

การกระจายตัวของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน

นางสาวอนงนาฏ ศรีประโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974 – 14 – 3483 -9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DISTRIBUTION OF CADMIUM IN CONTAMINATED SOIL**

**Miss Anongnat Sriprachote**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science**

**(Interdisciplinary Program)**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 2006**

**ISBN 974 – 14 – 3483 – 9**


**Copyright of Chulalongkorn University**

**490298**

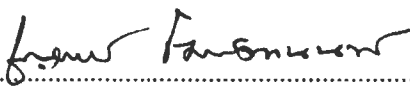
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การกระจายตัวของแคคเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน  
โดย                              นางสาวอนงนาฏ ศรีประโชติ  
สาขาวิชา                      วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      ดร. ปารมี เฟื่องปรีชา

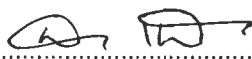
---

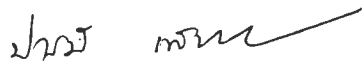
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

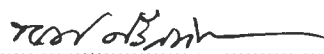
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ดิงศรัทธี)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โขมจิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร. ปารมี เฟื่องปรีชา)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา เลิศปรีชญา)

อนงนาฏ ศรีประโชติ: การกระจายตัวของแคดเมียมในดินที่มีการปนเปื้อน (DISTRIBUTION OF CADMIUM IN CONTAMINATED SOIL.) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ดร. ปารมี เพ็งปรีชา. 117 หน้า, ISBN 974-14-3483-9

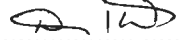
การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวและส่วนประกอบทางเคมีของแคดเมียมและสังกะสีในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ในพื้นที่บ้านพะเคะ อ.แม่สอด จ.ตาก โดยเก็บตัวอย่างดินสองแบบ คือ เก็บตัวอย่างแบบกริดที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร) ทุก 200 เมตร ในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร จำนวน 25 ตัวอย่าง แบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างออกเป็นสี่พื้นที่คือ พื้นที่ลุ่ม พื้นที่ดอนน้ำขัง พื้นที่ดอน และพื้นที่ป่า และเก็บตัวอย่างตามความลึกที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-40 เซนติเมตร ประกอบด้วยตะกอนลำห้วย ที่ลุ่ม และที่ดอนฝั่งขวาและฝั่งซ้ายลำห้วยแม่ดาว ดินควบคุมเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ปลูกข้าว 7 กิโลเมตร ไปทางทิศเหนือของบ้านพะเคะ ผลการศึกษาพบว่าดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ตลอดความลึก มีเพียงดินที่ลุ่มที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เท่านั้นที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว และดินควบคุมเป็นดินร่วน พีเอชดินมีค่าตั้งแต่ 5.39-8.22 และค่อนข้างคงที่ตลอดความลึก อินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่างร้อยละ 1.5-4.9 และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าอยู่ระหว่าง 9.7-20 เซนติเมตรต่อกิโลกรัม และมีปริมาณลดลงตามความลึกทั้งอินทรีย์วัตถุและความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดินที่ลุ่มมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินที่ดอนน้ำขังมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 536 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินตะกอนลำห้วยมีปริมาณแคดเมียมที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร เท่ากับ 70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสังกะสีเท่ากับ 1,326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่พื้นที่ดอน พื้นที่ป่า และพื้นที่ควบคุม มีปริมาณแคดเมียม อยู่ระหว่าง 0.34-2.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสีมีค่าอยู่ระหว่าง 14-272 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานสหภาพยุโรป ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีมีปริมาณลดลงตามความลึกในทุกพื้นที่ ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีทั้งหมด ( $R^2=0.950$ )

