



วิทยานิพนธ์

การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว
ในดินตะกอน บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด

**DISTRIBUTION OF CADMIUM, COPPER AND LEAD IN THE
SEDIMENTS OF TRAT BAY, TRAT PROVINCE**

นางสาวศิริมาศ ลิทธิกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

วิทยาศาสตร์ทางทะเล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน บริเวณอ่าวตราด
จังหวัดตราด

Distribution of Cadmium, Copper and Lead in the Sediments of Trat Bay, Trat Province

นามผู้วิจัย นางสาวศิริมาศ สิริธรรม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์วิเทศ ศรีเนตร, D.Sc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์จรัมพร เมฆสัมพันธ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันท์ ภัทรจินดา, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อากงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน
บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด

Distribution of Cadmium, Copper and Lead in the Sediments of Trat Bay, Trat Province

โดย

นางสาวศิริมาศ สิทธิกรม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)

พ.ศ. 2550

ศิริมาศ สิทธีกรม 2550: การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ, Ph.D. 184 หน้า

การศึกษาปริมาณและการแพร่กระจายของแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสารอินทรีย์รวมตามแนวโค้งในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 18 สถานี โดยเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง คือ เดือนกันยายน พ.ศ. 2546 และเดือนเมษายน พ.ศ. 2547 พบว่า ค่าเฉลี่ยที่ผิวหน้าดินตะกอนของแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสารอินทรีย์รวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.07 , 21.32 ± 10.33 , 10.82 ± 4.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และ ร้อยละ 7.33 ± 3.38 และพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนมีการสะสมสูงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวมากกว่าฝั่งตะวันออก ซึ่งลักษณะดินตะกอนจะเป็นทรายเป็นส่วนใหญ่ การแพร่กระจายตามแนวโค้งของความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน พบว่า ทองแดง และตะกั่ว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีต บ่งชี้ให้เห็นว่าการปนเปื้อนที่สูงขึ้นจากอดีตในดินตะกอนผิวหน้าเมื่อเทียบกับดินตะกอนชั้นที่ลึกลงไป ส่วนแคดเมียมไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนแคดเมียม และทองแดง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่า สารอินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตะกั่วมากที่สุด รองลงมาคือ ทองแดง ส่วนแคดเมียม พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์รวม และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในแต่ละฤดูกาล พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียม ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนความเข้มข้นของทองแดง และตะกั่ว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Sirimas Siththikrom 2007: Distribution of Cadmium, Copper and Lead in the Sediments of Trat Bay, Trat Province. Master of Science (Marine Science), Major Field: Marine Science, Department of Marine Science. Thesis Advisor: Associate Professor Saran Petpiroon, Ph.D. 184 pages.

Studies on distribution and depth profile of Cd, Cu, Pb and total organic matter (TOM) in the sediments of Trat Bay, Trat Province were carried out in the samples collected from 18 stations in September 2003 and April 2004. It was found that average concentrations of Cd, Cu, Pb and total organic matter in the surface sediments were 0.06 ± 0.07 , 21.32 ± 10.33 , 10.82 ± 4.67 mg/kg dry weight and 7.33 ± 3.38 percent, respectively. Generally, higher concentrations of heavy metals were found in the sediments of the western shore than those of the eastern shore. This is due to the sandy sediments along the eastern bay. Vertical distributions of Cu and Pb showed higher concentrations which increased in the surface sediments as compared to the deeper sediments, indicating higher metal contamination in the present time than the past. The concentrations of Cd in the sediments showed no significant change.

Comparison on statistical difference of heavy metals and organic matter concentrations in each sampling stations revealed that Pb was significantly different ($P = 0.05$ level), but Cd, Cu and TOM showed no statistical difference. There is a correlation between TOM and heavy metals concentrations; TOM showed higher significant correlation with Pb than with Cd, but TOM was not significantly correlated with Cu.

Comparison on statistical difference of heavy metals concentrations in each sampling seasons revealed that only Cd was significantly different ($P = 0.05$ level), but Cu and Pb showed no statistical difference.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ ประธานกรรมการ
ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อความ
สมบูรณ์แห่งวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ กรรมการสาขาวิชาเอก ที่
ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดเวลาทำการวิจัย อาจารย์ ดร.วิเทศ ศรีเนตร กรรมการสาขาวิชาเอก
ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำทั้งยังอำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่สำหรับวิเคราะห์
ตัวอย่าง รองศาสตราจารย์ ดร.จารุมาศ เมฆสัมพันธ์ กรรมการสาขาวิชารอง ที่กรุณาให้ความรู้
และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ดร. วรันทด ดุลยพฤกษ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำ
และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร.พรศรี สุธนารักษ์ หัวหน้าฝ่ายสิ่งแวดล้อมและห้องปฏิบัติการ ที่ให้ความ
อนุเคราะห์ใช้สถานที่และเครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก (Atomic Absorption
Spectrophotometer, AAS) ขอขอบคุณ คุณวุฒิไกร วามสิงห์ คุณสมพร วงศ์พรม คุณวิรัชศักดิ์ รักษาดี
เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ ที่กรุณาให้ความรู้ในเรื่องเทคนิคการวิเคราะห์
และข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวสัทธิดา พิธี นื่อง ๆ
รวมทั้งเพื่อน ๆ คณะประมง ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ศิริมาศ สัทธิดา

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	46
ผล	46
วิจารณ์	73
สรุปและข้อเสนอแนะ	117
สรุป	117
ข้อเสนอแนะ	119
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	120
ภาคผนวก	132

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าอัตราการสะสมของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิต	17
2	ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก ของจังหวัดตราด ปี 2537-2542	32
3	อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของจังหวัดตราด ปี 2537-2542	32
4	ปริมาณการผลิตแร่ จำแนกตามชนิด ปี 2544-2547	35
5	จำนวนสถานประกอบการอุตสาหกรรม จำแนกตามประเภทอุตสาหกรรม พ.ศ. 2544-2547	37
6	สถานีเก็บตัวอย่างแสดงพิกัด รายละเอียดจุดเก็บ และลักษณะพื้นที่ท้องทะเล	41
7	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ) และ โลหะหนัก (ppm) ในดินตะกอนผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) บริเวณอ่าวตราด ในแต่ละฤดูกาล	71
8	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) และ โลหะหนัก (ppm) ในดินตะกอนผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) บริเวณอ่าวตราด จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง	71
9	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) และ โลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง	72
10	เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับบริเวณอื่น	103
11	เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับเกณฑ์มาตรฐาน	105
12	เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับประเทศต่าง ๆ	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของทองแดง	178
2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของตะกั่ว	178
3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณน้ำในดิน	178
4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม	179
5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของ แคลเซียม	179
6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ แคลเซียมในดินตะกอนระดับผิวหน้า	180
7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์ รวมในดินตะกอนระดับผิวหน้า	180
8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ตะกั่วในดินตะกอนระดับผิวหน้า	181
9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ทองแดงในดินตะกอนระดับผิวหน้า	181
10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำใน ดินตะกอนระดับผิวหน้า	182
11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's rho) ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวม ต่อความเข้มข้นของแคลเซียม และทองแดง	183
12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson) ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมต่อ ความเข้มข้นของตะกั่ว	184

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การกระจายตัวของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม	6
2	แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จ. ตราด	42
3	การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล	49
4	การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)	50
5	การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล	51
6	การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)	52
7	การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล	57
8	การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)	58
9	การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล	59
10	การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)	60
11	การแพร่กระจายของปริมาณน้ำเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	การแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ใน ฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)	64
13	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและแคลเซียม	68
14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและทองแดง	68
15	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและตะกั่ว	69
16	ความเข้มข้นของแคลเซียมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บ ตัวอย่างแต่ละฤดูกาล	76
17	ความเข้มข้นของแคลเซียมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บ ตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	76
18	ความเข้มข้นของทองแดงที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บ ตัวอย่างแต่ละฤดูกาล	77
19	ความเข้มข้นของทองแดงที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บ ตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	77
20	ความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง แต่ละฤดูกาล	78
21	ความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ฤดูกาล	78
22	ความเข้มข้นของแคลเซียมในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	83
23	ความเข้มข้นของทองแดงในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	89
24	ความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	95
25	ปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง แต่ละฤดูกาล	108
26	ปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ฤดูกาล	108

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
1 ความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	134
2 ความเข้มข้นของทองแดง (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	143
3 ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	152
4 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	160
5 ปริมาณน้ำในดิน (ร้อยละ) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล	169

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ppm	=	มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (parts per million)
ppb	=	ไมโครกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (parts per billion)
TOM	=	ปริมาณสารอินทรีย์รวม (Total Organic Matter)
Nd	=	ไม่สามารถตรวจวัดได้ (Non detect)

**การแพร่กระจายของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน
บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด**

**Distribution of Cadmium, Copper and Lead in the Sediments of Trat Bay,
Trat Province**

คำนำ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเลในปัจจุบัน โดยทั่วไปมีผลมาจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีอันเป็นเหตุทำให้โลหะหนักถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น อาทิเช่น การใช้ปรอทในกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ในโรงงานผลิตคลอรีนและโซเดียมคลอไรด์ ใช้แคดเมียมในการชุบโลหะ ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู การผลิตแบตเตอรี่ และอื่น ๆ การใช้โลหะทองแดงในการหลอม เชื่อม หรือบัดกรีโลหะ และการใช้ตะกั่วในโรงงานผลิตสีและหมึกพิมพ์ต่าง ๆ เป็นต้น ทำให้โลหะเกิดการแพร่กระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้นทั้งในรูปที่เป็นไอหรือควันและในรูปที่เป็นสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ของโลหะที่เจือปนอยู่ในน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ รวมทั้งในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและแหล่งท่องเที่ยวก็จะถูกพัดพาลงสู่ทะเล (พัชรา, 2531) ซึ่งทะเลเป็นแหล่งสุดท้ายที่จะรองรับของเสียจากแหล่งต่าง ๆ โดยมีอาจหลีกเลี่ยงได้จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของโลหะหนักเข้าสู่ดินตะกอนพื้นทะเลบริเวณนั้น ๆ

อ่าวตราด เป็นบริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออกของประเทศไทยซึ่งมีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด มีทางติดต่อกับทะเลเปิดอย่างอิสระตรงบริเวณปากอ่าว พื้นที่ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดตราด มีเนื้อที่ประมาณ 200 ตารางกิโลเมตร ทางด้านบนของอ่าวและบริเวณรอบ ๆ อ่าวมีแม่น้ำและลำคลองหลายสายที่ไหลลงสู่อ่าวตราด โดยเฉพาะแม่น้ำตราด ซึ่งเป็นแม่น้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดตราด มีความยาว 150 กิโลเมตร ไหลผ่านหลายอำเภอ ทำให้แม่น้ำสายนี้เป็นแหล่งรองรับน้ำจืด สิ่งขี้ด่างต่าง ๆ จากชุมชน และมีตะกอนจำนวนมากที่มากับแม่น้ำสายนี้ โดยเฉพาะในเขตตำบลบ่อพลอย และตำบลหนองบอน อำเภอบ่อไร่ ซึ่งเป็นแหล่งขุดพลอยที่สำคัญของจังหวัดตราด แล้วไหลลงผ่านอำเภอเขาสมิง อำเภอเมืองตราด ลงสู่ทะเลบริเวณบ้านปากคลอง อำเภอเมืองตราด ผลจากการขุดล้างพลอยนี้ทำให้เกิดการชะล้างตะกอนต่าง ๆ จาก

แผ่นดิน ส่งผลทำให้เกิดการแพร่กระจายของโลหะออกไปสู่สภาวะแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะการแพร่กระจายเข้าสู่ตะกอนพื้นท้องทะเล ซึ่งตะกอนจะเป็นแหล่งสะสมหรือจมตัวของโลหะและสารมลพิษอื่น ๆ จึงทำให้พื้นที่อ่าวตราดอาจกลายเป็นแหล่งสะสมมลพิษทางด้านโลหะหนักที่สะสมอยู่ในดินตะกอน

ดังนั้นจึงควรที่จะมีการศึกษาถึงการแพร่กระจายของปริมาณโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด กับปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนและความแตกต่างในแต่ละฤดูกาลกับการสะสมของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์และฤดูกาลมีผลกับปริมาณการสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน และเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้กับปริมาณของโลหะหนักในดินตะกอน ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อม ตลอดจนนำไปใช้ในการวางแผนในการป้องกันและพัฒนามาตรการควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่ทะเล รวมถึงการป้องกันปัญหามลพิษทางทะเลที่อาจจะเกิดต่อไปได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการแพร่กระจายของปริมาณโลหะหนักบางชนิด ได้แก่ แคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
2. ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละฤดูกาลของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด

การตรวจเอกสาร

โลหะหนัก

โลหะหนัก (heavy metals) หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป และมีเลขอะตอม 22 - 34 และ 40 - 52 ตัวอย่างเช่น โปรท แคดเมียม สังกะสี ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เหล็ก แมงกานีส ฯลฯ โลหะหนักถือว่าเป็นโลหะปริมาณน้อย (trace metals) ซึ่งส่วนมากจะอยู่ในกลุ่มทรานสิชัน (transition elements) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ ที่อยู่ในกลุ่มของธาตุรีฟริเซน เททิฟ (representative elements) คือ ตะกั่ว สารหนู พลวง และซีลีเนียม โลหะหนักสามารถก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ และดินตะกอน เนื่องจากมีความคงตัว ไม่สลายตัว โดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้บางส่วนสามารถสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารได้ (Logan and Feltz, 1985) ซึ่งผลทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป การปนเปื้อนของโลหะหนักในแหล่งน้ำมีสาเหตุเกิดจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การพังทลายของหิน และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ชุมชนเกษตรกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปัจจัยร่วมทั้งสอง เช่น ในฤดูมรสุมน้ำฝนที่ไหลผ่านชุมชนโดยเฉพาะบริเวณที่มีการคมนาคมหนาแน่น จะมีปริมาณโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนในบริเวณนั้นมาก แต่ทั้งนี้โลหะหนักที่พบในแหล่งน้ำส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์

