	1.5	50	
		2	0.9984	0.0013	0.1306	1.5	50	
		3	0.9919	0.0013	0.2103	1.5	50	
7. รูปที่เหลื่อ	ชุด ควบคุม	1	0.9683	0.0013	0.0092	1	50	Y = 0.2131X + 0.0055
		2	0.9542	0.0013	0.0108	1	50	
		3	0.9586	0.0013	0.0100	1	50	
	1 : 2	1	0.9885	0.0013	0.0020	1	50	
		2	0.9887	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9875	0.0013	0.0053	1	50	
	1 : 1	1	0.9472	0.0013	0.0080	1	50	
		2	0.9507	0.0013	0.0062	1	50	
		3	0.9430	0.0013	0.0078	1	50	
	2 : 1	1	0.9951	0.0013	0.0012	1	50	
		2	0.9984	0.0013	0.0019	1	50	
		3	0.9919	0.0013	0.0017	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ง-6 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดิน NJ ภายหลังการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ ครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของแคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.2065	5	25	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0075	0.0002	0.2500	5	25	
		3	1.0006	0.0002	0.2437	5	25	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.1101	5	25	
		2	1.0016	0.0002	0.1086	5	25	
		3	1.0068	0.0002	0.1081	5	25	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.0411	5	25	
		2	1.0030	0.0002	0.0313	5	25	
		3	0.9966	0.0002	0.0443	5	25	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.0834	5	25	
		2	1.0018	0.0002	0.0837	5	25	
		3	1.0017	0.0002	0.0973	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.2996	2	50	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0075	0.0002	0.2478	2	50	
		3	1.0006	0.0002	0.2726	2	50	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.3100	2	50	
		2	1.0016	0.0002	0.2351	2	50	
		3	1.0068	0.0002	0.2662	2	50	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.1605	2	50	
		2	1.0030	0.0002	0.1602	2	50	
		3	0.9966	0.0002	0.1510	2	50	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.1035	2	50	
		2	1.0018	0.0002	0.0926	2	50	
		3	1.0017	0.0002	0.1090	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.0645	1	25	$Y = 0.228X + 0.0081$
		2	1.0075	0.0002	0.0814	1	25	
		3	1.0006	0.0002	0.0701	1	25	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.3065	1	25	
		2	1.0016	0.0002	0.2894	1	25	
		3	1.0068	0.0002	0.2714	1	25	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน [*]
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.2219	1	25	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0030	0.0002	0.3008	1	25	
		3	0.9966	0.0002	0.2123	1	25	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.1612	1	25	
		2	1.0018	0.0002	0.1692	1	25	
		3	1.0017	0.0002	0.1540	1	25	
4 รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	ชุด ควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.0091	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0002	0.0090	1	50	
		3	1.0006	0.0002	0.0088	1	50	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.1562	1	50	
		2	1.0016	0.0002	0.1743	1	50	
		3	1.0068	0.0002	0.1404	1	50	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.3186	2	50	
		2	1.0030	0.0002	0.2548	2	50	
		3	0.9966	0.0002	0.3163	2	50	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.3023	2	50	
		2	1.0018	0.0002	0.3501	2	50	
		3	1.0017	0.0002	0.3249	2	50	
5. รูปเอกลักษณ์ของเหล็กออกไซด์	ชุด ควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.0149	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0002	0.0156	1	50	
		3	1.0006	0.0002	0.0139	1	50	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.0378	1	50	
		2	1.0016	0.0002	0.0324	1	50	
		3	1.0068	0.0002	0.0367	1	50	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.0311	1	50	
		2	1.0030	0.0002	0.0308	1	50	
		3	0.9966	0.0002	0.0309	1	50	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.0153	1	50	
		2	1.0018	0.0002	0.0158	1	50	
		3	1.0017	0.0002	0.0198	1	50	

^{*} Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ ง-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปเปลือกหีกลอกไข่	ชุด ควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.0136	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0002	0.0128	1	50	
		3	1.0006	0.0002	0.0140	1	50	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.0150	1	50	
		2	1.0016	0.0002	0.0147	1	50	
		3	1.0068	0.0002	0.0160	1	50	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.0147	1	50	
		2	1.0030	0.0002	0.0150	1	50	
		3	0.9966	0.0002	0.0148	1	50	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.0125	1	50	
		2	1.0018	0.0002	0.0139	1	50	
		3	1.0017	0.0002	0.0157	1	50	
7. รูปที่เหลือ	ชุด ควบคุม	1	0.9985	0.0002	0.0080	1	50	Y = 0.228X + 0.0081
		2	1.0075	0.0002	0.0084	1	50	
		3	1.0006	0.0002	0.0076	1	50	
	1 : 2	1	1.0005	0.0002	0.0035	1	50	
		2	1.0016	0.0002	0.0030	1	50	
		3	1.0068	0.0002	0.0044	1	50	
	1 : 1	1	1.0065	0.0002	0.0001	1	50	
		2	1.0030	0.0002	0.0099	1	50	
		3	0.9966	0.0002	0.0021	1	50	
	2 : 1	1	1.0008	0.0002	0.0071	1	50	
		2	1.0018	0.0002	0.0063	1	50	
		3	1.0017	0.0002	0.0010	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคคเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคคเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคคเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{array}{l} \text{\% แคมเมียม} \\ \text{ในแต่ละรูปฟอร์ม} \end{array} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคมเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม}}{\text{ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคมเมียมใน} \\ \text{ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อ
ประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วย
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 พิเศษของดินภายหลังการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิล
ซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	pH
BN	ชุดควบคุม	1	4.8700	7.99
		2	4.9407	7.34
		3	4.8838	7.81
	ชุดทดลอง	1	4.8842	4.17
		2	4.8770	4.87
		3	4.8367	5.12
BN-Cu	ชุดควบคุม	1	4.9105	7.43
		2	4.9118	7.79
		3	4.9147	7.63
	ชุดทดลอง	1	4.8549	4.66
		2	4.8565	4.68
		3	4.8503	4.57
BN-Pb	ชุดควบคุม	1	4.9105	7.42
		2	4.9166	7.43
		3	4.9134	7.45
	ชุดทดลอง	1	4.8748	4.58
		2	4.8763	4.63
		3	4.8684	4.62
BN-Zn	ชุดควบคุม	1	4.9148	7.41
		2	4.9120	7.25
		3	4.9097	7.03
	ชุดทดลอง	1	4.8592	4.50
		2	4.8581	4.34
		3	4.8663	4.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดินภายหลังการปรับเสถียร
แคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน			ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลจค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	Cd	ชุดควบคุม	1	0.4846	0.0013	0.0455	12	50	Y = 0.1455X + 0.0043
			2	0.4876	0.0013	0.0458	12	50	
			3	0.4998	0.0013	0.0458	12	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4919	0.0013	0.0414	12	50	
			2	0.4927	0.0013	0.0323	12	50	
			3	0.4948	0.0013	0.0426	12	50	
BN-Cu	Cd	ชุดควบคุม	1	0.4977	0.0000	0.0789	10	50	Y = 0.2266X + 0.0125
			2	0.4982	0.0000	0.0817	10	50	
			3	0.4968	0.0000	0.0762	10	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4903	0.0000	0.0773	10	50	
			2	0.4911	0.0000	0.0776	10	50	
			3	0.4863	0.0000	0.0750	10	50	
	Cu	ชุดควบคุม	1	0.4977	0.0017	0.0275	10	50	Y = 0.084X -0.0017
			2	0.4982	0.0017	0.0240	10	50	
			3	0.4968	0.0017	0.0247	10	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4903	0.0017	0.0214	10	50	
			2	0.4911	0.0017	0.0242	10	50	
			3	0.4863	0.0017	0.0238	10	50	
BN-Pb	Cd	ชุดควบคุม	1	0.4940	0.0000	0.0707	10	50	Y = 0.2266X + 0.0015
			2	0.4970	0.0000	0.0655	10	50	
			3	0.4950	0.0000	0.0740	10	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4933	0.0000	0.0667	10	50	
			2	0.4922	0.0000	0.0641	10	50	
			3	0.4918	0.0000	0.0636	10	50	
	Pb	ชุดควบคุม	1	0.4940	0.0004	0.0649	1	50	Y = 0.0196X + 0.0032
			2	0.4970	0.0004	0.0586	1	50	
			3	0.4950	0.0004	0.0634	1	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4933	0.0004	0.0569	1	50	
			2	0.4922	0.0004	0.0644	1	50	
			3	0.4918	0.0004	0.0570	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-2 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน			ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN-Zn	Cd	ชุดควบคุม	1	0.4975	0.0000	0.0786	10	50	Y = 0.2266X + 0.0015
			2	0.4921	0.0000	0.0829	10	50	
			3	0.4957	0.0000	0.0818	10	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4949	0.0000	0.0738	10	50	
			2	0.4930	0.0000	0.0781	10	50	
			3	0.4877	0.0000	0.0764	10	50	
	Zn	ชุดควบคุม	1	0.4975	0.0000	0.1079	10	50	Y = 0.2857X + 0.016
			2	0.4921	0.0000	0.1013	10	50	
			3	0.4957	0.0000	0.1047	10	50	
		ชุดทดลอง	1	0.4949	0.0000	0.1006	10	50	
			2	0.4930	0.0000	0.1058	10	50	
			3	0.4877	0.0000	0.1019	10	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ จ-3 ความเข้มข้นจะละลายของแคดเมียมและโลหะอื่นๆ ในดิน ภายหลังการปรับเสถียร
แคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ครบ 30 วัน