พื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอนน้ำขังแคดเมียมอยู่ในส่วนที่ดูดซับด้วยคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 50 ของผลรวมส่วนประกอบทางเคมีทั้งหมด พื้นที่ดอน พื้นที่ป่า และพื้นที่ควบคุม แคดเมียมอยู่ในส่วนที่คงเหลือในดินมากกว่าร้อยละ 60 ของผลรวมส่วนประกอบทางเคมีทั้งหมด และมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึกในทุกพื้นที่ สังกะสีในพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอนน้ำขังอยู่ในส่วนที่ดูดซับด้วยออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส และส่วนที่คงเหลือในดินมีปริมาณใกล้เคียงกัน ประมาณร้อยละ 31 ถึง 34 ของผลรวมส่วนประกอบทางเคมีทั้งหมด ดินตะกอนลำห้วย ส่วนใหญ่พบแคดเมียมและสังกะสีส่วนที่ดูดซับด้วยออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ร้อยละ 52 และ 44 ของผลรวมส่วนประกอบทางเคมีทั้งหมด เรียงตามลำดับ แคดเมียมส่วนที่พืชนำไปใช้ได้สัมพันธ์กับแคดเมียมส่วนที่ดูดซับด้วยคาร์บอนที่  $R^2=0.912$  ในขณะที่สังกะสีที่พืชนำไปใช้ได้สัมพันธ์กับสังกะสีส่วนที่ดูดซับด้วยออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ที่  $R^2=0.822$

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา 2549.....

ลายมือชื่อนิติ..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

## 4789156820: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD: CADMIUM/ZINC/CONTAMINATED/DISTRIBUTION/FRACTIONATION/SOIL

ANONGNAT SRIPRACHOTE: DISTRIBUTION OF CADMIUM IN CONTAMINATED SOIL.

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF.SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D. THESIS COADVISOR

PARAMEE PENGPRECHA, Ph.D., 117 pp. ISBN 974-14-3483-9

The study was conducted to investigate the distribution and fractionation of Cd and Zn in contaminated soil. The study area located in Pha Te village, Mae Sot district, Tak Province. Two kinds of soil sampling sites were classified into 4 location, they were lowland, waterlogged highland, highland and forest area. Were sampling first, only surface soil (0-20 cm) were collected by grid method (200m x 200 m), hence 25 samples were obtained from 1 km<sup>2</sup>. Second, sampling were according to depth (0-10, 10-20 and 20-40 cm) for sediment, lowland and highland. Control soil samples were collected from paddy field 7 km located north of Pha Te village. The results revealed that in most areas, soils had sandy clay loam throughout depths, the exceptions was 0-20 cm of lowland and control which clay loam and loam was detected. Soil pH ranged from 5.35-8.22 and same or less constant throughout the depth. Organic matter and CEC content were 1.5-4.9% and 9.7-20 cmol(+)kg<sup>-1</sup> respectively of them. Both OM and CEC had trend to decrease with depth. Total Cd and Zn at lowland and waterlogged highland were higher than acceptable limits of EU while these found on the other locations were lower. Distributions of them decreased with depth. Average contents soil surface of them from each location were 27 mg Cd kg<sup>-1</sup> and 550 mg Zn kg<sup>-1</sup> (lowland) 23 mg Cd kg<sup>-1</sup> and 536 mg Zn kg<sup>-1</sup> (waterlogged highland). Sediment soil which 0-10 cm depth was sampled, had 70 mg Cd kg<sup>-1</sup> and 1,326 mg Zn kg<sup>-1</sup>. While highland, forest and control soils contained 0.34-2.59 mg Cd kg<sup>-1</sup> and 14-272 mg Zn kg<sup>-1</sup>. Total Cd had relation with total Zn (R<sup>2</sup>=0.950).


More than 50 % of fractionation Cd from lowland and waterlogged highland was the carbonate bound. While for highland, forest and control the residual fraction dominated (> 60%). And this fraction increased with depth. For fractionation Zn of these location, the Fe&Mn oxide-bound and residual fractions somewhat similar (approximately 31 to 34%).For the sediments, the Fe&Mn oxide-bound Cd and Zn dominated (52 and 44%, respectively). Available Cd had relation with carbonated-bound fraction (R<sup>2</sup>=0.912). Available Zn had relation with Fe&Mn oxide-bound fraction (R<sup>2</sup>=0.822).

Field of Study Environmental Science.....

Academic Year 2006.....