ร่มไทร (2538) ให้ความหมายของโลหะหนักไว้ว่า หมายถึง โลหะที่มีน้ำหนักอะตอมมาก ๆ โดยปกติแล้วจะมากกว่า 100 ตัวอย่างเช่น โปรท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และพลูตอนเนียม ในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำโลหะหนักมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ในขณะเดียวกันโลหะหนักก็ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมอย่างมาก และสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สมอง ตับ และไต ของสัตว์จะเกิดการสะสมเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งก่อความเป็นพิษต่อเจ้าของเซลล์ที่มันไปสะสมอยู่ จำนวนเพียงน้อยนิดของโลหะหนัก ($1-2 \times 10^{-6}$ กรัม) ก็สามารถก่อให้เกิดอันตรายได้

1. แหล่งกำเนิดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

การดี (2541) กล่าวถึง แหล่งกำเนิดของโลหะหนักที่พบในสิ่งแวดล้อมมาจาก 7 แหล่งด้วยกันคือ

1.1 การชะล้างจากแผ่นดิน โลหะหนักที่ได้จากแหล่งนี้ถือว่าเป็นค่า background level ของบริเวณนั้น ๆ ซึ่งพบว่าพื้นที่ใดเป็นแหล่งแร่ของโลหะหนักก็จะพบว่าน้ำในบริเวณนั้น มีโลหะหนักชนิดนั้น ๆ สูงด้วย

1.2 อุตสาหกรรมถลุงแร่โลหะ ในระหว่างการถลุงแร่จะมีโลหะหนักปนออกมากับน้ำทิ้งด้วยเสมอ

1.3 การใช้โลหะและสารประกอบโลหะในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เกล็ดของโครเมียมในการฟอกหนัง ใช้สังกะสีในการทำท่อ เป็นต้น ก็เป็นที่มาของโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ

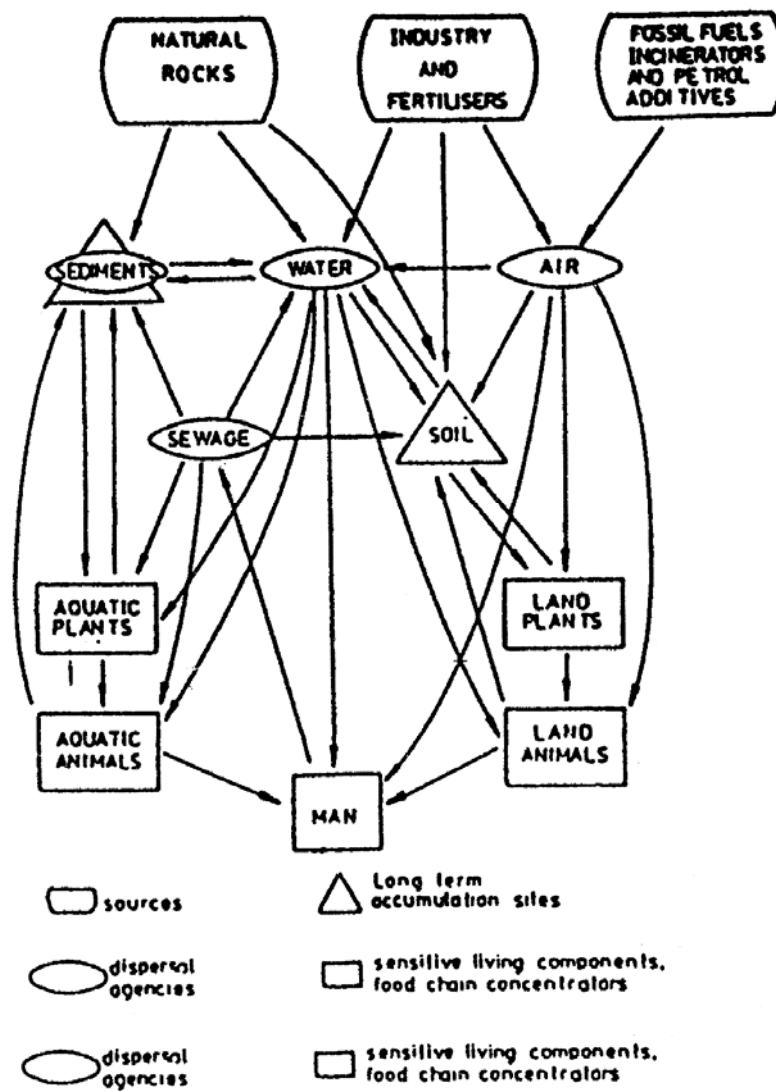
1.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิง การผลิตปูนซีเมนต์และอิฐบล็อก เชื้อเพลิงประเภทถ่าน น้ำมัน จะมีโลหะหนักบางตัวสูง เช่น สารหนู สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล ในการผลิตซีเมนต์พบว่าการปล่อยโลหะหนัก สังกะสี ตะกั่ว และสารหนูด้วย นอกจากนั้นยังพบว่าบริเวณรอบ ๆ ที่มีสิ่งก่อสร้างประเภทอิฐจะมีโลหะหนักสะสมอยู่ด้วยค่อนข้างสูง

1.5 โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น พบอลูมิเนียมจากโรงงานทำภาชนะพวกอลูมิเนียมและโรงงานอัลลอยด์ สารหนูจากโรงงานผลิตสารฆ่าแมลง แคดเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานทำสีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โครเมียมจากโรงงานชุบโลหะ โรงงานสีและสารฆ่าแมลง ตะกั่วจากโรงงานแบตเตอรี่ โรงงานสี และโรงกลั่นน้ำมัน แมงกานีสจากโรงงานสี โรงงานผลิตแบตเตอรี่แห้งและโรงงานอัลลอยด์ นิกเกิลจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานอัลลอยด์ พลวงจากโรงงานสี โรงย้อมสีและสารฆ่าแมลง เงินจากอุตสาหกรรมการผลิตและล้างฟิล์ม และโรงงานชุบโลหะ สังกะสีจากโรงงานชุบโลหะและโรงงานทำสี เป็นต้น

1.6 ยวดยานพาหนะ เป็นแหล่งใหญ่ในการเกิดการสะสมตัวของตะกั่วในบรรยากาศ และในแหล่งชุมชน

1.7 การรั่วออกจากขยะ การรั่วของโลหะหนักจากขยะจะมีผลมากต่อแหล่งน้ำบนบกหรือบริเวณชายฝั่งทะเล

โลหะที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ ดังกล่าวจะกระจายตัวในสิ่งแวดล้อมและสุดท้ายจะสะสมในตัวคน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม
ที่มา: ผกา (2535)

2. การสะสมของโลหะหนัก

สารพิษโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เมื่ออยู่ในแหล่งน้ำสามารถสะสมตัวอยู่กับตัวกลาง เช่น ดิน ตะกอน พืช สัตว์น้ำ หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระได้ในปริมาณต่าง ๆ กัน โลหะหนักที่ปะปนหรือสะสมอยู่กับตัวกลางเหล่านี้ สามารถที่จะเปลี่ยนรูปหรือเคลื่อนย้ายไปตามห่วงโซ่อาหารได้ ลักษณะการสะสมหรือการเคลื่อนย้ายในตัวกลางแต่ละชนิดในแหล่งน้ำสามารถแยกได้ดังนี้

2.1 การสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

โลหะหนักที่สะสมในแหล่งน้ำ มีทั้งในรูปที่ละลายน้ำ (dissolved) และอยู่ในรูปสารแขวนลอย (suspended solid) ซึ่งความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยและในรูปที่ละลายน้ำแตกต่างกัน โดยเฉพาะในรูปสารแขวนลอยจะมีระยะเวลาเฉลี่ยที่สารนั้นอยู่ในน้ำก่อนที่จะออกไปสู่ทะเล (residence time) ยาวนานกว่ารูปที่ละลายน้ำ และจากการที่น้ำมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาจึงทำให้เกิดตะกอนได้น้ำลอยตัวขึ้น (resuspension) จึงมีทั้งขบวนการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน (อภิชาติ, 2536)

2.2 การสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน

โลหะปริมาณน้อยหรือโลหะหนักจะถูกพัดพาลงสู่ทะเลโดยกระบวนการทางธรรมชาติได้แก่ การชะล้างเกลือแร่ที่อยู่บนพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ หรือเป็นโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุในธรรมชาติตามสภาพทางธรณีวิทยา แล้วละลายออกมาปะปนอยู่ในน้ำได้ (พัชรา, 2531) และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้และการปล่อยโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำอันเป็นผลมาจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์โดยผ่านทางน้ำ การชะล้างแผ่นดิน การทิ้งของเสีย และโดยการผ่านทางอากาศ โดยโลหะหนักจะจมตัวจากอากาศลงสู่ผิวน้ำทะเลด้วยขบวนการจมตัวแบบเปียกและแห้ง การฟุ้งก่อดร่อนของหิน การระเบิดของภูเขาไฟ และการละลายออกมาจากตะกอนในทะเล โดยทั่วไปโลหะหนักสามารถเกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยมีความเข้มข้นสูงกว่าที่มีอยู่ในน้ำมาก เนื่องจากมีกระบวนการเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ องค์ประกอบในดินตะกอนที่มีผลต่อการสะสมของโลหะหนักได้แก่

พวกคาร์บอเนตและออกไซด์ของแมงกานีส และเหล็ก ตลอดจนองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่าง ๆ (จิระ, 2526)

โลหะปริมาณน้อยเหล่านี้เมื่อระบายลงสู่ทะเลส่วนหนึ่งจะยังคงละลายในน้ำ และอีกส่วนสะสมอยู่ในชั้นบาง ๆ ที่ผิวหน้า หรือถูกดูดซับไว้บนสารแขวนลอยแล้วค่อย ๆ ตกตะกอนออกจากน้ำไปสู่พื้นล่าง อย่างไรก็ตามแม้ว่ามันจะตกตะกอนไปแล้ว ก็ยังมีโอกาสที่โลหะปริมาณน้อยเหล่านี้จะกลับคืนสู่น้ำได้อีกโดยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีววะ ดังนั้นตะกอนจึงทำหน้าที่เหมือนบัฟเฟอร์และสามารถสะสมโลหะต่าง ๆ ไว้ได้นาน แม้ว่าการปล่อยโลหะลงสู่ น้ำทะเลจะได้หยุดลงแล้ว ระดับของโลหะในตะกอนบริเวณต่าง ๆ จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของกลุ่มน้ำที่ไหลผ่าน และพัดพาตะกอนลงมา ซึ่งบริเวณที่มีการขุดแร่หรือเป็นแหล่งแร่ก็จะมีปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนค่อนข้างสูง (ชินชาติ, 2543) อุตสาหกรรมหลายประเภทปล่อยโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลไม่ค่อยแสดงการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากภาวะมลพิษ ยกเว้นในน้ำบริเวณที่ใกล้เคียงกับแหล่งปล่อยโลหะเท่านั้น อย่างไรก็ตามโลหะที่มีในตะกอนและสิ่งมีชีวิตแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากกว่า (มนูวดี, 2532)

Chester and Vontsinon (1981) ทำการแยกโลหะหนักในดินตะกอนออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Residual heavy metal ประเภทนี้จัดเป็นโลหะหนักที่มี crystal lattice ของ silicate matrix สะสมอยู่ในดินตะกอน และโลหะหนักส่วนนี้ เนื่องจากอยู่ใน crystal lattice ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากในธรรมชาติ

2. Non - residual heavy metal เป็นโลหะหนักที่เกิดจากขบวนการดูดซับ (adsorption) ระหว่างอนุภาคของโลหะหนักกับอนุภาคดินตะกอน โดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ในดินตะกอน (organotalllic complex) ซึ่งโลหะหนักส่วนนี้สามารถเกิดการละลายออกมาในรูปของสารประกอบละลายอยู่ในน้ำ

จิระ (2526) พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ผิวหน้าดินตะกอน (0 – 5 เซนติเมตร) บริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนบนมีการสะสมใกล้เคียงกัน บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นบริเวณที่มีการสะสมโลหะหนักสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อห่างจากปากแม่น้ำออกไป และยังพบว่าบริเวณ

อ่าวไทยตอนบนทางด้านใต้มีปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนใกล้เคียงกับปริมาณที่เกิดขึ้นเองจากกระบวนการทางธรรมชาติ และบริเวณอ่าวไทยทางตอนเหนือมีการสะสมโลหะหนักสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์

สนิท (2542) กล่าวว่า โลหะหนักในน้ำโดยทั่วไปมักถูกดูดซับอยู่กับตะกอนแขวนลอยซึ่งจะตกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ (estuary) เมื่อมีการผสมผสานระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล และเกิดการลดความเร็วของกระแสน้ำในบริเวณดังกล่าว จึงทำให้พบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนสูงกว่าในน้ำบริเวณนั้นเสมอ นอกจากนี้ในน้ำที่ความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โลหะหนักจะจับกับสารอินทรีย์พวกฮิวมัส ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งมีอยู่ปริมาณมากในแหล่งน้ำเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ทำให้ไม่ละลายอยู่ในน้ำได้ต่อไป และจมตัวสะสมกันอยู่ในตะกอนเบื้องล่าง ในภาวะที่ดินไร้ออกซิเจนและมีปริมาณซัลไฟด์สูง โลหะหนักจะถูกรีดิวซ์เกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามแหล่งน้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของน้ำหรือดินตะกอนเป็นสภาวะไร้ออกซิเจนได้ ในสภาวะดังกล่าว เหล็กและแมงกานีสจะเปลี่ยนจากสภาวะออกซิเดชันสเตตสูงไปเป็นต่ำ ทำให้เหล็กและแมงกานีสละลายกลับคืนสู่แหล่งน้ำได้อีกครั้ง และในขณะเดียวกันก็จะปล่อยโลหะหนักตัวอื่นที่เคยถูกจับเอาไว้ ออกสู่แหล่งน้ำด้วย