ตัวอย่างดิน			ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลคท์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN	Cd	ชุดควบคุม	1	0.9902	0.0013	0.1329	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
			2	0.9866	0.0013	0.1372	2	50	
			3	0.9865	0.0013	0.1084	2	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9750	0.0013	0.1063	1	50	
			2	0.9724	0.0013	0.1033	1	50	
			3	0.9827	0.0013	0.1063	1	50	
BN-Cu	Cd	ชุดควบคุม	1	0.9880	0.0000	0.1049	5	50	Y = 0.2266X + 0.0125
			2	0.9884	0.0000	0.1178	5	50	
			3	0.9850	0.0000	0.1154	5	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9741	0.0000	0.1556	1	50	
			2	0.9773	0.0000	0.1603	1	50	
			3	0.9726	0.0000	0.1595	1	50	
	Cu	ชุดควบคุม	1	0.9880	0.0017	0.0396	5	50	Y = 0.084X - 0.0017
			2	0.9884	0.0017	0.0450	5	50	
			3	0.9850	0.0017	0.0474	5	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9741	0.0017	0.0331	5	50	
			2	0.9773	0.0017	0.0350	5	50	
			3	0.9726	0.0017	0.0297	5	50	
BN-Pb	Cd	ชุดควบคุม	1	0.9914	0.0000	0.1359	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
			2	0.9866	0.0000	0.1382	1	50	
			3	0.9877	0.0000	0.1373	1	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9799	0.0000	0.1141	1	50	
			2	0.9751	0.0000	0.1064	1	50	
			3	0.9772	0.0000	0.1253	1	50	
	Pb	ชุดควบคุม	1	0.9914	0.0004	0.0115	5	50	Y = 0.0196X + 0.0032
			2	0.9866	0.0004	0.0121	5	50	
			3	0.9877	0.0004	0.0118	5	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9799	0.0004	0.0059	1	50	
			2	0.9751	0.0004	0.0021	1	50	
			3	0.9772	0.0004	0.0017	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-3

ตัวอย่างดิน			ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
BN-Zn	Cd	ชุดควบคุม	1	0.9855	0.0000	0.1231	5	50	Y = 0.2266X + 0.0125
			2	0.9886	0.0000	0.1143	5	50	
			3	0.9869	0.0000	0.1277	5	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9809	0.0000	0.1387	2	50	
			2	0.9757	0.0000	0.1493	2	50	
			3	0.9792	0.0000	0.1252	2	50	
	Zn	ชุดควบคุม	1	0.9855	0.0000	0.3300	1	50	Y = 0.2857X + 0.016
			2	0.9886	0.0000	0.2906	1	50	
			3	0.9869	0.0000	0.3473	1	50	
		ชุดทดลอง	1	0.9809	0.0000	0.0599	1	50	
			2	0.9757	0.0000	0.0626	1	50	
			3	0.9792	0.0000	0.0643	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ประสิทธิภาพ
การปรับเสถียร (%)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

-

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

x 100

ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายใน
ชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

ตารางที่ จ-4 รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ไม่เค็มปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

รูปฟอร์มของแคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	1	1.0060	0.0013	0.1916	1	25	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.1991	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2145	1	25	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.0813	5	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9890	0.0000	0.0799	5	25	
		3	0.9913	0.0000	0.0760	5	25	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.3324	5	25	
		2	0.9883	0.0000	0.3387	5	25	
		3	0.9825	0.0000	0.3413	5	25	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.1099	5	25	
		2	0.9876	0.0000	0.1097	5	25	
		3	0.9888	0.0000	0.1086	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	1	1.0060	0.0013	0.0680	10	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0692	10	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0921	10	50	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.2134	5	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9890	0.0000	0.2176	5	50	
		3	0.9913	0.0000	0.2190	5	50	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.2162	2	50	
		2	0.9883	0.0000	0.2131	2	50	
		3	0.9825	0.0000	0.2274	2	50	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.2081	5	50	
		2	0.9876	0.0000	0.1906	5	50	
		3	0.9888	0.0000	0.1933	5	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	BN	1	1.0060	0.0013	0.1514	1	25	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.2113	1	25	
		3	1.0300	0.0013	0.2611	1	25	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.2636	1	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9890	0.0000	0.2290	1	25	
		3	0.9913	0.0000	0.2305	1	25	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ จ-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ค	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.2380	1	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9883	0.0000	0.2444	1	25	
		3	0.9825	0.0000	0.2286	1	25	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.2501	1	25	
		2	0.9876	0.0000	0.2208	1	25	
		3	0.9888	0.0000	0.2252	1	25	
4 รูปที่จับกับแอมกานีสออกไซด์	BN	1	1.0060	0.0013	0.0271	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0210	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0248	1	50	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.0749	1	50	
		2	0.9890	0.0000	0.0790	1	50	
		3	0.9913	0.0000	0.0737	1	50	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.0360	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9883	0.0000	0.0329	1	50	
		3	0.9825	0.0000	0.0334	1	50	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.0442	1	50	
		2	0.9876	0.0000	0.0489	1	50	
		3	0.9888	0.0000	0.0464	1	50	
5. รูปต่อต้านของเหล็กออกไซด์	BN	1	1.0060	0.0013	0.0047	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0016	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0015	1	50	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.0153	1	50	
		2	0.9890	0.0000	0.0154	1	50	
		3	0.9913	0.0000	0.0154	1	50	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.0117	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9883	0.0000	0.0117	1	50	
		3	0.9825	0.0000	0.0112	1	50	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.0133	1	50	
		2	0.9876	0.0000	0.0132	1	50	
		3	0.9888	0.0000	0.0133	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ จ-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	BN	1	1.0060	0.0013	0.0109	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0093	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0113	1	50	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.0248	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9890	0.0000	0.0234	1	50	
		3	0.9913	0.0000	0.0242	1	50	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.0137	1	50	
		2	0.9883	0.0000	0.0138	1	50	
		3	0.9825	0.0000	0.0137	1	50	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.0223	1	50	
		2	0.9876	0.0000	0.0208	1	50	
		3	0.9888	0.0000	0.0208	1	50	
7. รูปที่เหลื่อ	BN	1	1.0060	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9945	0.0013	0.0046	1	50	
		3	1.0300	0.0013	0.0000	1	50	
	BN-Cu	1	0.9867	0.0000	0.0025	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9890	0.0000	0.0029	1	50	
		3	0.9913	0.0000	0.0015	1	50	
	BN-Pb	1	0.9839	0.0000	0.0032	1	50	
		2	0.9883	0.0000	0.0027	1	50	
		3	0.9825	0.0000	0.0022	1	50	
	BN-Zn	1	0.9870	0.0000	0.0018	1	50	
		2	0.9876	0.0000	0.0032	1	50	
		3	0.9888	0.0000	0.0016	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ จ-5 รูปแบบของแคดเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต

รูปแบบของแคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	1	0.9704	0.0013	0.0836	5	25	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0757	5	25	
		3	0.9823	0.0013	0.0788	5	25	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.1854	5	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9712	0.0000	0.1861	5	25	
		3	0.9767	0.0000	0.1736	5	25	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.2215	10	25	
		2	0.9746	0.0000	0.2205	10	25	
		3	0.9753	0.0000	0.2211	10	25	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.2088	5	25	
		2	0.9799	0.0000	0.2117	5	25	
		3	0.9780	0.0000	0.2073	5	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	1	0.9704	0.0013	0.1279	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.1289	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.1320	2	50	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.1057	2	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9712	0.0000	0.1062	2	50	
		3	0.9767	0.0000	0.1072	2	50	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.1267	1	50	
		2	0.9746	0.0000	0.1260	1	50	
		3	0.9753	0.0000	0.1250	1	50	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.0974	2	50	
		2	0.9799	0.0000	0.1014	2	50	
		3	0.9780	0.0000	0.1066	2	50	
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	BN	1	0.9704	0.0013	0.1111	2	25	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0765	2	25	
		3	0.9823	0.0013	0.1128	2	25	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.2539	2	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9712	0.0000	0.2844	2	25	
		3	0.9767	0.0000	0.2493	2	25	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ จ-5 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.2147	1	25	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9746	0.0000	0.2116	1	25	
		3	0.9753	0.0000	0.2107	1	25	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.3068	2	25	
		2	0.9799	0.0000	0.3363	2	25	
		3	0.9780	0.0000	0.3375	2	25	
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	1	0.9704	0.0013	0.0812	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0758	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0785	2	50	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.1948	2	50	
		2	0.9712	0.0000	0.1889	2	50	
		3	0.9767	0.0000	0.1901	2	50	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.0867	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9746	0.0000	0.0855	1	50	
		3	0.9753	0.0000	0.0833	1	50	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.1421	2	50	
		2	0.9799	0.0000	0.1550	2	50	
		3	0.9780	0.0000	0.1350	2	50	
5. รูปอัตราส่วนของเหล็กออกไซด์	BN	1	0.9704	0.0013	0.0074	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0080	1	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0072	1	50	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.0347	2	50	
		2	0.9712	0.0000	0.0322	2	50	
		3	0.9767	0.0000	0.0347	2	50	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.0307	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9746	0.0000	0.0289	1	50	
		3	0.9753	0.0000	0.0295	1	50	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.0262	2	50	
		2	0.9799	0.0000	0.0279	2	50	
		3	0.9780	0.0000	0.0257	2	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ จ-5 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบล็ค	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	BN	1	0.9704	0.0013	0.0239	2	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0191	2	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0282	2	50	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.0351	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9712	0.0000	0.0337	1	50	
		3	0.9767	0.0000	0.0374	1	50	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.0299	1	50	
		2	0.9746	0.0000	0.0286	1	50	
		3	0.9753	0.0000	0.0296	1	50	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.0272	2	50	
		2	0.9799	0.0000	0.0291	2	50	
		3	0.9780	0.0000	0.0273	2	50	
7. รูปที่เหลื่อ	BN	1	0.9704	0.0013	0.0000	1	50	Y = 0.1455X + 0.0043
		2	0.9747	0.0013	0.0000	1	50	
		3	0.9823	0.0013	0.0000	1	50	
	BN-Cu	1	0.9707	0.0000	0.0019	1	50	Y = 0.2266X + 0.0125
		2	0.9712	0.0000	0.0022	1	50	
		3	0.9767	0.0000	0.0015	1	50	
	BN-Pb	1	0.9823	0.0000	0.0017	1	50	
		2	0.9746	0.0000	0.0021	1	50	
		3	0.9753	0.0000	0.0029	1	50	
	BN-Zn	1	0.9730	0.0000	0.0011	1	50	
		2	0.9799	0.0000	0.0021	1	50	
		3	0.9780	0.0000	0.0016	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคมเมียม

ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคมเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคมเมียมใน

ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)

X 100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับ
เสถียรแควตเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ดาว อ.แม่สวด จ.ตาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 พีเอชของดินแม่ตัวภายหลังการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย
ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	pH
ชุดควบคุม	1	4.8633	7.49
	2	4.8599	7.52
	3	4.8620	7.44
ชุดทดลอง	1	4.8597	4.58
	2	4.8629	4.69
	3	4.8595	4.60

ตารางที่ จ-2 ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมดในดินแม่ตัวภายหลังการปรับเสถียรแคะเมียมที่
ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
ชุดควบคุม	1	0.4943	0.0003	0.1960	2	50	Y = 0.1811X + 0.0175
	2	0.4910	0.0003	0.2105	2	50	
	3	0.4892	0.0003	0.1995	2	50	
ชุดทดลอง	1	0.4868	0.0003	0.1968	2	50	
	2	0.4923	0.0003	0.1985	2	50	
	3	0.4933	0.0003	0.2034	2	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคะเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคะเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคะเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

ตารางที่ ฌ-3 ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในดินแม่ดาวภายหลังการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

	ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แปลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
ชุดควบคุม	1	0.9747	0.0003	0.2541	2	50	Y = 0.1811X + 0.0175
	2	0.9766	0.0003	0.2506	2	50	
	3	0.9752	0.0003	0.2534	2	50	
ชุดทดลอง	1	0.9807	0.0003	0.0694	1	50	
	2	0.9732	0.0003	0.0611	1	50	
	3	0.9785	0.0003	0.0690	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง) = $\frac{\text{ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)} \times \frac{\text{ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)}} \times \text{อัตราส่วนการเจือจาง}}$

ประสิทธิภาพการปรับเสถียร (%) = $\left[\frac{\text{ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)} - \text{ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)}}{\text{ความเข้มข้นของแคดเมียมชะละลายในชุดควบคุม (มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)}} \right] \times 100$

ตารางที่ ๓-4 รูปฟอร์มของแคคเมียมที่พบในดินแม่ตัวภายหลังการปรับเสถียรแคคเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตครบ 30 วัน

รูปฟอร์มของแคคเมียม		ครั้งที่	น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	Abs. แบลงค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วนการเจือจาง	ปริมาตรสารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน *
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.3094	1	25	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.3167	1	25	
		3	0.9722	0.0003	0.3531	1	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.1122	1	25	
		2	0.9714	0.0003	0.1231	1	25	
		3	0.9742	0.0003	0.1139	1	25	
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.2963	2	50	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.2885	2	50	
		3	0.9722	0.0003	0.2681	2	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.0639	1	50	
		2	0.9714	0.0003	0.0677	1	50	
		3	0.9742	0.0003	0.0712	1	50	
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.1723	1	25	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.1736	1	25	
		3	0.9722	0.0003	0.1798	1	25	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.1138	1	25	
		2	0.9714	0.0003	0.1163	1	25	
		3	0.9742	0.0003	0.1174	1	25	
4 รูปที่จับกับแอมกานีสออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.0211	1	50	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.0207	1	50	
		3	0.9722	0.0003	0.0209	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.1138	1	50	
		2	0.9714	0.0003	0.1178	1	50	
		3	0.9742	0.0003	0.1150	1	50	
5. รูปอิสระของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.0138	1	50	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.0167	1	50	
		3	0.9722	0.0003	0.0117	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.1122	1	50	
		2	0.9714	0.0003	0.1151	1	50	
		3	0.9742	0.0003	0.1012	1	50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๓-4 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม		ครั้งที่	น้ำหนัก ดินแห้ง (กรัม)	Abs. เบลอค์	Abs. ตัวอย่าง	อัตราส่วน การเจือจาง	ปริมาตร สารละลาย (มล.)	กราฟมาตรฐาน
6. รูปผลึกของเกลือออกไซด์	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.0123	1	50	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.0101	1	50	
		3	0.9722	0.0003	0.0090	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.2178	2	50	
		2	0.9714	0.0003	0.2115	2	50	
		3	0.9742	0.0003	0.2125	2	50	
7. รูปที่เหลื่อ	ชุดควบคุม	1	0.9786	0.0003	0.0012	1	50	Y = 0.1811X + 0.0175
		2	0.9799	0.0003	0.0016	1	50	
		3	0.9722	0.0003	0.0009	1	50	
	ชุดทดลอง	1	0.9745	0.0003	0.0047	1	50	
		2	0.9714	0.0003	0.0072	1	50	
		3	0.9742	0.0003	0.0096	1	50	