Student's Signature 

Advisor's Signature 

Co-advisor's Signature 

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เฟื่องปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ปารมี เฟื่องปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โขมิตานนท์ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อมาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรีชญา ที่กรุณาสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรทิวา กัญยวงศ์หา ภาควิชาปรัชญาพิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์อุปการะทำการทดลอง และให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย และคุณจิรประภา เนียมปาน ภาควิชาธรณีวิทยา ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งอุปกรณ์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้บางส่วน ซึ่งมีผลทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ สถาบันชุมชนท้องถิ่นพัฒนา และประชาคมแม่สอด ที่มอบโอกาสที่ดีในการเรียนรู้ระบบชลประทานท้องถิ่นของชาวแม่สอด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำวิจัยอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณนพรัตน์ ศรีประ โขติ และ คุณชัชชัย ศรีประ โขติ พี่ชายที่แสนดีทั้งสองคน ที่ให้การอุปการะด้านทุนการศึกษา จนกระทั่งจบหลักสูตร และเป็นกำลังใจที่ดีมาตลอด

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า ทุกคนในครอบครัวศรีประ โขติ และศิริภักดิ์ และพี่น้องสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 พื้นที่ศึกษา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	7
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2. การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 สมบัติของแคดเมียมและสังกะสี.....	8
2.2 การใช้ประโยชน์.....	9
2.3 ความเป็นพิษของแคดเมียมและสังกะสี.....	9
2.4 แคดเมียมและสังกะสีในดิน.....	10
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของแคดเมียมและสังกะสีในดิน.....	16
2.6 แหล่งของแคดเมียมและสังกะสี.....	23
3. วิธีการศึกษา.....	31
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	31
3.2 วิธีการศึกษา.....	32
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
4. ผลการศึกษาและวิจารณ์.....	37
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน.....	37
4.2 ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในดิน.....	43
4.3 ส่วนประกอบของแคดเมียมและสังกะสี.....	62
4.4 ผลของพีเอชต่อการละลายของแคดเมียมและสังกะสี.....	77

5. สรุปและเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	88
ภาคผนวก ข.....	102
ภาคผนวก ค.....	106
ภาคผนวก ง.....	110
ภาคผนวก จ.....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	117



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณแคดเมียมที่พบในหินพื้นที่ต่างกัน.....	11
2.2	ปริมาณโลหะหนักในหินฟอสเฟตจากแหล่งที่ต่างกัน ที่นำมาผลิตปุ๋ยฟอสเฟต.....	25
2.3	ปริมาณฟอสฟอรัสและแคดเมียมในปุ๋ยฟอสเฟตแต่ละชนิด.....	26
2.4	แหล่งและชนิดของปุ๋ยฟอสเฟต.....	27
2.5	การปนเปื้อนของแคดเมียมในชั้นดินบนบริเวณรอบเหมืองแร่ และ โรงงานถลุงแร่.....	29
2.6	การปนเปื้อนของสังกะสีในชั้นดินบนบริเวณรอบเหมืองแร่ และ โรงงานถลุงแร่.....	30
3.1	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน.....	35
3.2	การวิเคราะห์ส่วนประกอบของแคดเมียม และสังกะสี.....	36
4.1	ค่าเฉลี่ยสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	38
4.2	ค่าเฉลี่ยปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในดิน ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	45
4.3	ค่าเฉลี่ยส่วนประกอบของแคดเมียมในดิน ที่ระดับผิวดิน(0-20 เซนติเมตร).....	63
4.4	ค่าเฉลี่ยส่วนประกอบของสังกะสีในดิน ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	71
ก-1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	89
ก-2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ที่เก็บตัวอย่างตามความลึก.....	91
ก-3	ส่วนประกอบของแคดเมียม ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	93
ก-4	ส่วนประกอบของแคดเมียม ที่เก็บตัวอย่างตามความลึก.....	95
ก-5	ส่วนประกอบของสังกะสี ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	97
ก-6	ส่วนประกอบของสังกะสี ที่เก็บตัวอย่างตามความลึก.....	99
ก-7	ปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่สกัดได้ด้วยน้ำที่มีค่าพีเอชต่างกัน.....	101
ข-1	ค่าความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน กับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมด และปริมาณแคดเมียมและสังกะสี ที่พืชดูดซับได้ ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	103
ข-2	ค่าความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ระหว่างปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดซับได้ กับส่วนประกอบของแคดเมียม ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	104
ข-3	ค่าความสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ระหว่างปริมาณสังกะสีที่พืชดูดซับได้ กับส่วนประกอบของสังกะสี ที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	105