2.3 การสะสมของโลหะหนักในพืชน้ำ

พืชน้ำจะสะสมโลหะหนักด้วยการดูดซับจากน้ำโดยตรงซึ่งพืชน้ำจะไม่สามารถควบคุมปริมาณโลหะหนักในตัวเองได้ และปริมาณการสะสมจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นสำคัญ รวมถึงอายุและชนิดของพืชน้ำเหล่านั้นด้วย ทั้งนี้พืชน้ำต่างชนิดกันก็จะมีการสะสมปริมาณโลหะหนักได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากความต้องการโลหะหนัก ความสามารถในการดูดซึมโลหะหนัก รวมทั้งความคงทนต่อการขาดแคลนโลหะหนักและความเป็นพิษของโลหะหนักแตกต่างกัน อีกทั้งรูปร่างเคมีของโลหะหนัก จะมีผลต่อการดูดซึมโลหะหนักของพืชด้วย โดยพบว่าพืชสามารถดูดซึมและสะสมโลหะหนักในรูปเกลืออนินทรีย์ได้ดีกว่าโลหะที่เป็นสารประกอบของกาบตะกอน (Chaney, 1982) และสามารถดูดซึมแคดเมียม สังกะสี และทองแดง ได้ดีกว่าตะกั่ว ปรอท และโครเมียม

2.4 การสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำส่วนใหญ่ได้รับโลหะหนักเข้าไปโดยการกินอาหาร การสะสมของโลหะหนักโดยการดูดซึมจากน้ำเข้าไปโดยตรงเป็นไปได้น้อยมาก และการสะสมของโลหะหนักในสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นตามลำดับการบริโภค (trophic level)

3. การเจือจางของโลหะหนักในแหล่งน้ำ

ปริมาณโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ เมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำแล้ว นอกจากจะถูกทำให้เจือจางลงและกระจายตัวออกไปแล้ว ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเหล่านี้ยังอาจลดลงได้ด้วยขบวนการต่าง ๆ ดังนี้ (ผกา, 2535)

3.1 ขบวนการทางเคมี (การตกตะกอน (precipitation))

ถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงกว่าค่าการละลายได้ (solubility) ของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (soluble compound) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโลหะหนักกับแอนไอออนในน้ำ เช่นพวก carbonate, hydroxyl หรือ chloride จะทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น อย่างไรก็ตามในแหล่งน้ำที่มีภาวะมลพิษอันเนื่องมาจากในน้ำมีสารอินทรีย์อยู่มาก ทำให้น้ำในบริเวณนั้นมีออกซิเจนละลายอยู่น้อย โลหะจำพวกสังกะสี ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และเงิน จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก การตกตะกอนก็จะเกิดขึ้นมาก นอกจากนี้ยังพบว่าในสภาพที่เป็นค่าการตกตะกอนของโลหะเหล่านี้จะเกิดได้ดีขึ้นด้วย

3.2 ขบวนการทางกายภาพ (การดูดซับ (adsorption) และการดูดกลืน (absorption))

โลหะในแหล่งน้ำสามารถถูกกำจัดได้โดยการดูดซับไว้ที่ผิวของตะกอนในน้ำ เช่น แพลกตอน ดิน สาร hydrated ferric oxide และ hydrated magnesium oxide และพร้อมที่จะตกตะกอนลงมา

3.3 ขบวนการทางชีวภาพ (การกระจายออกมาใหม่ (redistribution) ด้วยสิ่งมีชีวิตในน้ำ (bioturbation))

เป็นขบวนการชีววิทยาในการกำจัดโลหะหนัก เช่น พวกสัตว์หน้าดินจะไปช่วยเร่งให้อนุภาคต่าง ๆ ของสารรวมทั้งโลหะหนักให้เกิดการรวมตัวกัน โดยวิธีการกินเข้าไปแล้วแพร่กระจายออกมาใหม่ด้วยการถ่ายออกมากับอุจจาระหรือโดยการลอกคราบทิ้ง รวมทั้งพวกซากพืชและสัตว์ที่ตายในทะเล

4. สมบัติทั่วไปและความเป็นพิษของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

สมบัติทั่วไปและความเป็นพิษของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง มีรายงานดังต่อไปนี้

4.1 แคดเมียม (Cadmium, Cd)

ลักษณะและคุณสมบัติของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะอ่อนสีเงินอยู่ในหมู่ II B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 มวลอะตอม 112.40 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 767 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 8.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 (จันทร์ศรี, 2539) แคดเมียมเป็นโลหะที่อ่อนมาก ถ้าให้ความร้อนแก่แคดเมียมในอากาศ แคดเมียมจะระเหยได้ง่ายและสามารถถูกไหม้เป็นเปลวไฟสว่าง (ชัยวัฒน์ และพิมล, 2525)

แหล่งกำเนิด

แคดเมียมเป็นธาตุที่ค่อนข้างหายากในธรรมชาติ มักอยู่ในรูปของสารประกอบซัลไฟด์เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (cadmium sulfide : CdS) ในรูปของสินแร่ greenockite หรืออีกลักษณะหนึ่งคือปะปนในปริมาณน้อยอยู่กับแร่สังกะสีทุกชนิด ดังนั้นโลหะแคดเมียมส่วนใหญ่จึงเป็นผลพลอยได้จากการถลุงสินแร่สังกะสี (จันทร์ศรี, 2539)

จากการศึกษาแคดเมียมในระบบสิ่งแวดล้อมโลกพบว่า มีแคดเมียมที่ผิวดินประมาณ 6.6×10^{13} กรัม ในบรรยากาศมีประมาณ 1.5×10 กรัม ในมหาสมุทรประมาณ 1.1×10^{14} กรัม ในดินตะกอนมีประมาณ 2.5×10^{18} กรัม ในชีวลัย (biosphere) อยู่ในส่วนที่เป็นแผ่นดินประมาณ 7.2×10^{10} กรัม อยู่ในส่วนที่เป็นทะเลประมาณ 1.2×10^{10} กรัม ซึ่งทั้งหมดนี้มีหน่วยการละลาย (flux unit) 10 กรัมต่อปี (Nriagu, 1980)

การนำมาใช้ประโยชน์

1. ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสม (alloy) เพื่อเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกกร่อน เช่น

1.1 alloy ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1 % (cadmium bronze) ใช้ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

1.2 alloy ของทองแดงและตะกั่วซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20 % ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (printing plates)

1.3 ใช้ผสมกับโลหะอื่นในกิจการเพชรพลอย เช่น ผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75 % เงิน 16.6 %) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง)

1.4 ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูง ๆ ในการผสมกับโลหะอื่นให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (semiconductor) เช่น cadmium arsenide, cadmium antimonide และ cadmium telluride

2. ใช้ในการชุบโลหะ ใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียมโดยการชุบด้วยโลหะ โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ

3. ใช้เป็นเม็ดสีในกิจการอุตสาหกรรม สารประกอบของแคดเมียมที่ใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สีอีนาเมล (enamels) เซรามิก ขาง แก้ว ผ้า เส้นใย หนังสือพิมพ์ และพลาสติก

4. ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิเกิล เป็น cadmium-nickel battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายภาพ เครื่องโกนหนวด เป็นต้น

5. ใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ เช่น

- 5.1 ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา (fungicides)
- 5.2 ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียส
- 5.3 ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์
- 5.4 ใช้ในการถลุงแร่

การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม (Pathway into the environment)

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ได้แบ่งแหล่งที่มาของการแพร่กระจายของแคดเมียมไว้ดังนี้

1. จากอุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี (ได้แก่ การทำเหมือง การหลอมและถลุง) อุตสาหกรรมแคดเมียม ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น ไอ (fume) น้ำเสีย กากตะกอน (sludge) ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา
2. จากโรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100 – 500 ppm และมีโลหะหนักอื่น ๆ รวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย
3. จาก primary iron and steel industry และ secondary non-ferrous metal industry อุตสาหกรรมประเภทนี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอน ที่มีแคดเมียมปนออกมา
4. จากการเผาของเสีย (incineration) การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่น พลาสติก เม็ดสี โลหะเคลือบ เศษเหล็ก เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูป cadmium aerosols เช่น cadmium oxide (CdO)
5. จากขารถยนต์ที่สึกหรอ ขารถยนต์จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20 – 90 ppm โดยเป็นสิ่งเจือปน (impurity) ใน zinc oxide ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง

6. จากปุ๋ยฟอสเฟต ปุ๋ยฟอสเฟตมีแคดเมียมอยู่เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมประมาณ 2 – 170 ppm มีรายงานว่าการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตจะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน เพราะ cadmium phosphate ละลายน้ำน้อย และส่วนที่ไม่ละลายพืชไม่สามารถดูดซึมได้ ดังนั้นแคดเมียมส่วนนี้จึงสะสมอยู่ในดิน แต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมร่วมด้วย แคดเมียมจะละลายได้มากขึ้น เนื่องจากแคดเมียมจะไปรวมตัวกับแอมโมเนียมเป็นอออนอิสระที่ละลายน้ำได้ คือ $\text{Cd}(\text{NH}_3)_2$ และ $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4$

7. จากการใช้ถ่านหิน และ heating oil แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยใน fossil fuels ดังนั้น เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25-5 ppm และพบในเถ้าถ่านหิน (coal ash) มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 150 ppm ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยใน heating oil ประมาณ 0.3 ppm

8. จากกากตะกอนของน้ำทิ้ง (sewage sludge) กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง และการใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อเป็นปุ๋ย จะเป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน ได้มีการคำนวณว่าจากการใช้ sewage sludge (ที่มี Cd ประมาณ 20 ppm หรือมากกว่า) จำนวน 2-3 ตันต่อปี ใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีปัญหามลพิษ (unpolluted agriculture soil ซึ่งมี $\text{Cd} < 0.1-0.5$ ppm) จะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดินเพาะปลูกนี้เป็น 1.2 – 6 ppm และพบว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวสาลี สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี

9. จากการสึกกร่อนของสังกะสี (corrosion of zinc) แคดเมียมเป็นสิ่งเจือปนในสังกะสี เมื่อโลหะหรือภาชนะที่ชุบสังกะสีเกิดการสึกกร่อน แคดเมียมก็จะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม

10. ยาสูบ (tobacco) จากการสูบบุหรี่พบว่ามีการปล่อยแคดเมียมออกสู่บรรยากาศ 1.4 ไมโครกรัมต่อบุหรี่ 1 มวน

แคดเมียมในแหล่งน้ำอาจอยู่ในรูปคอลลอยด์หรือสารละลาย อนุภาคดินเหนียวทำให้แคดเมียมในแหล่งน้ำสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม คือ ลักษณะ

ทางกายภาพ และทางเคมีของแหล่งน้ำ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง สิ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำ แหล่งมลพิษ ปริมาณน้ำในแหล่งน้ำ ตลอดจนการถ่ายทอดแคตเมียมไปตามห่วงโซ่อาหาร (Brams and Anthony, 1983) ปริมาณแคตเมียมในดินตะกอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สูญหายไปเป็นดินตะกอน โคลนที่มีฮิวมัส (humic metrial) อยู่เป็นส่วนสำคัญในการดูดซับแคตเมียมด้วย กระบวนการดูดซับ (adsorption process) จึงเป็นขบวนการสำคัญในการลดปริมาณแคตเมียมในแหล่งน้ำ โดยการเคลื่อนย้ายไปสะสมในดินตะกอน แต่แคตเมียมในดินตะกอนก็สามารถออกสู่แหล่งน้ำได้อีกเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการคาย (desorption process) (บุญเติม, 2536) โดยมีการปลดปล่อยสารที่ดูดซับไว้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในดินสามารถลดความเป็นพิษของแคตเมียมในดินได้ (Francis and Dodge, 1988; Hirsch and Banin, 1990)

จากการศึกษาของสำราญ (2533) พบว่า ปริมาณแคตเมียมในน้ำและดินตะกอนจากชั้นคุณภาพน้ำต่าง ๆ ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย ปริมาณแคตเมียมจะต่ำสุด ในชั้นคุณภาพน้ำที่ 1 เพิ่มขึ้นในชั้นคุณภาพที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ปริมาณการเพิ่มของแคตเมียมขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์ ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน ความลาดของพื้นที่ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพบว่าในน้ำลุ่มน้ำชี มีปริมาณแคตเมียมอยู่ในช่วง 0.38–1.16 ไมโครกรัมต่อลิตร น้ำบริเวณภาคใต้ตอนล่างมีปริมาณแคตเมียมอยู่ในช่วง 0.51–1.21 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณแคตเมียมในดินตะกอนของลุ่มน้ำบริเวณภาคใต้ตอนล่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.61–0.74 ไมโครกรัมต่อกรัม สัจด์ (2534) ศึกษาพบว่าลุ่มน้ำป่าสักมีปริมาณแคตเมียมอยู่ในช่วง 0.21–1.37 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณแคตเมียมในดินตะกอนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.23–1.41 ไมโครกรัมต่อกรัม ทวีศักดิ์ (2521) ศึกษาพบว่าปริมาณแคตเมียมในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนในปี 2516 พบว่าอยู่ในช่วง 0.02–0.03 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำกร่อย เปี่ยมศักดิ์ และพิธาน (2520) ได้สำรวจพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคตเมียมในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างสูงกว่าแหล่งน้ำโลก โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 1.77 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยอยู่ในส่วนที่ละลายน้ำและในส่วนของสารแขวนลอย 0.33 และ 1.44 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณแคตเมียมในดินตะกอนอยู่ในช่วง 0.172–0.378 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตามรายงานของ Polprasert (1982) แคตเมียมในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ในช่วง Nd–121.1 ppb ในดินตะกอนอยู่ในช่วง 0.50–5.47 ppm จากการสำรวจบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ปากแม่น้ำท่าจีน ปากแม่น้ำแม่กลอง ปากแม่น้ำเพชรบุรี และปากแม่น้ำปรางบุรี ในปี 2526 ความเข้มข้นของแคตเมียมในน้ำมีค่า 1.9 , 1.9 , 2.0 ,2.0 และ 1.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สถานีวิจัยประมงทะเล, 2526) และจากการศึกษาของ แววดา (2541)

พบว่า ปริมาณแคดเมียมในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำทะเล คือ 0.03–0.3 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอน คือ 0–0.05 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ปริมาณการแพร่กระจายของแคดเมียมที่แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อมมีการย้ายจากที่หนึ่งไปที่หนึ่ง และมีผลต่อการสะสมอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น ในดิน สิ่งมีชีวิต (กองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม, 2532) ปริมาณของแคดเมียมในน้ำและดินตะกอนจะมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชของน้ำต่ำ ดินมีสารอินทรีย์น้อย และมีดินเหนียวมาก (Logan and Feltz, 1985) แคดเมียมจะถูกดูดซับได้ง่ายเมื่อมีปริมาณต่ำคือ ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของดิน (Hirsch and Banin, 1990)

ความเป็นพิษของแคดเมียม

1. ความเป็นพิษต่อพืช

สิ่งมีชีวิตเกือบทุกชนิดมีความสามารถสะสมแคดเมียมไว้ในร่างกายได้ เนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายกับสังกะสี ทำให้แคดเมียมสามารถเข้าไปแทนที่สังกะสีในเอ็นไซม์บางชนิด ด้วยเหตุนี้ทำให้เมตาบอลิซึม (metabolism) ถูกทำให้เปลี่ยนไปจากปกติ

แคดเมียมที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชนั้นจะเกิดจากการที่พืชได้รับแคดเมียมในปริมาณที่สูงมีผลไปรบกวนกลไกต่าง ๆ ของหลัก และเป็นเหตุให้เกิดอาการคลอโรซิสขึ้น ปัญหาการสะสมของแคดเมียมในพืชอาจมีผลต่อมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคได้

2. ความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์

แคดเมียมสามารถเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ ในปริมาณที่สูงกว่าที่พบในน้ำตั้งแต่หลายร้อยเท่าจนถึงหลายพันเท่า ในปลาส่วนใหญ่จะเก็บสะสมแคดเมียมไว้ที่ตับ ลำไส้ และเหงือก ส่วนที่เหลือจำนวนน้อยเก็บไว้ที่เนื้อ โดยปลาจะเก็บสะสมแคดเมียมได้น้อยกว่าสาหร่าย และหอย ซึ่งการสะสมตัวของแคดเมียมจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคดไอออน (cation) กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคดไอออน (cation) ในดินเพิ่มขึ้น ระดับปริมาณแคดเมียมในสิ่งมีชีวิตนั้นก็ลดลง การสะสมแคดเมียมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น หอยแครง หอยนางรม และหอยแมลงภู่ มีแคดเมียมสูงตั้งแต่ 100–1,000

ไมโครกรัม/กิโลกรัม และมากกว่าการสะสมในสาหร่ายหรือในข้าว แต่ในกรณีที่ดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation) ได้น้อย จะทำให้สาหร่ายสามารถสะสมแคดเมียมได้มากกว่าพวกสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังถึง 4 เท่า

ในการรับเอาแคดเมียมเข้าไปครั้งแรกพบว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำกระด้างจะรับเข้าไปได้เร็วกว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำอ่อน แต่เมื่อเปรียบเทียบในเรื่องปริมาณแล้ว พบว่าปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่รับเข้าไปปรากฏว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำอ่อนจะเก็บสะสมเข้าสู่ร่างกายมากกว่า

ตารางที่ 1 ค่าอัตราการสะสมของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิต

ประเภทของสิ่งมีชีวิต	อัตราการสะสม ⁿ
พืชทะเล	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในทะเล	250,000
ปลาทะเล	3,000
พืชน้ำจืด	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำจืด	4,000
ปลาน้ำจืด	3,000

หมายเหตุ ⁿ = อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิต (น้ำหนักเปียก) หารด้วยความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำ

ที่มา: EPA (1979)

แคดเมียมในรูปโลหะอิสระ สามารถเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจในลักษณะของฝุ่นละอองหรือไอโลหะ ส่วนในระบบทางเดินอาหารจะเข้าไปกับอาหารและเครื่องดื่ม แต่มีการดูดซึมที่ทางเดินอาหารต่ำมากเพียง 10 % (FAO and WHO, 1972) และการดูดซึมที่ปอด 10-40 % โดยปกติคนจะรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย 10-30 ไมโครกรัมต่อวัน (Reilly, 1980) แคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะไปสะสมอยู่ที่ตับ ไต กระดูก และเนื้อเยื่อต่างๆ (จันทร์ศรี, 2539) เมื่อร่างกายสะสมแคดเมียมเพิ่มมากขึ้น แคดเมียมก็จะไปรบกวนเมตาโบลิซึมของเหล็ก สังกะสี ทองแดง และฟอสฟอรัส ทำให้ขัดขวางการทำงานของซัลไฟดริลเอนไซม์ (sulfhydryl enzyme)

ทำให้ความดันโลหิตสูงและโลหิตจาง (Berman, 1980; Reilly, 1980) การได้รับแคดเมียมทางอาหารเป็นประจำ แคดเมียมจะไปสะสมที่ตับ ไต และอวัยวะสืบพันธุ์ ร่างกายจะสามารถขับแคดเมียมออกได้เพียง 10 % เท่านั้น เนื่องจากแคดเมียมจะเข้าไปรวมตัวกับโปรตีนโดยขบวนการทางชีวเคมี เกิดเป็น cadmium – binding protein (Cd - BP) จากนั้นจะเข้าไปที่ต่อมผลิตน้ำนม ตับ และไต แต่ถึงแม้ว่าแคดเมียมจะไปสะสมอยู่ที่ต่อมผลิตน้ำนมแต่ไม่พบว่ามีการปนอยู่ในโปรตีนน้ำนม (Luckey *et al.*, 1975)

จากรายงานของ นิภากร (2537) กล่าวว่าในปี ค.ศ. 1955 ได้เกิดโรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมขึ้นที่บริเวณตอนเหนือของญี่ปุ่น โดยมีสาเหตุจากการสะสมของแคดเมียมในข้าวและถั่วเหลือง ลักษณะอาการจะปวดที่บริเวณนั้นอย่างรุนแรง คล้ายคนกระดูกหัก กระดูกจะมีรูพรุนมากขึ้น เนื่องจากกลไกการยับยั้งการซ่อมแซมกระดูก เรียกโรคนี้ว่า โรคอิไต – อิไต Itai – itai (Ouch - ouch) disease อาการของโรคส่วนมากพบในเพศหญิง โดยเฉพาะในหญิงมีครรภ์ ซึ่งจะมีอาการตามระยะต่าง ๆ ดังนี้

ระยะเริ่มแรก มีอาการปวดบริเวณสะโพก แขน และขา อาการนี้จะหายไปเมื่อประคบหรือแช่น้ำร้อน

ระยะที่สอง อาการปวดจะมากและนานขึ้น บริเวณฟันที่ติดกับเหงือกจะมีลักษณะเป็นวงสีเหลือง เรียกว่า วงแหวนแคดเมียม และจะพบโปรตีนในปัสสาวะน้อย

ระยะที่สาม กระดูกทุกข้อในร่างกายมีอาการปวดร้าว โดยเฉพาะบริเวณกระดูกเชิงกราน และกระดูกหัวไหล่ กระดูกทั่วร่างกายเริ่มบางลง เพราะแคดเมียมละลายออกมาจากกระดูก

ระยะที่สี่ เป็นระยะที่รุนแรงมากขึ้น ผู้ป่วยจะเจ็บปวดจนเดินไม่ไหว กระดูกสะโพกขาดความแข็งแรง เมื่อเวลาผ่านไป 10-20 ปี ผู้ป่วยจะสูญเสียแคลเซียมออกมาทางปัสสาวะมากและเสียชีวิตในที่สุด

การขับเอาแคดเมียมที่ดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก และครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16-33 ปี และโดยทั่วไป ร่างกายสามารถรับแคดเมียม

เข้าไปโดยผ่านทางกรกินเป็นส่วนใหญ่ แต่ผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้การรับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ไตและตับ

4.2 ตะกั่ว (Lead, Pb)

ลักษณะและคุณสมบัติของตะกั่ว

ตะกั่วในโลหะในหมู่ IV ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 207.2 วาเลนซ์อิเล็กตรอน 2 และ 4 จุดเดือด 1,755 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 327.4 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 11.33 ตะกั่วเป็นโลหะสีเงินปนเทา มีความนำไฟฟ้าไม่ดี แต่ทนต่อการสึกกร่อน ละลายได้ในกรดไนตริกเจือจาง ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้อย่างช้า ๆ ในน้ำที่เป็นกรดอ่อน สามารถดูดเสียงและคลื่นที่สั่นสะเทือนได้ (Hawley, 1977)

แหล่งกำเนิด

ในธรรมชาติตะกั่วจะมีการกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบจากหินอัคนีและหินแปรประมาณ 10 – 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Wedepohl, 1956; Tuckian and Wedepohl, 1961) และพบในหินปูน หินทราย หินดินดาน และดิน ประมาณ 5 – 10 , 10 – 40 , 20 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สุธรรม และ งามพิศ, 2519) ตะกั่วพบในส่วนที่เป็นเปลือกโลกเฉลี่ยประมาณ 10 – 15 ppm โดยเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปสารประกอบ พบกว่า 5 % ของสินแร่ตะกั่วปฐมภูมิ คือ กาลีน่า ซึ่งเป็นสารประกอบของตะกั่วกำมะถัน (lead sulfide : PbS) ตะกั่วอีกเล็กน้อยพบปะปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ทองแดง แคดเมียม บิสมัท สารหนู และเงิน (จันทร์ศรี, 2539)

ตะกั่วพบอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อากาศ และดินตะกอน จากการศึกษาพบตะกั่วในดินเฉลี่ย 10 ไมโครกรัมต่อกรัม ในน้ำประมาณ 13.1 ไมโครกรัมต่อลิตร (Reilly, 1980) และในดินตะกอนพบประมาณ 20 ไมโครกรัมต่อกรัม (Brook, 1997)

การนำมาใช้ประโยชน์

โลหะ lead และสารประกอบ lead มีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างมาก ดังนี้

โลหะ lead - ใช้ทำท่อประปา lead เป็นโลหะที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีน้อย กอปรกับ Lead สามารถหล่อให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้ง่าย จึงมีการนำมาทำเป็นท่อประปา ต่อมาพบว่า เมื่อท่อประปาถูกใช้เป็นเวลานาน lead สามารถละลายออกมาในน้ำประปาได้เล็กน้อย เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงเลิกการใช้ท่อประปาที่ทำด้วย lead

- เป็นวัสดุหุ้มสายไฟฟ้าและสายโทรคมนาคม lead ถูกนำมาใช้เนื่องจาก มีคุณสมบัติอ่อนสามารถดัดให้โค้งงอได้ดี และยังไม่ผุกร่อนอีกด้วย

- ใช้ทำเป็นหัวกระสุนปืน lead เป็นวัสดุที่เหมาะสมนำมาทำกระสุนปืน เพราะมีความหนาแน่นสูงและทำให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย

- ใช้เคลือบแท่งกัก และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องสัมผัสกับก๊าซหรือของเหลว ที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ในการผลิตกรดซัลฟูริก การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และกระบวนการผลิตทางเคมีหลายชนิด เช่น halogenation sulfonation

- เป็นวัสดุป้องกันรังสีชนิดต่าง ๆ ที่เกิดจากการสลายตัวของธาตุ กัมมันตรังสี ได้แก่ รังสีแอลฟา เบตา และ X-ray

- ใช้ในการผลิตสารประกอบอินทรีย์และอินทรีย์ของ lead รวมทั้ง tetraethyllead

lead acetate - เป็นส่วนผสมในน้ำยาย้อมผ้า (hair dye) ผลิตภัณฑ์สีย้อมผ้า สารเคลือบผิวโลหะ

- เป็นสารทำแห้งในผลิตภัณฑ์สี น้ำมันขัดเงา และหมึก

- ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- ในทางสัตวแพทย์ใช้เป็นยาสมานแผล (astringent) และแก้ท้องเสีย

lead arsenate- ใช้เป็นสารกำจัดตัวอ่อน (larva) ของแมลง ชนิดต่าง ๆ เช่นแมลงที่กินต้นฝ้าย (boll weevil)

lead nitrate - ใช้ผลิตวัตถุระเบิด

- เป็นสารออกซิไดซ์สำหรับการผลิตสีย้อม (dye)

tetraethyllead และ tetramethyllead เติมในน้ำมันเพื่อป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์

การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม (Pathway into the environment)

การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อมตามกระบวนการทางธรรมชาติสามารถแบ่งได้ดังนี้ (จินทนา, 2536)

1. Lithogenous formations จากกระบวนการผุพังของชั้นหินในแหล่งน้ำ ทำให้มีการปลดปล่อยตะกั่วออกมา

2. Biogeneous formations จากกระบวนการที่เกิดจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น การที่สิ่งมีชีวิตตายลงไปสะสมในแหล่งน้ำ หรือเกิดจากกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต

3. Hydrogeneous formations จากการที่อนุภาคตะกอนหรือถูกดูดซับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีในแหล่งน้ำ

4. Atmosgeneous formations จากการตกจากอากาศลงมาเป็นของแข็งโดยตรง เนื่องจากอากาศมีผิวสัมผัสกับแหล่งน้ำมาก โอกาสที่จะตกสู่พื้นน้ำย่อมมีได้มาก เช่น จากพืชหรือดินที่ถูกอากาศพาไป

5. Cosmogeneious formations จากการที่ของแข็งตกลงมาจากนอกโลก

นอกจากนี้ตะกั่วยังสามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจากการกระทำของมนุษย์ได้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ก)

1. การทำเหมืองแร่ ประมาณร้อยละ 70 ของสินแร่ ตะกั่วมักเกิดร่วมกับสังกะสี ดังนั้น การเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของตะกั่วจึงเกิดร่วมกับสังกะสี การทำเหมืองแร่ทำให้ตะกั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังทำให้มีการปนเปื้อนในอากาศจากการฟุ้งกระจายของผงแร่

การปลูกแรมและการทำให้แรมบริสุทธิ์ ทำให้ตะกั่วปนเปื้อนในน้ำ อากาศ การนำเศษแรมมากองทำให้ตะกั่วปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน

2. การผลิตสารประกอบของตะกั่วรวมทั้งการผสมปรุงแต่งผลิตภัณฑ์ และการแบ่งบรรจุ โรงงานที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นละอองที่ดี จะทำให้ตะกั่วฟุ้งกระจายเข้าสู่บรรยากาศและถ้าโรงงานไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพดีพอ จะทำให้ตะกั่วในน้ำทั้งจากโรงงานปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

3. การเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งเกิดจากอุบัติเหตุ การหกหรือรั่วไหล

4. การใช้สารประกอบตะกั่วถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางอุตสาหกรรมเพื่อใช้ผลิตสารประกอบและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ตะกั่วและสารประกอบตะกั่วหลายชนิดถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ภายในบ้านเรือน เช่น ยาย้อมผ้า สีทาบ้าน ลูกปืน สารกำจัดแมลง และแบตเตอรี่รถยนต์ การใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ทำให้ตะกั่วเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้

5. การกำจัดกากของเสีย โรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว ทำให้ตะกั่วปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำธรรมชาติและตะกอนดิน การจัดการกากของเสียที่มีตะกั่วโดยการเผาในเตาเผาที่มีระบบกำจัดอากาศเสีย (scrubber) ที่ไม่ดี พอทำให้ตะกั่วปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ อย่างไรก็ดีถึงแม้ระบบบำบัดน้ำเสียและอากาศเสียที่มีประสิทธิภาพดีก็ไม่อาจกำจัดตะกั่วให้หมดได้ก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม

กรกช (2535) ได้อธิบายวัฏจักรของตะกั่วไว้ดังนี้ อากาศจะเป็นตัวแพร่กระจายตะกั่วได้ เนื่องจากสามารถพัดพาอนุภาคขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมครอน) ไปได้ แต่ตะกั่วที่อนุภาคใหญ่จะตกลงสู่พื้นดินบริเวณใกล้ ๆ แหล่งกำเนิด และสะสมอยู่ในชั้นผิวดิน ซึ่งอาจเข้าไปในห่วงโซ่อาหารได้โดยสัตว์พวกแทะเล็มใบไม้ ใบหญ้าบริเวณผิวดิน และจุลินทรีย์ที่อยู่ผิวดิน ส่วนตะกั่วในแม่น้ำมาจากการชะล้าง (runoff) การกัดเซาะ และอากาศ Dong *et al.*, (1983) พบว่าตะกั่วสามารถดูดซับกับดินตะกอนได้ทั้งชนิด sand silt และ clay แต่จะถูกดูดซับอยู่กับ clay มากที่สุด แหล่งน้ำโดยทั่วไปจะมีตะกั่วปะปนอยู่ในดินตะกอนเสมอ เนื่องจากพื้นที่ที่รองรับแหล่งน้ำนั้นประกอบไปด้วยหิน ดิน และแร่ธาตุที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบโดยธรรมชาติอยู่แล้ว เมื่อมีการชะล้างพังทลายของดินและหินเหล่านั้นตะกั่วก็จะถูกพัดพาตามแหล่งน้ำและเกิด

การตกตะกอนสะสมตัวในแหล่งน้ำนั้น ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนจะมีค่ามากกว่าปริมาณตะกั่วในดินและในน้ำในบริเวณลุ่มน้ำนั้น ๆ เสมอ Schell and Barnes (1971) ได้ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วในแท่งตะกอนที่เกิดขึ้นจากก้นทะเลสาบวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา พบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในแท่งดินตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งปริมาณตะกั่วในดินตะกอนจะมีมากกว่าปริมาณตะกั่วที่ตรวจพบในน้ำจากแหล่งเดียวกันหลายเท่า เนื่องจากตะกั่วมีประจุเป็นบวก สามารถเกาะยึดกับตะกอน (clay) ที่มีประจุลบได้ดี (เกษม, 2524)

แหล่งน้ำธรรมชาติที่เป็นน้ำจืดมีตะกั่วระหว่าง 1-10 ไมโครกรัมต่อลิตร ตะกั่วธรรมชาติในดินอยู่ระหว่าง 2-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เฉลี่ยประมาณ 10-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (National Academy of Science, 1972) จากรายงานของ Onodera (1985) ตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างอยู่ระหว่าง 0.80-0.86 มิลลิกรัมต่อลิตร บริเวณใดมีตะกั่วมาก ปริมาณตะกั่วที่พบในน้ำและดินตะกอนก็จะมากไปด้วย ในดินตะกอนจะมีปริมาณตะกั่วมากกว่าในน้ำ เนื่องจากดินตะกอนมีอิทธิพลที่สามารถดึงโลหะตะกั่วได้

ปริมาณตะกั่วในน้ำ ดินตะกอน และในสัตว์ทะเล บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด พบว่าปริมาณตะกั่วอยู่ในเกณฑ์ปกติ และอยู่ในระดับปลอดภัยต่อการบริโภคสัตว์ทะเล โดยมีค่าตะกั่วในน้ำ 0.79 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอน 5.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในปลาและในหมีกมีค่า 2.13 และ 1.72 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (พัชร, 2531) จากการศึกษาของ ภาสกร และ คณิต (2538) พบว่าปริมาณตะกั่วในน้ำบริเวณทะเลสาบสงขลามีค่าเฉลี่ย 0.226 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล และปริมาณตะกั่วในดินตะกอนมีค่าเฉลี่ย 20.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม วรพันธ์ (2530) ได้ทำการสำรวจปริมาณตะกั่วในน้ำและดินตะกอนบริเวณบึงมัทกะสัน พบมีค่าเฉลี่ย 3 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณตะกั่วในน้ำ ในมหาสมุทร ชายฝั่งทะเลที่ไม่มีการปนเปื้อนของมลสาร แม่น้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนของมลสาร น้ำฝน และแม่น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่ว มีค่า 0.09 , 1.7 , 3 , 34 และ 120 ไมโครกรัมต่อลิตร (Coulston and Mark, 1977) แววดา (2541) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในน้ำทะเลเท่ากับ 0.9-8.1 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในดินตะกอนมีค่า 11.1-16.8 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง Chow (1978) ได้รายงานว่าตะกั่วนั้นมีทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำพุ โดยทั่วไปในน้ำทะเล ใน

มหาสมุทร จะมีปริมาณตะกั่วละลายอยู่ในช่วง 0.1–1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณตะกั่วในระดับนี้ถือได้ว่าเป็น baseline ของแหล่งน้ำโดยทั่วไป

ความเป็นพิษของตะกั่ว

1. ความเป็นพิษต่อพืช

ตะกั่วเมื่อเข้าสู่พืชแล้วจะสะสมอยู่ในเชื้อหุ้มเซลล์ ไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสต์ ซึ่งพืชสามารถรับตะกั่วจากสิ่งแวดล้อมได้ 2 ทาง คือ ทางราก โดยมีแหล่งกำเนิดจากดินในรูปของสารละลายตะกั่วที่อยู่ในดิน และได้รับทางใบซึ่งมาจากอนุภาคของตะกั่วที่เจือปนอยู่ในอากาศ แต่เนื่องจากพืชมีความสามารถดูดดึงตะกั่วได้น้อยเมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่น ๆ เช่น แคดเมียม หรือนิกเกิล ดังนั้นจึงไม่ค่อยปรากฏความเป็นพิษของตะกั่วจากดินสู่พืช นอกจากนี้พบว่าพืชบางชนิดสามารถสะสมตะกั่วในปริมาณที่สูงได้ ทำให้ตะกั่วไปลดอัตราการเจริญเติบโตของพืช

2. ความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์

สารประกอบตะกั่วมีความเป็นพิษเฉียบพลันในสัตว์น้ำแตกต่างกัน โดยทั่วไป สารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่วมีพิษเฉียบพลันน้อยกว่าสารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว LC_{50} ของ lead acetate สำหรับ water flea (*Daphnia magna*) 0.60 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ LC_{50} ของ tetraethyllead และ tetramethyllead ในกุ้ง brown shrimp (*Crangon crangon*) มีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร

ความกระด้างของน้ำมีผลต่อความเป็นพิษของสารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว ถ้าความกระด้างของน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษเฉียบพลันของตะกั่วลดลง ซึ่งหมายความว่าในน้ำนั้นมีโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น แคดเมียม และแมกนีเซียมมาก จึงไปขัดขวางการดูดซึมตะกั่วทำให้พิษของตะกั่วลดลง

ตะกั่วทำให้ร่างกายมีความต้านทานต่อโรคหลายชนิดลดลง เช่น โรคไทฟอยด์ เป็นต้น (เปี่ยมศักดิ์, 2525) สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอากาศ ทางผิวหนัง และการหายใจ สามารถสะสมในโลหิต กระดูก ฟัน เล็บ ผม กล้ามเนื้อ และน้ำเหลือง (Committee on Lead in

the Human Enviroment, 1980) ซึ่งสามารถจำแนกโรคพิษของตะกั่วได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ โรคพิษตะกั่วอินทรีย์ และโรคพิษตะกั่วอนินทรีย์ โรคพิษตะกั่วอินทรีย์จะเป็นโรคของระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการนอนไม่หลับ หงุดหงิด เบื่ออาหาร อ่อนหภูมิในร่างกายลดต่ำลง แต่ถ้าเป็นโรคพิษตะกั่วอนินทรีย์ มักจะมีอาการท้องผูก ความรู้สึกทางเพศลดลง โลหิตจาง คอแข็ง กระจายน้ำอาเจียน ในรายที่ระดับตะกั่วค่อนข้างสูงจะมีอาการในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้งานมาก เช่น กล้ามเนื้อหมดแรงและเป็นอัมพาต สมอบบวม และตายได้ (อรพรัตน์, 2536) การกำจัดตะกั่วออกจากร่างกายทำได้หลายทางกล่าวคือ ขับออกทางปัสสาวะ 76 % อุจจาระ 16 % และทางผิวหนัง สั้นผม หรือขนอีก 8 % แต่ในวันหนึ่งๆ ร่างกายจะขับตะกั่วรวมกันได้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมเท่านั้น (Mahaffey *et al.*, 1982)

4.3 ทองแดง (Copper, Cu)

ลักษณะและคุณสมบัติของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะสีส้มแดงอยู่ในหมู่ IB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 29 เลขมวล 63.54 ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.9 จุดเดือด 2,565 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,086 องศาเซลเซียส มีความเหนียว เป็นมันวาว สามารถนำไฟฟ้าได้ดีรองจากเงิน ทนการกัดกร่อนในอากาศได้ดีกว่าเหล็ก ทองแดงบริสุทธิ์มีความอ่อนปานกลาง ปกติไม่พบในรูปอิสระแต่พบในรูปแร่และสารประกอบ ทองแดงมีเลขออกซิเดชัน 2 ค่า คือ +1 และ +2 (Hawley, 1977)

แหล่งกำเนิด

ในธรรมชาติจะพบทองแดงในรูปของแร่ chalcite หรือ copper glance (Cu_2S), cuprite (Cu_2O) หรือ copper pyrite (CuFeS_2) นอกจากนั้นยังพบในรูปของ azurmalachite, cobellite ในอากาศพบทองแดงเกิดจากธรรมชาติ โดยเกิดจากฝุ่นผงไฟฟ้า ภูเขาไฟ และกิจกรรมของมนุษย์ ในดินตะกอนพบทองแดง 57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Broook, 1997) ในดินทั่วไปพบทองแดงอยู่ระหว่าง 2-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Reilly, 1980) ในน้ำผิวดินพบทองแดง 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Mc.Neely, 1979)

การนำมาใช้ประโยชน์

ทองแดงถูกนำมาใช้ประโยชน์ ทั้งในรูปโลหะทองแดงและสารประกอบทองแดงกันอย่างกว้างขวาง เช่น ทำลวดตัวนำไฟฟ้า ทำโลหะเจือ หรือในรูปของสารประกอบ เช่น ผลิกจุนสี (CuSO_4) ที่ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา นอกจากนี้ยังใช้สารประกอบทองแดงในการกำจัดสาหร่ายและหอยที่ไม่เป็นประโยชน์ในแหล่งน้ำ (Gauss *et al.*, 1985) นอกจากนี้ทองแดงกว่า 50 % ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้า อุตสาหกรรมชุบและเคลือบโลหะ อุตสาหกรรมเครื่องประดับ อุตสาหกรรมทอผ้า ผลิตภัณฑ์เซรามิก (วรพันธุ์, 2532)

การแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม (Pathway into the environments)

แหล่งที่มาของการแพร่กระจายของทองแดงสู่สิ่งแวดล้อม

1. จากเรือ สีที่ใช้ทาเรือ โดยเฉพาะใต้ท้องเรือส่วนมากจะมีส่วนผสมของทองแดง เพื่อช่วยลดการลงเกาะของเฟรียง นอกจากนั้นทองแดงที่ผสมลงไปนีสียังใช้เป็นสารกันเสียของสี และช่วยให้คุณสมบัติการยึดติดกับพื้นผิววัสดุของสีดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสีที่ใช้ทาเรือก็จะมีการหลุดหรือจางลงสู่แหล่งน้ำ ดังเห็นว่าการนำเรือมาทาสีใหม่เป็นประจำ
2. จากการเกษตร ทองแดงใช้เป็นส่วนผสมของสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ย สารฆ่าแมลง สารฆ่าเชื้อราและจุลินทรีย์ สารกำจัดวัชพืช รวมถึงการกำจัดสาหร่ายในน้ำ สารเคมีเหล่านี้เมื่อตกสะสมในดินก็จะถูกชะล้างโดยน้ำฝนหรือน้ำท่วม ในที่สุดก็จะพัดพาลงสู่ทะเล
3. อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งใช้ทองแดงเป็นตัวตั้งซัลเฟอร์และเป็นตัวดับกลิ่นของสารปิโตรเลียม เมื่อเกิดการเผาไหม้หรือใช้อุณหภูมิสูง ๆ ก็จะเป็นการปลดปล่อยทองแดงออกสู่บรรยากาศและตกสะสมในทะเลต่อไป

4. จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานผลิตสี โรงงานกระดาษ โรงงานผลิตดอกไม้ไฟ โรงงานฟอกหนังและโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งโรงงานต่าง ๆ เหล่านี้จะปล่อยของเสียที่มีทองแดงปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมากลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