* Y = Abs., X = ความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)

การคำนวณ

ความเข้มข้นของแคดเมียม
(มิลลิกรัม/กิโลกรัมดินแห้ง)

=

ความเข้มข้นของแคดเมียมคำนวณ
จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

x

ปริมาตรสารละลาย
(มิลลิลิตร)

x

อัตราส่วน
การเจือจาง

น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

% แคดเมียม
ในแต่ละรูปฟอร์ม

=

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นแคดเมียมในแต่ละรูปฟอร์ม

X

100

ค่าเฉลี่ยของผลรวมความเข้มข้นแคดเมียมใน
ทุกรูปฟอร์ม (7รูปฟอร์ม)



ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียม
(ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมในดิน BN, LP และ NJ)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN	LP	0.15	0.719	0.05	ND
	NJ	0.54	0.505	0.05	ND
LP	BN	0.15	0.719	0.05	ND
	NJ	0.20	0.679	0.05	ND
NJ	BN	0.54	0.505	0.05	ND
	LP	0.20	0.679	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-2 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียม
(ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมในดิน BN, LP และ NJ)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN	LP	7.86	0.049	0.05	D
	NJ	276.76	0.000	0.05	D
LP	BN	7.86	0.049	0.05	D
	NJ	4226.79	0.000	0.05	D
NJ	BN	276.76	0.000	0.05	D
	LP	4226.79	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-3 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียม (รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, LP และ NJ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
1. รูปที่ละลายและสามารถ แลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	LP	69.80	0.001	0.05	D
		NJ	119.32	0.000	0.05	D
	LP	BN	69.80	0.001	0.05	D
		NJ	1.90	0.241	0.05	ND
	NJ	BN	119.32	0.000	0.05	D
		LP	1.90	0.241	0.05	ND
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้า ของดิน	BN	LP	18.78	0.012	0.05	D
		NJ	25.65	0.007	0.05	D
	LP	BN	18.78	0.012	0.05	D
		NJ	0.82	0.416	0.05	ND
	NJ	BN	25.65	0.007	0.05	D
		LP	0.82	0.416	0.05	ND
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุใน ดิน	BN	LP	0.24	0.650	0.05	ND
		NJ	69.96	0.001	0.05	D
	LP	BN	0.24	0.650	0.05	ND
		NJ	340.84	0.000	0.05	D
	NJ	BN	69.96	0.001	0.05	D
		LP	340.84	0.000	0.05	D
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	LP	34.78	0.004	0.05	D
		NJ	66.32	0.001	0.05	D
	LP	BN	34.78	0.004	0.05	D
		NJ	40.06	0.003	0.05	D
	NJ	BN	66.32	0.001	0.05	D
		LP	40.06	0.003	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
5. รูปพื้นฐานของเหล็ก ออกไซด์	BN	LP	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	LP	BN	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	NJ	BN	-	-	-	-
		LP	-	-	-	-
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	BN	LP	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	LP	BN	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	NJ	BN	-	-	-	-
		LP	-	-	-	-
7. รูปที่เหลือ	BN	LP	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	LP	BN	-	-	-	-
		NJ	-	-	-	-
	NJ	BN	-	-	-	-
		LP	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-4 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและโลหะชนิดอื่นๆ (ความเข้มข้นทั้งหมดของแคดเมียมในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN	BN-Cu	0.15	0.716	0.05	ND
	BN-Pb	0.32	0.603	0.05	ND
	BN-Zn	0.07	0.809	0.05	ND
BN-Cu	BN	0.15	0.716	0.05	ND
	BN-Pb	0.30	0.614	0.05	ND
	BN-Zn	0.22	0.666	0.05	ND
BN-Pb	BN	0.32	0.603	0.05	ND
	BN-Cu	0.30	0.614	0.05	ND
	BN-Zn	0.69	0.452	0.05	ND
BN-Zn	BN	0.07	0.809	0.05	ND
	BN-Cu	0.22	0.666	0.05	ND
	BN-Pb	0.69	0.452	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-5 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและโลหะชนิดอื่นๆ (ความเข้มข้นชะละลายของแคดเมียมในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN	BN-Cu	15.63	0.017	0.05	D
	BN-Pb	216.14	0.000	0.05	D
	BN-Zn	105.57	0.001	0.05	D
BN-Cu	BN	15.63	0.017	0.05	D
	BN-Pb	167.97	0.000	0.05	D
	BN-Zn	54.22	0.002	0.05	D

ตารางที่ ข-5 (ต่อ)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN-Pb	BN	216.14	0.000	0.05	D
	BN-Cu	167.97	0.000	0.05	D
	BN-Zn	88.64	0.001	0.05	D
BN-Zn	BN	105.57	0.001	0.05	D
	BN-Cu	54.22	0.002	0.05	D
	BN-Pb	88.64	0.001	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-6 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของดินตัวอย่างที่ปนเปื้อนแคดเมียมและ โลหะชนิดอื่นๆ (รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดิน BN, BN-Cu, BN-Pb และ BN-Zn)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	BN-Cu	5.54	0.078	0.05	ND
		BN-Pb	134.33	0.000	0.05	D
		BN-Zn	12.23	0.025	0.05	D
	BN-Cu	BN	5.54	0.078	0.05	ND
		BN-Pb	294.40	0.000	0.05	D
		BN-Zn	95.65	0.001	0.05	D
	BN-Pb	BN	134.33	0.000	0.05	D
		BN-Cu	294.40	0.000	0.05	D
		BN-Zn	119.35	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	12.23	0.025	0.05	D
		BN-Cu	95.65	0.001	0.05	D
		BN-Pb	119.35	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	BN-Cu	1.02	0.369	0.05	ND
		BN-Pb	14.96	0.018	0.05	D
		BN-Zn	3.91	0.119	0.05	ND
	BN-Cu	BN	1.02	0.369	0.05	ND
		BN-Pb	191.66	0.000	0.05	D
		BN-Zn	340.68	0.000	0.05	D
	BN-Pb	BN	14.96	0.018	0.05	D
		BN-Cu	191.66	0.000	0.05	D
		BN-Zn	89.04	0.001	0.05	D
	BN-Zn	BN	3.91	0.119	0.05	ND
		BN-Cu	340.68	0.000	0.05	D
		BN-Pb	89.04	0.001	0.05	D
3. รูปที่จับกับอินทรียวัตถุในดิน	BN	BN-Cu	7.91	0.048	0.05	D
		BN-Pb	38.53	0.003	0.05	D
		BN-Zn	12.25	0.025	0.05	D
	BN-Cu	BN	7.91	0.048	0.05	D
		BN-Pb	318.26	0.000	0.05	D
		BN-Zn	16.52	0.015	0.05	D
	BN-Pb	BN	38.53	0.003	0.05	D
		BN-Cu	318.26	0.000	0.05	D
		BN-Zn	235.74	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	12.25	0.025	0.05	D
		BN-Cu	16.52	0.015	0.05	D
		BN-Pb	235.74	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	BN-Cu	1.81	0.250	0.05	ND
		BN-Pb	52.73	0.002	0.05	D
		BN-Zn	7.34	0.053	0.05	ND
	BN-Cu	BN	1.81	0.250	0.05	ND
		BN-Pb	275.36	0.000	0.05	D
		BN-Zn	63.93	0.001	0.05	D
	BN-Pb	BN	52.73	0.002	0.05	D
		BN-Cu	275.36	0.000	0.05	D
		BN-Zn	3750.50	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	7.34	0.053	0.05	ND
		BN-Cu	63.93	0.001	0.05	D
		BN-Pb	3750.50	0.000	0.05	D
5. รูปสถานะของเหล็กออกไซด์	BN	BN-Cu	279.69	0.000	0.05	
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	981.62	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	279.69	0.000	0.05	D
		BN-Pb	279.69	0.000	0.05	D
		BN-Zn	18.95	0.012	0.05	D
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	279.69	0.000	0.05	D
		BN-Zn	981.62	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	981.62	0.000	0.05	D
		BN-Cu	18.95	0.012	0.05	D
		BN-Pb	981.62	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-6 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	BN	BN-Cu	1097.32	0.000	0.05	D
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	181.01	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	1097.32	0.000	0.05	D
		BN-Pb	1097.32	0.000	0.05	D
		BN-Zn	35.83	0.004	0.05	D
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	1097.32	0.000	0.05	D
		BN-Zn	181.01	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	181.01	0.000	0.05	D
		BN-Cu	35.83	0.004	0.05	D
		BN-Pb	181.01	0.000	0.05	D
7. รูปที่เหลื่อ	BN	BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Cu	BN	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Zn	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-7 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (พีเอชของดิน)