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อของอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก.....	2
1.2	แผนที่แหล่งน้ำผิวดินอำเภอแม่สอด.....	5
2.1	กระบวนการที่เกิดขึ้นภายในดินที่มีผลต่อปฏิสัมพันธ์ของโลหะหนัก ในวัฏจักรของแข็งและของเหลว.....	13
2.2	แหล่งของแร่ธาตุเสริมและโลหะหนัก กระบวนการและปฏิกิริยาระหว่าง แร่ธาตุเสริม โลหะหนัก และสิ่งมีชีวิตในดิน.....	16
2.3	ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของแร่ดินเหนียว ดินที่มีเนื้อดินต่างกัน และอินทรีย์วัตถุ.....	19
2.4	การจำแนกส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุ.....	20
2.5	โครงสร้างของสารชีวมีค.....	21
2.6	หมู่ฟังก์ชันของสารชีวมีค.....	21
2.7	ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟอสเฟต กับ โลหะหนักในดิน.....	26
3.1	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดิน.....	33
4.1	เนื้อดินตามความลึก.....	39
4.2	การกระจายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินตามความลึก.....	41
4.3	การกระจายตัวของความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินตามความลึก.....	42
4.4	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ที่คิดเป็นร้อยละของสังกะสีทั้งหมดในแต่ละพื้นที่.....	44
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมกับสังกะสีทั้งหมดในดิน.....	46
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณแคดเมียม และสังกะสีทั้งหมดในดิน.....	48
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์วัตถุกับปริมาณแคดเมียม และสังกะสีทั้งหมดในดิน.....	49
4.8	การกระจายตัวของปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมดในดินตามความลึก.....	50
4.9	ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่คิดเป็นร้อยละของปริมาณสังกะสีทั้งหมด ตามความลึก ในดินที่ลุ่ม.....	52
4.10	ปริมาณแคดเมียมที่ลดลงตามความลึก สัมพันธ์กับปริมาณสังกะสี ที่ลดลงตามความลึก ในดินตะกอนลำห้วยและดินที่ลุ่ม.....	53
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดคั่งได้ กับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมด.....	54
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดคั่งได้.....	55

4.13	ความสามารถในการสกัดได้ด้วยสารสกัด DTPA ของแคดเมียมและ สังกะสีที่พืชดูดซับได้ เมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในแต่ละพื้นที่.....	56
4.14	การกระจายตัวของแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดซับได้ ตามความลึก.....	58
4.15	ความสามารถสกัดได้ด้วยสารสกัด DTPA ของแคดเมียมและสังกะสีที่พืชดูดซับได้ เมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีทั้งหมด ตามความลึกในดินควบคุม.....	59
4.16	ความสามารถในการสกัดได้ด้วยสารสกัด DTPA ของแคดเมียม และสังกะสีที่พืชดูดซับได้ เมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมและสังกะสีในพื้นที่ลุ่ม.....	60
4.17	การกระจายตัวของส่วนประกอบทางเคมีของแคดเมียมในดินที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	62
4.18	การจัดกลุ่มส่วนประกอบของแคดเมียมเรียงจากมากไปหาน้อย.....	65
4.19	การกระจายตัวตามความลึกของส่วนประกอบของแคดเมียม.....	67
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างแคดเมียมส่วนที่ดูดซับด้วยคาร์บอนเนต กับปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดซับได้.....	68
4.21	การกระจายตัวของส่วนประกอบของสังกะสีในดินที่ระดับผิวดิน (0-20 เซนติเมตร).....	70
4.22	การจัดกลุ่มส่วนประกอบของสังกะสีเรียงจากมากไปหาน้อย.....	73
4.23	การกระจายตัวตามความลึกของส่วนประกอบของสังกะสี.....	75
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างสังกะสีส่วนที่คงเหลือในดินกับปริมาณสังกะสีที่พืชดูดซับได้.....	76
4.25	ผลของพีเอชต่อปริมาณการสกัดได้ของแคดเมียมและสังกะสี.....	77