การแพร่กระจายของทองแดงสู่แหล่งน้ำเกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบของทองแดงในธรรมชาติเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การถลุงแร่ การกำจัดเชื้อราในดิน การเติมเกลือของทองแดงในแหล่งน้ำเพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่าย ทำให้เกิดการสะสมของทองแดงในแหล่งน้ำมากขึ้น การสะสมทองแดงของสาหร่ายเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของทองแดงในแหล่งน้ำ ส่วนความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนมีผลต่อสัตว์หน้าดิน (Murphy *et al.*, 1982) ทองแดงชอบจับตัวกับสารประกอบอินทรีย์กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิ ความกระด้างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ตลอดจนความเป็นกรด – ด่างของน้ำ ล้วนมีผลต่อการสะสมของทองแดงทั้งสิ้น (Howarth and Sprague, 1978)

วรพันธ์ (2532) ศึกษาทองแดงบริเวณบึงมกกะสัน พบว่ามีค่าเฉลี่ย 19 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม AIT (2532) ได้รายงานปริมาณทองแดงในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทย พบมีค่า 7,000 – 42,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ในน้ำมี 16.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งในทรายละเอียดและดินเหนียวจะดูดซับทองแดงได้ดี (Depinto *et al.*, 1982) พัทธรา (2531) ได้ศึกษาปริมาณทองแดงในน้ำ ในดินตะกอน และในสัตว์ทะเล บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด พบว่าปริมาณทองแดงยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยมีค่าทองแดงในน้ำ 1.90 ไมโครกรัมต่อลิตร ในดินตะกอน 3.68 ไมโครกรัมต่อกรัม ในปลา 3.18 ไมโครกรัมต่อกรัม และในหมีก 23.88 ไมโครกรัมต่อกรัม เหตุผลที่พบในหมีกมากเนื่องจากหมีกเป็นสัตว์ที่มีโลหะทองแดงเป็นสารประกอบของฮีโมโกลบิน และสามารถสะสมโลหะทองแดงในเนื้อเยื่อได้ดี แววดา (2541) ได้ศึกษาปริมาณทองแดงในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในน้ำทะเลเท่ากับ 0-5.1 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนมีค่าเท่ากับ 4.7-12.1 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

ความเป็นพิษของทองแดง

1. ความเป็นพิษต่อพืช

ทองแดงมีความสำคัญต่อกระบวนการหายใจของพืช และพืชหลายชนิดที่มีการสะสมทองแดงในปริมาณที่สูง จะทำให้มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต ซึ่งขึ้นกับความสามารถของทองแดงในการแทนที่ไอออนของโลหะอื่น ๆ โดยเฉพาะเหล็กออกจากบริเวณที่แลกเปลี่ยนไอออนที่ราก ทำให้เกิดการขาดธาตุเหล็ก อาการเป็นพิษจากทองแดงที่พบคือคลอโรซิส ซึ่งเป็นลักษณะของการขาดธาตุเหล็กนั่นเอง แต่แคลเซียมในปริมาณสูงก็สามารถช่วยลดความเป็นพิษของทองแดงได้ พืชบางชนิดมีความสามารถในการสะสมทองแดงในระดับสูง ๆ ได้ เช่น 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักแห้งของพืช และทองแดงสามารถรวมตัวกับกลุ่มอะมิโน ($-NH_2$) ของกรดอะมิโนและโปรตีนได้ ซึ่งเป็นเหตุผลที่อธิบายได้ว่าทำไมพืชบางชนิดจึงมีความทนทานต่อทองแดงได้ ทองแดงสามารถยึดเกาะกับอนุภาคดินได้ดีมาก แต่ในดินที่เป็นกรดจะพบความเป็นพิษจากทองแดงรุนแรงเนื่องจากทองแดงไม่สามารถยึดเกาะกับอนุภาคดินได้

2. ความเป็นพิษต่อสัตว์และมนุษย์

ทองแดงเป็นธาตุที่มีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) และการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งมีชีวิตต้องการทองแดงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถ้ามีมากเกินไปในสิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดอันตรายขึ้นได้ Mount (1968) รายงานว่าระดับความปลอดภัยของการสืบพันธุ์ของปลา *Pimephales promelas* ในน้ำกระด้าง ($CaCO_3$ 200 mg/l) จะมีความเข้มข้นของทองแดงประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำอ่อน ($CaCO_3$ 30 mg/l) จะมีค่าความเข้มข้นของทองแดงต่ำกว่า โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.018-1 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นพิษของทองแดงในสัตว์พบว่า หอยนางรมเมื่อสะสมโลหะทองแดงไว้มากจะทำให้เหงือก และเนื้อเยื่อส่วน mantle สีเขียวผิดปกติ โลหะทองแดงในรูปของ $CuSO_4$ อาจทำให้เกิดตะกอนที่เหงือกปลา ส่งผลให้ปลาตายเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิดปกติ (อรพิรท์, 2520)

การดูดซับทองแดงส่วนใหญ่จะเกิดที่กระเพาะอาหาร แล้วเก็บสะสมไว้ที่ตับ ไต สมอง หัวใจ และผม ในคนปกติจะมีทองแดงในเลือด 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เพศหญิงจะมี

ปริมาณทองแดงในเลือดสูงกว่าเพศชาย โดยเฉพาะผู้ที่คุมกำเนิดหรืออยู่ในระหว่างตั้งครรภ์ จะมีทองแดงในเลือดสูงถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าร่างกายได้รับทองแดงมากเกินไปความต้องการจะมีอาการอ่อนเพลีย อาเจียน ท้องร่วง เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดการตับวาย มีเลือดมากในทางเดินอาหาร (Berman, 1980) และหากได้รับทองแดงในรูปของคอปเปอร์ซัลเฟตในปริมาณมาก จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน อาเจียน บางครั้งจะมีสีเขียวปนมากับอาเจียน ความดันโลหิตต่ำ ดีซ่าน หมดสติ

โรคที่เกิดจากความเป็นพิษของทองแดง เรียกว่า Wilson' disease ซึ่งเกิดจากความผิดปกติเนื่องมาจากมีระดับทองแดงสะสมอยู่ในตับ ไต สมอง และกระจกตามากผิดปกติ หากมีระดับทองแดงเข้มข้นมากในตับอาจทำให้เป็นโรคตับแข็งได้ ทองแดงที่สะสมมากในสมองจะส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาท ในไตอาจทำให้ท่อไตพิการ และในกระจกตาจะเกิดเป็นวงแหวนสีน้ำตาลหรือสีเขียวที่เรียกว่า “ Kayser – Fleischer ring “

5. คุณสมบัติบางประการของดินตะกอนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมของโลหะหนัก

5.1 ปริมาณน้ำในดิน (water content)

ปริมาณน้ำในดิน หมายถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ในเนื้อดิน และช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ปริมาณน้ำในดินตะกอนเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สามารถบอกให้ทราบถึงลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคดินตะกอน ความแข็งแรง และความนิ่มของพื้นที่ท้องทะเล นอกจากนั้นปริมาณน้ำในดินตะกอนยังมีความสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคดินตะกอน (grain size) , ความหนาแน่นของดินตะกอน (bulk density) และความเป็นรูพรุนของดินตะกอน (porosity) อีกด้วย (เบญจลักษณ์, 2545) ปริมาณน้ำในดินยังสะท้อนให้เห็นถึงสภาพความอุดมสมบูรณ์ของสารอินทรีย์ในดินตะกอนอีกด้วย โดยดินตะกอนที่มีปริมาณน้ำในดินต่ำ เช่น ประมาณ 20-40% มักจะเป็นทรายที่มีเนื้อหยาบเป็นส่วนใหญ่และมีสารอินทรีย์ต่ำ (จารูมาศ, 2545)

5.2 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (total organic matter)

สารอินทรีย์รวมเป็นองค์ประกอบของดินที่มีอยู่เป็นปริมาณที่น้อย แต่ก็มีความสำคัญโดยมีอิทธิพลในการควบคุมคุณสมบัติทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดินตะกอน สารอินทรีย์ในดินตะกอนมีแหล่งกำเนิดมาจากการพังทลายของดิน สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในดิน

เมื่อถูกน้ำพัดพาจึงทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นถูกกัดเซาะกลายเป็นตะกอนอยู่ตามท้องน้ำและถูกพัดพาไหลลงสู่ทะเลในที่สุด นอกจากนี้สารอินทรีย์ในดินตะกอนยังเกิดได้จากซากของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งได้แก่ สัตว์น้ำ พืชน้ำ และแพลงก์ตอนชนิดต่าง ๆ ในน้ำ เราสามารถพบสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในรูปของสารละลายในดิน สารแขวนลอยอยู่ใกล้ผิวหน้าดิน และกลุ่มที่ตกตะกอนและสะสมอยู่ในดินเป็นระยะเวลายาวนาน (จารุมาศ, 2545)

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินตะกอนและปริมาณสารอินทรีย์กับการสะสมของโลหะหนักในดินตะกอน

เนื่องจากปริมาณน้ำในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนและปริมาณการสะสมของโลหะหนัก โดยพบว่าเมื่อมีปริมาณน้ำในดินตะกอนเพิ่มมากขึ้นการสะสมของโลหะหนักเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกันเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนเพิ่มมากขึ้นปริมาณโลหะหนักก็จะเพิ่มตาม เช่น ดินเหนียวจะมีสารอินทรีย์สูงกว่าในดินทราย จึงพบว่าดินเหนียวมีการสะสมของปริมาณโลหะหนักที่มากกว่า นอกจากนี้ความสามารถในการละลายในน้ำของสารอินทรีย์ยังส่งผลต่อการแพร่กระจายของโลหะหนักอีกด้วย โดยพบว่าถ้าสารอินทรีย์ละลายในน้ำได้จะเป็นตัวช่วยลดการแพร่กระจายของโลหะหนักได้ (เบญจลักษณ์, 2545)

6. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

6.1 สภาพทั่วไป

จังหวัดตราดตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่าง ละติจูด 11-12 องศาเหนือ และลองจิจูด 102 องศาตะวันออก ห่างจากกรุงเทพ 315 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 2,862.6 ตารางกิโลเมตร หรือ ประมาณ 1,789,125 ไร่ และเป็นพื้นที่เขตปกครองทางทะเลประมาณ 7,257.6 ตารางกิโลเมตร มีชายฝั่งยาวประมาณ 165 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียงและประเทศอื่น ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับอำเภอขลุ้ง จังหวัดจันทบุรี และประเทศกัมพูชา
ทิศใต้	ติดต่อกับอ่าวไทยและน่านน้ำประเทศกัมพูชา

ทิศตะวันออก	ติดต่อกับประเทศกัมพูชา มีทิวเขาบรรทัดเป็นแนวกันเขตแดน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับอำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี

ตราดเป็นจังหวัดชายแดนสุดเขตประเทศไทยด้านชายฝั่งตะวันออก มีรูปร่างลักษณะคล้ายหัวช้าง เป็นจังหวัดขนาดเล็กที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนภูมิประเทศที่สวยงามและภูมิอากาศที่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัย

6.2 การปกครอง

ในปี 2544 จังหวัดตราดแบ่งการปกครองส่วนภูมิภาคออกเป็น 5 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ แยกเป็น 38 ตำบล 257 หมู่บ้าน โดยมีอำเภอและกิ่งอำเภอดังนี้ อำเภอเมืองตราด อำเภอเขาสมิง อำเภอคลองใหญ่ อำเภอโป่งน้ำร้อน อำเภอแหลมงอบ กิ่งอำเภอเกาะกูด และกิ่งอำเภอเกาะช้าง

6.3 ภูมิอากาศ

พื้นที่จังหวัดตราดมีสภาพอากาศไม่ร้อนจัดหรือหนาวจัดเกินไป เนื่องจากมีเกาะต่าง ๆ มากมายถึง 52 เกาะ เป็นเสมือนกำแพงบังคลื่นลมจึงไม่ค่อยได้รับความเสียหายจากพายุ ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น มีฝนตกชุกเกือบตลอดปี แบ่งเป็น 3 ฤดู

- ฤดูหนาว อยู่ในช่วงเวลาสั้น ๆ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ อากาศไม่หนาวเย็นมากนัก อุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส

- ฤดูร้อน อยู่ระหว่างเดือนมีนาคมและเมษายน อุณหภูมิเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส

- ฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ปริมาณน้ำฝนของจังหวัดตราดระหว่างปี 2537 – 2544 อยู่ในช่วง 4,044.4 มิลลิเมตร ถึง 6,281.2 มิลลิเมตร ช่วงระหว่างปี 2537 – 2544 จังหวัดตราดมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 27.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดคือ 16.7 องศาเซลเซียส ในปี 2538 และอุณหภูมิสูงสุดคือ 36.2 องศาเซลเซียส ในปี 2542

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก ของจังหวัดตราด ปี 2537 – 2542

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	จำนวน (วัน)
2537	5,260	203
2538	4,207	199
2539	2,964	159
2540	5,690	195
2541	3,234	138
2542	5,025	237

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยา (2541)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย ของจังหวัดตราดปี 2537 – 2542

ปี พ.ศ.	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
2537	19	35.4	27.1
2538	17	35.1	27.3
2539	17	32.8	27.3
2540	17	34.8	27.5
2541	19	36.1	28.1
2542	17	36.2	27.1

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยา (2541)

6.4 ภูมิประเทศ

จังหวัดตราดมีพื้นที่ทั้งที่เป็นแผ่นดินและพื้นน้ำประกอบด้วยเทือกเขาสูง อุดมด้วยป่าเบญจพรรณและป่าดิบทางด้านตะวันออก ทางด้านใต้มีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง ตอนเหนือ

เป็นที่ราบภูเขา ตอนกลางเป็นที่ราบลุ่มน้ำที่อุดมสมบูรณ์แล้วลาดลงเป็นที่ราบต่ำชายฝั่งทะเล สภาพของภูมิประเทศแบ่งเป็น 4 ลักษณะ