ตัวอย่างดิน	ผลการทดสอบทางสถิติ			
	F	Sig.	P	ผล*
BN	96.22	0.001	0.05	D
LP	89.29	0.001	0.05	D
NJ	11915.82	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-8 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด)

ตัวอย่างดิน	ผลการทดสอบทางสถิติ			
	F	Sig.	P	ผล*
BN	0.11	0.757	0.05	ND
LP	0.46	0.535	0.05	ND
NJ	1.32	0.305	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-9 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลาย)

ตัวอย่างดิน	ผลการทดสอบทางสถิติ			
	F	Sig.	P	ผล*
BN	18.43	0.013	0.05	D
LP	1660.80	0.000	0.05	D
NJ	6033.16	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-10 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินชนิดต่างๆ ด้วย ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน)

รูปฟอร์มของแคะเมียม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล
BN	รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	94.40	0.001	0.05	D
	รูปที่ดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	21.53	0.010	0.05	D
	รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	1.30	0.318	0.05	ND
	รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	37.97	0.004	0.05	D
	รูปอสังฐานของเหล็กออกไซด์	63.85	0.001	0.05	D
	รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	49.28	0.002	0.05	D
	รูปที่เหลือ	14.74	0.019	0.05	D
LP	รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	7.14	0.056	0.05	ND
	รูปที่ดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	4.73	0.095	0.05	ND
	รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	1.28	0.321	0.05	ND
	รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	7.98	0.048	0.05	D
	รูปอสังฐานของเหล็กออกไซด์	45.68	0.002	0.05	D
	รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	27.86	0.006	0.05	D
	รูปที่เหลือ	16.75	0.015	0.05	D
NJ	รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	174.24	0.000	0.05	D
	รูปที่ดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	0.57	0.493	0.05	ND
	รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	298.12	0.000	0.05	D
	รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	263.44	0.000	0.05	D
	รูปอสังฐานของเหล็กออกไซด์	61.59	0.001	0.05	D
	รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	155.66	0.000	0.05	D
	รูปที่เหลือ	24.07	0.008	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_a)

ตารางที่ ข-11 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทรูปเปลชูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (พีเอชของดิน)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
	(โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		F	Sig.	P	ผล*
BN	ชุดควบคุม	1 : 2	88.31	0.001	0.05	D
		1 : 1	122.25	0.000	0.05	D
		2 : 1	75.69	0.001	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	88.31	0.001	0.05	D
		1 : 1	768.00	0.000	0.05	D
		2 : 1	16.91	0.015	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	122.25	0.000	0.05	D
		1 : 2	768.00	0.000	0.05	D
		2 : 1	8.934	0.040	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	75.69	0.001	0.05	D
		1 : 2	16.91	0.015	0.05	D
		1 : 1	8.934	0.040	0.05	D
LP	ชุดควบคุม	1 : 2	49.89	0.002	0.05	D
		1 : 1	151.92	0.000	0.05	D
		2 : 1	390.27	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	49.89	0.002	0.05	D
		1 : 1	261.45	0.000	0.05	D
		2 : 1	2224.27	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	151.92	0.000	0.05	D
		1 : 2	261.45	0.000	0.05	D
		2 : 1	370.56	0.000	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	390.27	0.000	0.05	D
		1 : 2	2224.27	0.000	0.05	D
		1 : 1	370.56	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-11 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
NJ	ชุดควบคุม	1 : 2	42432.14	0.000	0.05	D
		1 : 1	45504.11	0.000	0.05	D
		2 : 1	31440.46	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	42432.14	0.000	0.05	D
		1 : 1	954.32	0.000	0.05	D
		2 : 1	992.65	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	45504.11	0.000	0.05	D
		1 : 2	954.32	0.000	0.05	D
		2 : 1	48.43	0.002	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	31440.46	0.000	0.05	D
		1 : 2	992.65	0.000	0.05	D
		1 : 1	48.43	0.002	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-12 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
BN	ชุดควบคุม	1 : 2	0.15	0.716	0.05	ND
		1 : 1	5.01	0.089	0.05	ND
		2 : 1	7.15	0.056	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	0.15	0.716	0.05	ND
		1 : 1	2.28	0.206	0.05	ND
		2 : 1	4.97	0.090	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	5.01	0.089	0.05	ND
		1 : 2	2.28	0.206	0.05	ND
		2 : 1	1.23	0.330	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	7.15	0.056	0.05	ND
		1 : 2	4.97	0.090	0.05	ND
		1 : 1	1.23	0.330	0.05	ND
LP	ชุดควบคุม	1 : 2	0.34	0.590	0.05	ND
		1 : 1	0.87	0.403	0.05	ND
		2 : 1	1.13	0.348	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	0.34	0.590	0.05	ND
		1 : 1	0.01	0.943	0.05	ND
		2 : 1	1.82	0.249	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	0.87	0.403	0.05	ND
		1 : 2	0.01	0.943	0.05	ND
		2 : 1	4.30	0.107	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	1.13	0.348	0.05	ND
		1 : 2	1.82	0.249	0.05	ND
		1 : 1	4.30	0.107	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_a)

ตารางที่ ข-12 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อ โมลแคดเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
NJ	ชุดควบคุม	1 : 2	0.41	0.557	0.05	ND
		1 : 1	0.89	0.399	0.05	ND
		2 : 1	1.24	0.328	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	0.41	0.557	0.05	ND
		1 : 1	0.17	0.705	0.05	ND
		2 : 1	0.60	0.482	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	0.89	0.399	0.05	ND
		1 : 2	0.17	0.705	0.05	ND
		2 : 1	0.30	0.615	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	1.24	0.328	0.05	ND
		1 : 2	0.60	0.482	0.05	ND
		1 : 1	0.30	0.615	0.05	ND

* ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-13 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทรูปเปิดรูปเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (ความเข้มข้นของแคะเมียมจะละลาย)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
BN	ชุดควบคุม	1 : 2	19.72	0.011	0.05	D
		1 : 1	42.55	0.003	0.05	D
		2 : 1	61.71	0.001	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	19.72	0.011	0.05	D
		1 : 1	14.32	0.019	0.05	D
		2 : 1	46.19	0.002	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	42.55	0.003	0.05	D
		1 : 2	14.32	0.019	0.05	D
		2 : 1	369.53	0.000	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	61.71	0.001	0.05	D
		1 : 2	46.19	0.002	0.05	D
		1 : 1	369.53	0.000	0.05	D
LP	ชุดควบคุม	1 : 2	1452.88	0.000	0.05	D
		1 : 1	1271.14	0.000	0.05	D
		2 : 1	2521.98	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	1452.88	0.000	0.05	D
		1 : 1	147.41	0.000	0.05	D
		2 : 1	832.06	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	1271.14	0.000	0.05	D
		1 : 2	147.41	0.000	0.05	D
		2 : 1	37.51	0.004	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	2521.98	0.000	0.05	D
		1 : 2	832.06	0.000	0.05	D
		1 : 1	37.51	0.004	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-13 (ต่อ)

ตัวอย่างดิน	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคลเซียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
NJ	ชุดควบคุม	1 : 2	4069.06	0.000	0.05	D
		1 : 1	9053.03	0.000	0.05	D
		2 : 1	8924.67	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	4069.06	0.000	0.05	D
		1 : 1	883.43	0.000	0.05	D
		2 : 1	957.44	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	9053.03	0.000	0.05	D
		1 : 2	883.43	0.000	0.05	D
		2 : 1	69.10	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	8924.67	0.000	0.05	D
		1 : 2	957.44	0.000	0.05	D
		1 : 1	69.10	0.001	0.05	D

* ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-14 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (ความเข้มข้นของแคะเมียมจะละลาย)

รูปฟอร์มของ แคะเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1 : 2	158.19	0.000	0.05	D
		1 : 1	477.54	0.000	0.05	D
		2 : 1	184.88	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	158.19	0.000	0.05	D
		1 : 1	48.73	0.002	0.05	D
		2 : 1	65.76	0.001	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	477.54	0.000	0.05	D
		1 : 2	48.73	0.002	0.05	D
		2 : 1	12.52	0.024	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	184.88	0.000	0.05	D
		1 : 2	65.76	0.001	0.05	D
		1 : 1	12.52	0.024	0.05	D
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1 : 2	10.63	0.031	0.05	D
		1 : 1	34.83	0.004	0.05	D
		2 : 1	40.30	0.003	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	10.63	0.031	0.05	D
		1 : 1	26.72	0.007	0.05	D
		2 : 1	37.96	0.004	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	34.83	0.004	0.05	D
		1 : 2	26.72	0.007	0.05	D
		2 : 1	160.30	0.000	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	40.30	0.003	0.05	D
		1 : 2	37.96	0.004	0.05	D
		1 : 1	160.30	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-14 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคลเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคลเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1 : 2	1.12	0.350	0.05	ND
		1 : 1	0.66	0.463	0.05	ND
		2 : 1	0.03	0.880	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	1.12	0.350	0.05	ND
		1 : 1	3.21	0.147	0.05	ND
		2 : 1	1.53	0.283	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	0.66	0.463	0.05	ND
		1 : 2	3.21	0.147	0.05	ND
		2 : 1	0.56	0.497	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	0.03	0.880	0.05	ND
		1 : 2	1.53	0.283	0.05	ND
		1 : 1	0.56	0.497	0.05	ND
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	56.83	0.002	0.05	D
		1 : 1	103.07	0.001	0.05	D
		2 : 1	1170.32	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	56.83	0.002	0.05	D
		1 : 1	52.63	0.002	0.05	D
		2 : 1	264.10	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	103.07	0.001	0.05	D
		1 : 2	52.63	0.002	0.05	D
		2 : 1	1.11	0.352	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	1170.32	0.000	0.05	D
		1 : 2	264.10	0.000	0.05	D
		1 : 1	1.11	0.352	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-14 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคลเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคลเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
5. รูปตั้งฐานของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	65.98	0.001	0.05	D
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	62.44	0.001	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	65.98	0.001	0.05	D
		1 : 1	65.98	0.001	0.05	D
		2 : 1	18.16	0.013	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	65.98	0.001	0.05	D
		2 : 1	62.44	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	62.44	0.001	0.05	D
		1 : 2	18.16	0.013	0.05	D
		1 : 1	62.44	0.001	0.05	D
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	19.58	0.011	0.05	D
		1 : 1	60.92	0.001	0.05	D
		2 : 1	36.84	0.004	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	19.58	0.011	0.05	D
		1 : 1	9.52	0.037	0.05	D
		2 : 1	21.43	0.010	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	60.92	0.001	0.05	D
		1 : 2	9.52	0.037	0.05	D
		2 : 1	11.23	0.029	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	36.84	0.004	0.05	D
		1 : 2	21.43	0.010	0.05	D
		1 : 1	11.23	0.029	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-14 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
7. รูปที่เหลือ	ชุดควบคุม	1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	1 : 2	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	1 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	2 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-

* ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-15 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน LP)

รูปฟอร์มของ แคะเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1 : 2	1233.19	0.000	0.05	D
		1 : 1	19613.23	0.000	0.05	D
		2 : 1	5609.85	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	1233.19	0.000	0.05	D
		1 : 1	17718.58	0.000	0.05	D
		2 : 1	2965.56	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	19613.23	0.000	0.05	D
		1 : 2	17718.58	0.000	0.05	D
		2 : 1	105.66	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	5609.85	0.000	0.05	D
		1 : 2	2965.56	0.000	0.05	D
		1 : 1	105.66	0.001	0.05	D
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1: 2	5.60	0.077	0.05	D
		1 : 1	0.25	0.646	0.05	D
		2 : 1	60.23	0.001	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	5.60	0.077	0.05	D
		1 : 1	24.07	0.008	0.05	D
		2 : 1	52.79	0.002	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	0.25	0.646	0.05	D
		1 : 2	24.07	0.008	0.05	D
		2 : 1	2028.75	0.000	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	60.23	0.001	0.05	D
		1: 2	52.79	0.002	0.05	D
		1 : 1	2028.75	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-15 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1 : 2	2.92	0.163	0.05	ND
		1 : 1	21.90	0.009	0.05	D
		2 : 1	9.15	0.039	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	2.92	0.163	0.05	ND
		1 : 1	12.32	0.025	0.05	D
		2 : 1	4.79	0.094	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	21.90	0.009	0.05	D
		1 : 2	12.32	0.025	0.05	D
		2 : 1	0.17	0.704	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	9.15	0.039	0.05	D
		1 : 2	4.79	0.094	0.05	ND
		1 : 1	0.17	0.704	0.05	ND
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	1.011	0.371	0.05	ND
		1 : 1	14.11	0.020	0.05	D
		2 : 1	53.39	0.002	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	1.011	0.371	0.05	ND
		1 : 1	3.38	0.140	0.05	ND
		2 : 1	20.18	0.011	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	14.11	0.020	0.05	D
		1 : 2	3.38	0.140	0.05	ND
		2 : 1	10.35	0.032	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	53.39	0.002	0.05	D
		1 : 2	20.18	0.011	0.05	D
		1 : 1	10.35	0.032	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-15 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
	(โมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม)		F	Sig.	P	ผล*
5. รูปพื้นฐานของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	44.27	0.003	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	44.27	0.003	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	-	-	-	-
		2 : 1	44.27	0.003	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	44.27	0.003	0.05	D
		1 : 2	44.27	0.003	0.05	D
		1 : 1	44.27	0.003	0.05	D
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	50.44	0.002	0.05	D
		1 : 1	116.78	0.000	0.05	D
		2 : 1	36.52	0.004	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	50.44	0.002	0.05	D
		1 : 1	36.97	0.004	0.05	D
		2 : 1	16.58	0.015	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	116.78	0.000	0.05	D
		1 : 2	36.97	0.004	0.05	D
		2 : 1	0.98	0.379	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	36.52	0.004	0.05	D
		1 : 2	16.58	0.015	0.05	D
		1 : 1	0.98	0.379	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-15 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
7. รูปสี่เหลี่ยม	ชุดควบคุม	1 : 2	45.63	0.003	0.05	D
		1 : 1	19.83	0.011	0.05	D
		2 : 1	45.63	0.003	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	45.63	0.003	0.05	D
		1 : 1	75.0	0.001	0.05	D
		2 : 1	-	-	-	-
	1 : 1	ชุดควบคุม	19.83	0.011	0.05	D
		1 : 2	75.0	0.001	0.05	D
		2 : 1	75.0	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	45.63	0.003	0.05	D
		1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	75.0	0.001	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-16 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ย ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในปริมาณต่างๆ (รูปฟอร์มของแคะเมียมที่พบในดิน NJ)

รูปฟอร์มของ แคะเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคะเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	ชุดควบคุม	1 : 2	89.72	0.001	0.05	D
		1 : 1	201.34	0.000	0.05	D
		2 : 1	109.12	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	89.72	0.001	0.05	D
		1 : 1	302.19	0.000	0.05	D
		2 : 1	19.85	0.011	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	201.34	0.000	0.05	D
		1 : 2	302.19	0.000	0.05	D
		2 : 1	66.43	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	109.12	0.000	0.05	D
		1 : 2	19.85	0.011	0.05	D
		1 : 1	66.43	0.001	0.05	D
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	ชุดควบคุม	1 : 2	0.01	0.912	0.05	ND
		1 : 1	53.60	0.002	0.05	D
		2 : 1	110.04	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	0.01	0.912	0.05	ND
		1 : 1	26.25	0.007	0.05	D
		2 : 1	56.49	0.002	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	53.60	0.002	0.05	D
		1 : 2	26.25	0.007	0.05	D
		2 : 1	100.23	0.001	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	110.04	0.000	0.05	D
		1 : 2	100.23	0.001	0.05	D
		1 : 1	56.49	0.002	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-16 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคลเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคลเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	ชุดควบคุม	1 : 2	345.29	0.000	0.05	D
		1 : 1	37.38	0.004	0.05	D
		2 : 1	189.78	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	345.29	0.000	0.05	D
		1 : 1	2.16	0.215	0.05	ND
		2 : 1	122.48	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	37.38	0.004	0.05	D
		1 : 2	2.16	0.215	0.05	ND
		2 : 1	8.73	0.042	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	189.78	0.000	0.05	D
		1 : 2	122.48	0.000	0.05	D
		1 : 1	8.73	0.042	0.05	D
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	218.68	0.000	0.05	D
		1 : 1	187.74	0.000	0.05	D
		2 : 1	1230.62	0.000	0.05	D
	1 : 2	ชุดควบคุม	218.68	0.000	0.05	D
		1 : 1	98.14	0.001	0.05	D
		2 : 1	565.55	0.000	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	187.74	0.000	0.05	D
		1 : 2	98.14	0.001	0.05	D
		2 : 1	2.37	0.199	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	1230.62	0.000	0.05	D
		1 : 2	565.55	0.000	0.05	D
		1 : 1	2.37	0.199	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-16 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคดเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล [*]
5. รูปสี่เหลี่ยมของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	148.30	0.000	0.05	D
		1 : 1	1107.09	0.000	0.05	D
		2 : 1	5.28	0.083	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	148.30	0.000	0.05	D
		1 : 1	8.15	0.046	0.05	D
		2 : 1	42.14	0.003	0.05	D
	1 : 1	ชุดควบคุม	1107.09	0.000	0.05	D
		1 : 2	8.15	0.046	0.05	D
		2 : 1	37.24	0.004	0.05	D
	2 : 1	ชุดควบคุม	5.28	0.083	0.05	ND
		1 : 2	42.14	0.003	0.05	D
		1 : 1	37.24	0.004	0.05	D
6. รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	ชุดควบคุม	1 : 2	11.18	0.029	0.05	D
		1 : 1	13.11	0.022	0.05	D
		2 : 1	0.34	0.592	0.05	ND
	1 : 2	ชุดควบคุม	11.18	0.029	0.05	D
		1 : 1	1.08	0.357	0.05	ND
		2 : 1	1.41	0.301	0.05	ND
	1 : 1	ชุดควบคุม	13.11	0.022	0.05	D
		1 : 2	1.08	0.357	0.05	ND
		2 : 1	0.70	0.451	0.05	ND
	2 : 1	ชุดควบคุม	0.34	0.592	0.05	ND
		1 : 2	1.41	0.301	0.05	ND
		1 : 1	0.70	0.451	0.05	ND

^{*} ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-16 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคคเมียม	กลุ่ม (โมลฟอสเฟตต่อโมลแคคเมียม)		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
7. รูปสี่เหลี่ยม	ชุดควบคุม	1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	1 : 2	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	1 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	-	-	-	-
		2 : 1	-	-	-	-
	2 : 1	ชุดควบคุม	-	-	-	-
		1 : 2	-	-	-	-
		1 : 1	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-17 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (พีเอชของดิน)

กลุ่ม	ผลการทดสอบทางสถิติ			
	F	Sig.	P	ผล*
BN	75.69	0.001	0.05	D
BN-Cu	740.72	0.000	0.05	D
BN-Pb	25621.75	0.000	0.05	D
BN-Zn	545.71	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-18 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของโลหะทั้งหมด)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
BN	แคดเมียม	7.15	0.056	0.05	ND
BN-Cu	แคดเมียม	0.529	0.507	0.05	ND
	ทองแดง	1.780	0.253	0.05	ND
BN-Pb	แคดเมียม	3.252	0.146	0.05	ND
	ตะกั่ว	0.627	0.473	0.05	ND
BN-Zn	แคดเมียม	5.097	0.087	0.05	ND
	สังกะสี	0.315	0.604	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-19 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (ความเข้มข้นของโลหะจะละลาย)

กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล [*]
BN	แคดเมียม	61.71	0.001	0.05	D
BN-Cu	แคดเมียม	312.56	0.000	0.05	D
	ทองแดง	15.48	0.017	0.05	D
BN-Pb	แคดเมียม	13.798	0.021	0.05	D
	ตะกั่ว	908.53	0.000	0.05	D
BN-Zn	แคดเมียม	142.40	0.000	0.05	D
	สังกะสี	233.52	0.000	0.05	D

^{*} ND = ยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-20 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่ไม่เติมปุ๋ยทรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต)

รูปฟอร์มของแคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล [*]
1. รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	BN	BN-Cu	8.61	0.043	0.05	D
		BN-Pb	7145.12	0.000	0.05	D
		BN-Zn	502.92	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	8.61	0.043	0.05	D
		BN-Pb	1623.02	0.000	0.05	D
		BN-Zn	308.93	0.000	0.05	D
	BN-Pb	BN	7145.12	0.000	0.05	D
		BN-Cu	1623.02	0.000	0.05	D
		BN-Zn	6916.40	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	502.92	0.000	0.05	D
		BN-Cu	308.93	0.000	0.05	D
		BN-Pb	6916.40	0.000	0.05	D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-20 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	BN-Cu	0.28	0.626	0.05	ND
		BN-Pb	37.37	0.004	0.05	D
		BN-Zn	1.87	0.243	0.05	ND
	BN-Cu	BN	0.28	0.626	0.05	ND
		BN-Pb	2666.75	0.000	0.05	D
		BN-Zn	11.25	0.028	0.05	D
	BN-Pb	BN	37.37	0.004	0.05	D
		BN-Cu	2666.75	0.000	0.05	D
		BN-Zn	307.88	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	1.87	0.243	0.05	ND
		BN-Cu	11.25	0.028	0.05	D
		BN-Pb	307.88	0.000	0.05	D
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN	BN-Cu	2.78	0.171	0.05	ND
		BN-Pb	3.17	0.150	0.05	ND
		BN-Zn	3.51	0.134	0.05	ND
	BN-Cu	BN	2.78	0.171	0.05	ND
		BN-Pb	0.07	0.812	0.05	ND
		BN-Zn	0.35	0.586	0.05	ND
	BN-Pb	BN	3.17	0.150	0.05	ND
		BN-Cu	0.07	0.812	0.05	ND
		BN-Zn	0.31	0.609	0.05	ND
	BN-Zn	BN	3.51	0.134	0.05	ND
		BN-Cu	0.35	0.586	0.05	ND
		BN-Pb	0.31	0.609	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-20 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	BN-Cu	127.96	0.000	0.05	D
		BN-Pb	5.91	0.072	0.05	ND
		BN-Zn	3.54	0.133	0.05	ND
	BN-Cu	BN	127.96	0.000	0.05	D
		BN-Pb	482.01	0.000	0.05	D
		BN-Zn	192.08	0.000	0.05	D
	BN-Pb	BN	5.91	0.072	0.05	ND
		BN-Cu	482.01	0.000	0.05	D
		BN-Zn	54.50	0.002	0.05	D
	BN-Zn	BN	3.54	0.133	0.05	ND
		BN-Cu	192.08	0.000	0.05	D
		BN-Pb	54.50	0.002	0.05	D
5. รูปอัสสัมฐานของเหล็กออกไซด์	BN	BN-Cu	8747.18	0.000	0.05	D
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	499.43	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	8747.18	0.000	0.05	D
		BN-Pb	8747.18	0.000	0.05	D
		BN-Zn	2077.92	0.000	0.05	D
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	8747.18	0.000	0.05	D
		BN-Zn	499.43	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	8747.18	0.000	0.05	D
		BN-Cu	2077.92	0.000	0.05	D
		BN-Pb	499.43	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-20 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
6. รูปผลึกของเหล็ออกไซด์	BN	BN-Cu	18.77	0.012	0.05	D
		BN-Pb	50.80	0.002	0.05	D
		BN-Zn	1.81	0.250	0.05	ND
	BN-Cu	BN	18.77	0.012	0.05	D
		BN-Pb	629.58	0.000	0.05	D
		BN-Zn	18.73	0.012	0.05	D
	BN-Pb	BN	50.80	0.002	0.05	D
		BN-Cu	629.58	0.000	0.05	D
		BN-Zn	223.99	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	1.81	0.250	0.05	ND
		BN-Cu	18.73	0.012	0.05	D
		BN-Pb	223.99	0.000	0.05	D
7. รูปที่เหลื่อ	BN	BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Cu	BN	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Zn	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-21 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการศึกษาผลของโลหะชนิดต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการปรับเสถียรแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (รูปฟอร์มของแคดเมียมที่พบในดินที่เติมปุ๋ยปรีปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต)

รูปฟอร์มของแคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล
1. รูปที่ละลายและสามารถเปลี่ยนไอออนได้	BN	BN-Cu	89.14	0.001	0.05	D
		BN-Pb	6125.01	0.000	0.05	D
		BN-Zn	421.65	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	89.14	0.001	0.05	D
		BN-Pb	3090.75	0.000	0.05	D
		BN-Zn	34.79	0.004	0.05	D
	BN-Pb	BN	6125.01	0.000	0.05	D
		BN-Cu	3090.75	0.000	0.05	D
		BN-Zn	27389.48	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	421.65	0.000	0.05	D
		BN-Cu	34.79	0.004	0.05	D
		BN-Pb	27389.48	0.000	0.05	D
2. รูปที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	BN	BN-Cu	6074.99	0.000	0.05	D
		BN-Pb	11878.33	0.000	0.05	D
		BN-Zn	1346.70	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	6074.99	0.000	0.05	D
		BN-Pb	14236.58	0.000	0.05	D
		BN-Zn	3.76	0.125	0.05	ND
	BN-Pb	BN	11878.33	0.000	0.05	D
		BN-Cu	14236.58	0.000	0.05	D
		BN-Zn	163.14	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	1346.70	0.000	0.05	D
		BN-Cu	3.76	0.125	0.05	ND
		BN-Pb	163.14	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-21 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
3. รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	BN	BN-Cu	23.12	0.009	0.05	D
		BN-Pb	6.70	0.061	0.05	ND
		BN-Zn	65.47	0.001	0.05	D
	BN-Cu	BN	23.12	0.009	0.05	D
		BN-Pb	177.71	0.000	0.05	D
		BN-Zn	18.38	0.013	0.05	D
	BN-Pb	BN	6.70	0.061	0.05	ND
		BN-Cu	177.71	0.000	0.05	D
		BN-Zn	516.48	0.001	0.05	D
	BN-Zn	BN	65.47	0.001	0.05	D
		BN-Cu	18.38	0.013	0.05	D
		BN-Pb	516.48	0.001	0.05	D
4. รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	BN	BN-Cu	404.42	0.000	0.05	D
		BN-Pb	854.54	0.000	0.05	D
		BN-Zn	8.031	0.047	0.05	D
	BN-Cu	BN	404.42	0.000	0.05	D
		BN-Pb	5004.81	0.000	0.05	D
		BN-Zn	62.70	0.001	0.05	D
	BN-Pb	BN	854.54	0.000	0.05	D
		BN-Cu	5004.81	0.000	0.05	D
		BN-Zn	274.45	0.000	0.05	D
	BN-Zn	BN	854.54	0.000	0.05	D
		BN-Cu	62.70	0.001	0.05	D
		BN-Pb	274.45	0.000	0.05	D

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-21 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล
5. รูปปลั๊กฐานของเหล็กออกไซด์	BN	BN-Cu	561.84	0.000	0.05	D
		BN-Pb	529.66	0.000	0.05	D
		BN-Zn	346.67	0.000	0.05	D
	BN-Cu	BN	561.84	0.000	0.05	D
		BN-Pb	226.12	0.000	0.05	D
		BN-Zn	49.48	0.002	0.05	D
	BN-Pb	BN	529.66	0.000	0.05	D
		BN-Cu	226.12	0.000	0.05	D
		BN-Zn	63.04	0.001	0.05	D
	BN-Zn	BN	346.67	0.000	0.05	D
		BN-Cu	49.48	0.002	0.05	D
		BN-Pb	63.04	0.001	0.05	D
6. รูปปลั๊กของเหล็กออกไซด์	BN	BN-Cu	17.03	0.015	0.05	D
		BN-Pb	24.18	0.008	0.05	D
		BN-Zn	9.79	0.035	0.05	D
	BN-Cu	BN	17.03	0.015	0.05	N
		BN-Pb	30.99	0.005	0.05	D
		BN-Zn	0.24	0.648	0.05	ND
	BN-Pb	BN	24.18	0.008	0.05	D
		BN-Cu	30.99	0.005	0.05	D
		BN-Zn	2.54	0.187	0.05	ND
	BN-Zn	BN	9.79	0.035	0.05	D
		BN-Cu	0.24	0.648	0.05	ND
		BN-Pb	2.54	0.187	0.05	ND

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H₀) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H₀)

ตารางที่ ข-21 (ต่อ)

รูปฟอร์มของ แคดเมียม	กลุ่ม		ผลการทดสอบทางสถิติ			
			F	Sig.	P	ผล*
7. รูปสี่เหลี่ยม	BN	BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Cu	BN	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Pb	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Zn	-	-	-	-
	BN-Zn	BN	-	-	-	-
		BN-Cu	-	-	-	-
		BN-Pb	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ตารางที่ ข-22 ผลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ของการประยุกต์ใช้ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟตในการปรับเสถียรแคะเมียมที่ปนเปื้อนในดินจาก ต.แม่ตาว อ.แม่สอ ด.ตาก

ปัจจัยที่ศึกษา		ผลการทดสอบทางสถิติ			
		F	Sig.	P	ผล*
พีเอชของดิน		4843.18	0.000	0.05	D
ความเข้มข้นของแคะเมียมทั้งหมด		0.206	0.673	0.05	ND
ความเข้มข้นของแคะเมียมชะละลาย		14142.46	0.000	0.05	D
รูปฟอร์มของแคะเมียม	รูปที่ละลายและสามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้	203.73	0.000	0.05	D
	รูปที่ดูดซับที่ผิวหน้าของดิน	931.16	0.000	0.05	D
	รูปที่จับกับอินทรีย์วัตถุในดิน	414.30	0.000	0.05	D
	รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์	5437.29	0.000	0.05	D
	รูปออสฐานของเหล็กออกไซด์	459.21	0.000	0.05	D
	รูปผลึกของเหล็กออกไซด์	11575.28	0.000	0.05	D
	รูปที่เหลือ	-	-	-	-

* ND = ขอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) D = ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวชัชวพร ยิ่งสมบัติ
วัน เดือน ปีเกิด	8 มกราคม พ.ศ. 2525
ที่อยู่	284 หมู่ที่ 2 ต.โพธิ์งาม อ.ประจันตคาม จ.ปราจีนบุรี 25130
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพฯ - พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
กิจกรรมระหว่างการศึกษา	
12 -14 มีนาคม พ.ศ. 2551	นำเสนอผลงานเรื่อง การปรับเสถียรแควมที่ปนเปื้อนในดิน ด้วยปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 7
12 -13 ตุลาคม พ.ศ. 2550	2 nd Euro-Asia Conference on Environment and Corporate Social Responsibilities (CSR) Towards sustainability Management
มีนาคม – พฤษภาคม 2550	การประชุมเชิงปฏิบัติการ “ระบบรายงานดัชนีชี้วัดทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสำหรับองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น”
มิถุนายน – สิงหาคม 2549	การสำรวจคุณภาพสิ่งแวดล้อมและแหล่งกำเนิดมลพิษ ในโครงการ “นักรบสิ่งแวดล้อม”
24 - 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2549	การประชุมเชิงปฏิบัติการ “สถานการณ์และแนวทางการจัดการ ขยะอิเล็กทรอนิกส์”
1 เมษายน – 15 พฤษภาคม 2547	ฝึกประสบการณ์วิชาชีพเคมี ส่วนงานพฤษเคมี ณ สำนัก วิชาการ-วิจัย องค์การสวนพฤกษศาสตร์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้