1. ที่ราบลุ่มน้ำ ได้แก่ บริเวณที่ราบตอนกลางและตะวันออก
2. ที่ราบบริเวณภูเขา ได้แก่ บริเวณที่ราบตอนบนและตอนกลาง
3. ที่สูงบริเวณภูเขา ได้แก่ บริเวณตอนกลางของอำเภอแหลมงอบ และเขตติดต่ออำเภอเขาสมิง นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่เป็นเกาะต่าง ๆ ซึ่งส่วนมากเป็นพื้นที่ป่าไม้
4. ที่ราบต่ำชายฝั่งทะเล ได้แก่ บริเวณฝั่งทะเลเกือบตลอดแนว บริเวณพื้นที่แห่งนี้เป็นที่ป่าชายเลนหนาแน่น และยังเป็นสถานที่เลี้ยงสัตว์น้ำบางชนิดด้วย

6.5 ทรัพยากรธรรมชาติ

ทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของจังหวัดตราดมีดังนี้

6.5.1 ดิน ที่ดินจังหวัดตราด ที่ทำการสำรวจแบบค่อนข้างหายาบ (Retained reconnaissance soil map) ของกองสำรวจดิน กรมทรัพยากรที่ดิน สรุปว่า วัตถุต้นกำเนิดของดินแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ วัตถุที่ให้กำเนิดดินที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากที่อื่น (Transported materials) โดยน้ำเป็นส่วนสำคัญในการพัดพาตะกอนมาทับถม และเป็นวัตถุต้นกำเนิดของดิน และอีกกลุ่มหนึ่ง คือ วัตถุต้นกำเนิดของดินที่เกิดจากการสลายตัวของหินชนิดต่าง ๆ (Residual materials) ส่วนลักษณะของดินนั้นจะมีส่วนสัมพันธ์กับวัตถุต้นกำเนิดของดิน สภาพพื้นที่ พืชพรรณ และอายุของดินเป็นหลัก

ลักษณะดินของจังหวัดตราด สามารถจำแนกได้ 7 กลุ่ม คือ

1. ดินนา ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ
2. ดินไร่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 5
3. ดินดินครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 40
4. ดินทรายครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 5
5. ดินเค็มครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 10
6. ภูเขาครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 30
7. ดินภูเขาครอบคลุมพื้นที่จังหวัดร้อยละ 5

6.5.2 แร่ธาตุ การสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า พื้นที่ของจังหวัดตราดมีลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบด้วยหินหลายชนิด คือ หินตะกอนลำน้ำ และกรวด เป็นหินที่เปิดใหม่ พบบริเวณอำเภอเมือง และอำเภอเขาสมิง กลุ่มหินโคราช มีทั้งพวกที่มีไมก้าปนอยู่ และที่ไม่มีไมก้าปนอยู่ เช่น หินทราย หินดินดาน หินตะกอน และหินกรวด พบบริเวณอำเภอบ่อไร่ และด้านตะวันออกของอำเภอเมือง หินอีกกลุ่มหนึ่ง คือ หินตะนาวศรี เป็นพวกหินดินดาน หินทราย และหินดินดานปนทราย มีบางส่วนที่แปรสภาพไปแล้ว บางแห่งพบว่ามีหินปูนแทรกอยู่ พบบริเวณอำเภอเขาสมิง ส่วนหินอัคนีเป็นหินที่มีการทับถมมากที่สุด พบบริเวณตอนกลางของอำเภอบ่อไร่ เป็นหินพวกหินบะซอลต์ หินโรโอไลต์ หินพอไฟร์และเศษหิน

ปี 2542 จังหวัดตราดมีเหมืองแร่สัมปทานและเปิดทำการ 3 แห่ง แร่ธาตุที่สำคัญ คือ หินอุตสาหกรรมชนิดบะซอลต์

จังหวัดตราดมีทรัพยากรแร่ที่ได้สำรวจพบแล้ว และมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ดังนี้

1. แร่รัตนชาติ ส่วนมากพบอยู่ในลานเปลือกดิน ซึ่งเกิดจากการผุพังของหิน Basalt บางแห่งพบในเนื้อหิน Basalt ที่ยังไม่ผุพังชัดเจน ส่วนใหญ่พบในกลุ่มของ corundum แร่รัตนชาติที่พบมี พลอย โกเมน เพทาย ทับทิม ซึ่งพบอยู่ในบริเวณตำบลหนองบอน ตำบลช้างทุน ตำบลบ่อพลอย อำเภอบ่อไร่ และบ้านนาว อำเภอเขาสมิง

2. ทรายแก้ว (Silica) พบอยู่บริเวณตำบลไม้รูด อำเภอกลองใหญ่ และเขตอำเภออ่าวใหญ่ตำบลแหลมกลัด อำเภอเมือง

ปัญหาเกี่ยวกับแร่ที่พบในปัจจุบัน คือไม่สามารถนำทรายแก้วที่มีอยู่เป็นจำนวนมากพอควรมาใช้ประโยชน์ได้ในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากการเกรงว่าจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสภาพพื้นที่

ตารางที่ 4 ปริมาณการผลิตแร่ จำแนกตามชนิด ปี 2544 – 2547

ชนิดแร่	2544	2545	2546	2547
หินบะซอลต์	176,000	177,450	469,000.40	423,879
แร่รัตนชาติ (กรัม)	0	0	0	0
ทรายแก้ว	242,837	407,839.40	0	0

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด (2549)

6.5.3 แหล่งน้ำ จังหวัดตราดมีแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญ คือ แม่น้ำตราด แม่น้ำเวฬุ และคลองใหญ่ มีแม่น้ำ ห้วย คลอง ลำธาร รวม 207 แห่ง

แหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญของจังหวัดตราด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แหล่งน้ำจากอากาศ ได้แก่ น้ำฝน เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญที่สุดของจังหวัดตราด เนื่องจากมีฝนตกชุกตลอดปี และยังเป็นต้นกำเนิดของแหล่งน้ำต่าง ๆ ด้วย

2. แหล่งน้ำผิวดิน เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดตราดเป็นเทือกเขาสูง และเป็นแหล่งกำเนิดแม่น้ำลำคลองมากมาย นอกจากนั้นการที่ฝนตกยังทำให้ได้รับน้ำที่อุดมสมบูรณ์ ยกเว้นช่วงฤดูแล้งที่น้ำลดอาจทำให้น้ำฝนซึมลงใต้ดินและระบายออกสู่ทะเลได้อย่างรวดเร็ว จึงมักประสบปัญหาเรื่องความแห้งแล้งและขาดน้ำ รวมทั้งปัญหาน้ำทะเลรุกเข้ามาในแผ่นดินบริเวณที่ราบใกล้ชายฝั่งทะเลในช่วงฤดูแล้ง สำหรับแม่น้ำที่สำคัญมีอยู่ 2 สาย คือ

2.1 แม่น้ำตราด เป็นแม่น้ำที่สำคัญที่สุดของจังหวัดตราด มีความยาว 150 กิโลเมตร ต้นน้ำเกิดจากเทือกเขาบรรทัด ไหลผ่านหลายอำเภอ โดยเฉพาะตำบลบ่อพลอยและตำบลหนองบอน อำเภอบ่อไร่ ซึ่งเป็นแหล่งจุดพลอยที่สำคัญของจังหวัด และผลจากการขุดล้างพลอยทำให้แม่น้ำตราดขุ่นขึ้นเกิดตะกอนสันดอนปากแม่น้ำ และทำให้ร่องน้ำแคบและตื้นเขิน จึงเป็นอุปสรรคต่อการใช้น้ำและการคมนาคมทางน้ำ จากนั้นไหลลงมาผ่านอำเภอเขาสมิง อำเภอเมืองตราด ลงสู่ทะเลบริเวณบ้านปากคลอง อำเภอเมืองตราด

2.2 แม่น้ำเวฬุ เป็นแม่น้ำที่ใช้เป็นเส้นแบ่งเขตจังหวัดด้านทิศตะวันตกระหว่าง จังหวัดตราดและจันทบุรี มีความยาว 20 กิโลเมตร ต้นกำเนิดของแม่น้ำเวฬุอยู่บริเวณเขาสะพาน และเขาชะอมในเขตจังหวัดจันทบุรี ไหลลงผ่านบ้านท่าจืด ตำบลแสนตุ้ง อำเภอเขาสมิง จังหวัดตราด ไหลลงสู่ทะเลบริเวณอ่าวบางกระดาน อำเภอแหลมงอบ จังหวัดตราด

6.5.4 ป่าไม้ สภาพป่าไม้ของจังหวัดตราดเป็นป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าชายเลน ไม้ที่สำคัญได้แก่ ยาง ชุมแพรง กระบาก พนอง และ โกงกาง ในอดีตป่าไม้ของจังหวัดตราดถูกบุกรุกทำลายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการขยายพื้นที่เพื่อการเกษตรและขาดการบำรุงรักษาในเนื้อที่ป่าสัมปทานบริเวณพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกทำลาย ได้แก่ อำเภอบ่อไร่ อำเภอเมืองตราด อำเภอเขาสมิง และ อำเภอแหลมงอบ และพื้นที่ป่าที่ยังอุดมสมบูรณ์ ได้แก่ อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะช้าง และตามแนวเทือกเขาบรรทัดติดเขตแดนประเทศกัมพูชา

6.6 สภาพทางสังคม

ประชากรของจังหวัดตราด (ข้อมูล ณ วันที่ 14 เดือนกรกฎาคม 2549) ประชากรปี 2546 รวมทั้งสิ้น 220,130 คน เป็นชาย 111,086 คน หญิง 109,044 คน สำหรับอำเภอที่มีประชากรมากที่สุด ได้แก่ อำเภอเมืองตราด มีจำนวน 94,843 คน รองลงมาได้แก่ อำเภอเขาสมิง มีจำนวน 42,974 คน อำเภอบ่อไร่ มีจำนวน 37,481 คน อำเภอคลองใหญ่ มีจำนวน 24,299 คน อำเภอแหลมงอบ มีจำนวน 13,675 คน กิ่งอำเภอเกาะช้าง มีจำนวน 1,951 คน กิ่งอำเภอเกาะกูด 1,888 คน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ย 76 คน/ตารางกิโลเมตร

ประชากรปี 2547 รวมทั้งสิ้น 217,433 คน เป็นชาย 109,440 คน หญิง 107,993 คน สำหรับอำเภอที่มีประชากรมากที่สุด ได้แก่ อำเภอเมืองตราด มีจำนวน 90,871คน รองลงมาได้แก่ อำเภอเขาสมิง มีจำนวน 41,797 คน อำเภอบ่อไร่ มีจำนวน 35,953คน อำเภอคลองใหญ่ มีจำนวน 23,481 คน อำเภอแหลมงอบ มีจำนวน 17,926 คน กิ่งอำเภอเกาะช้าง มีจำนวน 5,336 คน กิ่งอำเภอเกาะกูด 2,069 คน ความหนาแน่นของประชากรเฉลี่ย 75 คน/ตารางกิโลเมตร

6.7 สภาพทางเศรษฐกิจ

กิจกรรมทางอุตสาหกรรม

จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ในจังหวัดตราดตั้งแต่ปี 2544-2547 ดังแสดงในตารางที่ 5

น้ำเสียจากการประกอบอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเนื่องจากการเกษตร จะมีการใช้น้ำจำนวนมากในกระบวนการผลิต และภายหลังกระบวนการดังกล่าวจะมีน้ำซึ่งปนเปื้อนอินทรีย์สารที่มีความเข้มข้นสูง หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดจะทำให้แหล่งน้ำที่รองรับน้ำเสียเหล่านั้นเน่าเสีย การขยายตัวของอุตสาหกรรมและการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทะเล

ตารางที่ 5 จำนวนสถานประกอบการอุตสาหกรรม จำแนกตามประเภทอุตสาหกรรม
พ.ศ. 2544-2547

ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวน/ปี			
	2544	2545	2546	2547
การเกษตร	30	30	30	30
อาหารและเครื่องดื่ม	53	58	66	72
เคมี	1	1	2	2
ยาง	33	33	33	33
พลาสติก	1	1	1	1
โลหะและอโลหะ	9	11	12	13
ผลิตภัณฑ์โลหะ	26	26	34	36
ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้	31	31	32	34
เครื่องจักรกล	39	39	41	41
อื่น ๆ	12	13	14	15

ที่มา: สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด (2549)

กิจกรรมทางด้านการประมง

เนื่องจากจังหวัดตราดเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล จึงทำให้เป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง การเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำถือได้ว่าเป็นอาชีพที่ได้รับความนิยมและมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยจะพบกระจายอยู่ตามชายฝั่งทะเล และบริเวณแม่น้ำลำคลองที่น้ำทะเลสามารถเข้าถึงได้

นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยท่าเทียบเรือประมง สะพานปลา และแพปลา สํารวจโดยกรมควบคุมมลพิษ (2542) ในปี 2542 คือ อำเภอเมือง 12 แห่ง อำเภอแหลมงอบ 4 แห่ง อำเภอกลองใหญ่ 7 แห่ง

กิจกรรมทางด้านการท่องเที่ยว

จังหวัดตราดมีศักยภาพด้านการท่องเที่ยวค่อนข้างสูง เนื่องจากทรัพยากรท่องเที่ยวยังคงมีอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ สถานที่ทางประวัติศาสตร์ และแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลที่ถือว่าเป็นทรัพยากรที่สวยงามและดึงดูดนักท่องเที่ยวได้อย่างมาก เช่น เกาะช้าง หาดทรายขาว หาดคลองพร้าว หาดบานชื่น เกาะกูด หาดทรายแก้ว หาดทรายงาม เป็นต้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือ

- 1.1 เครื่องวิเคราะห์แบบ Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer, ยี่ห้อ PerkinElmer, รุ่น A Analyst 800
- 1.2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนแบบแท่ง (Gravity core sampler) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร
- 1.3 เครื่องทำแห้งโดยใช้ความเย็น (Freeze Dryer)
- 1.4 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace Heater)
- 1.5 เครื่องย่อยสลายตัวอย่างดิน (Microwave Digestion)
- 1.6 ตะแกรงร่อนดิน ขนาด 125 ไมโครเมตร
- 1.7 ปิเปตไมโครลิตรอัตโนมัติ (Microliter pipet)
- 1.8 กระดาษกรอง Whatman No.40
- 1.9 เครื่องบดตัวอย่างของแข็ง (Mortar Grinder) ยี่ห้อ Retsch รุ่น RM 800
- 1.10 เตาอบ (Oven) ของ Memmert รุ่น 500
- 1.11 ถ้วยกระเบื้อง (Crucible)
- 1.12 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 1.13 เม็ดดูดความชื้น (Silica gel)
- 1.14 ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดินตะกอน
- 1.15 แผ่นตัดดิน (Cut plate)
- 1.16 เครื่องมือในการหาพิกัด (Global Positioning System, GPS)
- 1.17 เครื่องมือชั่งตวงวัดสิ่งต่าง ๆ
- 1.18 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 1.19 ลังโฟมและอุปกรณ์ติดฉลาก
- 1.20 เครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล

2. สารเคมี

- 2.1 น้ำบริสุทธิ์ ค่า Resistivity 18.2 Megaohm-cm Type III
- 2.2 กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ ชนิด เอ อาร์ เกรด
- 2.3 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ชนิด เอ อาร์ เกรด
- 2.4 สารละลายมาตรฐาน แคลเมียม ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2.5 สารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 2.6 สารละลายมาตรฐาน ทองแดง ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีการ

1. สถานที่ทำการศึกษา

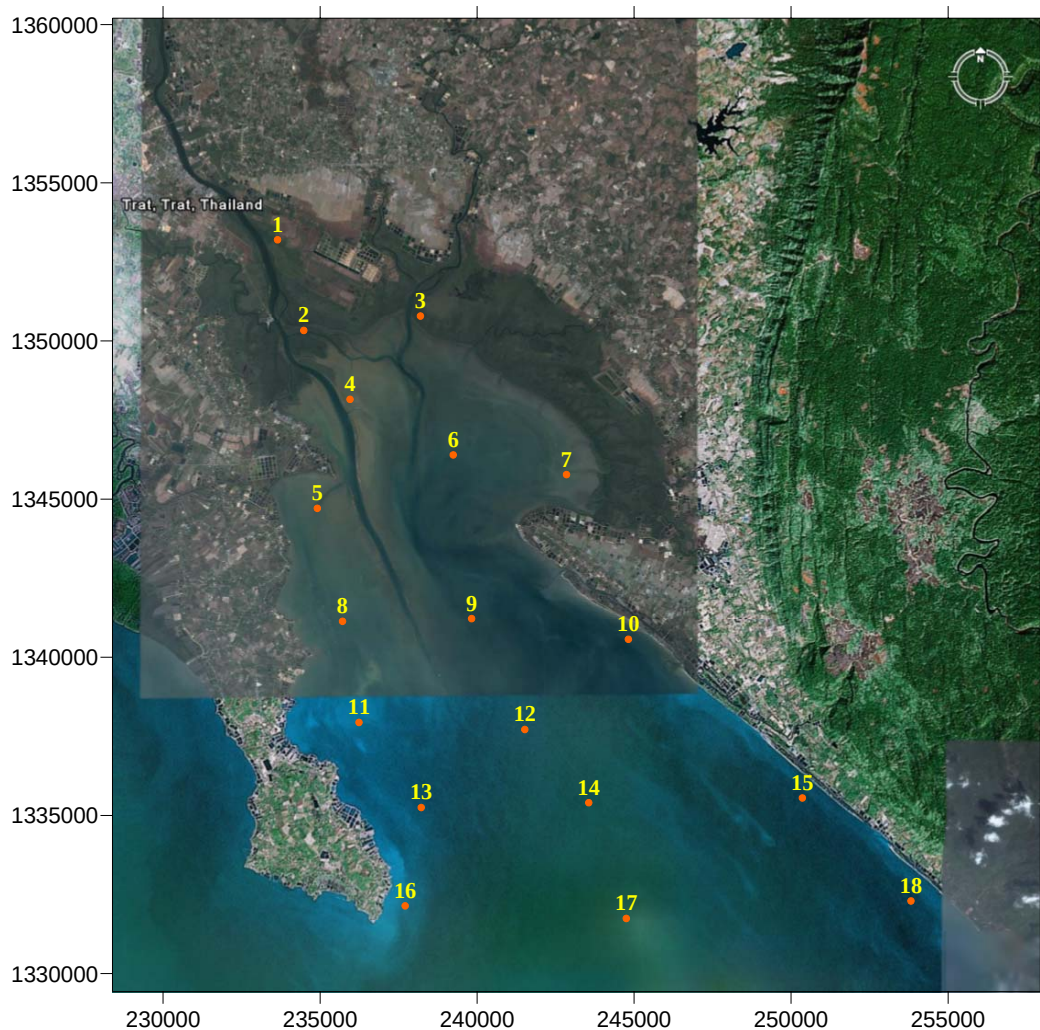
บริเวณที่ทำการศึกษได้แก่ บริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด โดยทำการแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนออกเป็น 18 สถานี (ภาพที่ 2) ดังนี้

1.1 บริเวณตอนบนของอ่าวตราด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีแม่น้ำและลำคลองต่าง ๆ ไหลลงสู่อ่าวตราด ได้แก่ แม่น้ำตราด คลองบางพระ คลองท่าพริกและคลองเนินสูง ปากคลองด่านเก่า บริเวณบ้านแหลมหิน รวมจุดเก็บตัวอย่าง 4 สถานี

1.2 บริเวณชายฝั่งตะวันตก ตอนกลาง และตอนล่างของอ่าว ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งตั้งแต่แหลมไทร จนถึงตำบลอ่าวใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง (หอยนางรม) ปากคลองบ้านแดงไปจนถึงพื้นที่ชายฝั่งบริเวณทิศใต้ของหาดลานทราย ตำบลแหลมกลัด และบริเวณแหลมศอกไปจนถึงบริเวณบ้านคลองสน รวมจุดเก็บตัวอย่าง 14 สถานี

ตารางที่ 6 สถานีเก็บตัวอย่างแสดงพิกัด รายละเอียดจุดเก็บ และลักษณะพื้นที่ของทะเล

สถานี	พิกัด		ลักษณะพื้นที่	รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่าง
	E	N	ทะเล	
1	233644	1353199	ทรายปนโคลน	ตอนในของแม่น้ำตราด
2	234479	1350333	ทรายปนโคลน	จุดรวมแม่น้ำตราดกับคลองบางพระ
3	238195	1350788	ทรายปนโคลน	ปากคลองท่าพริก
4	235952	1348155	ทรายปนโคลน	ร่องน้ำออกปากอ่าวบ้านแหลมหิน
5	234911	1344709	โคลนละเอียด	บริเวณหัวแหลมไทร
6	239239	1346397	โคลนละเอียด	บริเวณหน้าหาดลานทราย
7	242847	1345776	โคลนปนทราย	ปากคลองบ้านแดง
8	235713	1341137	โคลนละเอียด	บริเวณแหลมคันนา
9	239825	1341222	โคลนปนทราย	บริเวณกลางอ่าว
10	244818	1340568	โคลนปนทราย	ทิศใต้ของหาดลานทราย
11	236238	1337940	โคลนปนทราย	บริเวณบ้านแหลมเทียน
12	241519	1337717	โคลนละเอียด	บริเวณกลางอ่าว
13	238221	1335250	โคลนปนทราย	บริเวณแหลมพร้าว
14	243555	1335402	โคลนละเอียด	บริเวณตอนล่างอ่าว
15	250359	1335552	ทรายปนเปลือกหอย	บริเวณบ้านสะพานหิน
16	237708	1332104	โคลนละเอียด	บริเวณหัวแหลมศอก
17	244752	1331743	โคลนละเอียด	บริเวณตอนล่างอ่าว
18	253818	1332296	ทรายปนโคลน	บริเวณบ้านคลองสน



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จ. ตราด

ที่มา: Eropa Technologies (2007)

2. การเก็บตัวอย่าง

ใช้เรือประมงในการออกเก็บตัวอย่างตามสถานที่ที่กำหนดไว้ (ใช้เครื่องมือในการหาพิกัด (Global Positioning System, GPS) ช่วยในการกำหนดพิกัดและบันทึกลักษณะพื้นที่ของทะเลบริเวณ สถานีเก็บตัวอย่าง ดังตารางที่ 6) ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนโดยใช้ เครื่องมือเก็บตัวอย่าง ตะกอนแบบแท่ง (Gravity core sampler) จากนั้นตัดดินเป็นชั้น ๆ ละ 1 เซนติเมตร โดยใช้แผ่นตัด ดิน (Cut plate) จำนวน 10 ชั้น นำตัวอย่างดินตะกอนที่ได้นำไปใส่ถุงพลาสติกแบบมีที่ปิดพร้อมได้

อากาศออกก่อน ตัดฉลากตัวอย่างพร้อมทั้งระบุ วัน / เวลา / สถานที่ที่เก็บ จากนั้นนำไปแช่เย็นไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอนนำไปวิเคราะห์ต่อไปในห้องปฏิบัติการ

3. การเตรียมตัวอย่างดินตะกอนก่อนการวิเคราะห์โลหะหนัก

เมื่อถึงห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างดินตะกอนที่ได้มาทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งโดยใช้ความเย็น (Freeze Dryer) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินที่แห้งสนิทมาแยกเปลือกหอยออกจากตัวอย่างนั้น นำดินที่ได้ไปบดด้วยโกรนบดดินให้ละเอียด ถ้าดินในชั้นใดที่เป็นทรายจะใช้การร่อนโดยผ่านตะแกรกร่อนขนาด 125 ไมโครเมตร นำดินที่ได้เก็บในถุงพลาสติก แล้วบรรจุในโถดูดความชื้น (desiccator)

4. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน

4.1 การเตรียม calibration curve

เตรียมได้จากสารละลายมาตรฐานของ แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นดีไอออไนซ์ (distilled deionized water) ให้มีความเข้มข้นที่แน่นอน (ซึ่งครอบคลุมความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน) ไม่ต่ำกว่า 4 ค่า จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorption) ของโลหะหนักแต่ละชนิด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบ Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer , ยี่ห้อ PerkinElmer, รุ่น A Analyst 800

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณ แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง ในดินตะกอน

ชั่งตัวอย่างดินตะกอนที่บดและร่อนเรียบร้อยแล้วจำนวน 0.2 กรัม ลงใน Vessel เดิมกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร กรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละ Vessel จากนั้นทำการย่อยตัวอย่างดินตะกอนตามโปรแกรมของเครื่อง Microwave เสร็จแล้วทิ้งตัวอย่างให้เย็น กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 40 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นดีไอออไนซ์ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบ Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer , ยี่ห้อ PerkinElmer, รุ่น A Analyst 800

5. การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม

วิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธี Ignition loss โดยนำตัวอย่างดินตะกอนมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ปล่องให้เย็นแล้วนำมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียด แยกส่วนที่เป็นเปลือกหอยและก้อนหินออก นำดินที่อบแล้วไปชั่งน้ำหนักพร้อมถ้วยกระเบื้อง (Crucible) (โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วปล่องให้เย็นในโถดูดความชื้น) จากนั้นนำตัวอย่างดินไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วปล่องให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักหลังเผาแล้วคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป และคำนวณหา ค่า Total organic matter (%) โดยใช้สูตร

$$\text{Total organic matter (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่หายไป}}{\text{น้ำหนักดินก่อนเผา}} \times 100$$

6. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในดิน

6.1 ชั่งน้ำหนัก Aluminium foil ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร น้ำหนักที่ได้ควรใกล้เคียง 0.1 มิลลิกรัม

6.2 ใส่ดินตะกอนเปียกประมาณ 1–2 กรัม ลงบนแผ่น Aluminium foil แล้วชั่งน้ำหนัก ดินตะกอน + foil

6.3 ใส่ดินตะกอน + foil ลงในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปล่องให้ดินตะกอนเย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

$$\text{Water content} = \frac{(W1+W2)-W3}{W2} \times 100$$

W1 = น้ำหนัก Aluminium foil อย่างเดียว

W2 = น้ำหนักดินตะกอนก่อนอบ

W3 = น้ำหนักดินตะกอน + แผ่น Aluminium foil หลังอบ

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม แคลเมียม ทองแดง และตะกั่ว โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของพื้นที่ต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม แคลเมียม ทองแดง และตะกั่ว โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์รวม และโลหะหนักในดินตะกอนแต่ละฤดูกาล โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 ประชากรอย่างเป็นอิสระ (Independent T-Test)

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

8. สถานที่ทำการวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จากนั้นนำมาวิเคราะห์ที่

8.1 ห้องปฏิบัติการรังสีเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8.2 ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

9. ระยะเวลาในการศึกษา

การเก็บตัวอย่างกำหนดเป็น 2 ฤดูกาลในรอบปี

ฤดูฝน คือ ช่วงเดือน กันยายน 2546

ฤดูร้อน คือ ช่วงเดือน เมษายน 2547

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอน

การศึกษาความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จากสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี จากตัวแทนฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือตัวแทนฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) และตัวแทนฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) พบความเข้มข้นของแคดเมียมทุกระดับชั้นดินมีค่าอยู่ในช่วง $Nd-0.53$ ppm (ภาพผนวกที่ 1) มีค่าเฉลี่ยทุกระดับชั้นดินเท่ากับ 0.04 ± 0.02 ppm (ตารางที่ 9) และสามารถแสดงผลการแพร่กระจายของความเข้มข้นของแคดเมียมที่ผิวหน้าดินตะกอนได้ดังนี้

1.1 การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนเชิงพื้นที่

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่า

ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.29 ppm โดยความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าเฉลี่ยทั้งอ่าว เท่ากับ 0.06 ± 0.07 ppm (ตารางที่ 8) ซึ่งสถานีที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำสุด ได้แก่ สถานีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.01 ± 0.01 ppm ซึ่งเป็นบริเวณร่องน้ำบ้านแหลมหิน ลักษณะดินเป็นทรายปนโคลน ส่วนบริเวณที่พบการสะสมความเข้มข้นของแคดเมียมสูง ได้แก่ บริเวณสถานีที่ 1 เป็นบริเวณปากแม่น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.25 ppm บริเวณสถานีที่ 8 เป็นบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวบริเวณแหลมคันนา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.18 ppm และบริเวณสถานีที่ 17 ซึ่งเป็นบริเวณตอนล่างอ่าวติดต่อกับทะเลเปิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ± 0.34 ppm ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของแคดเมียม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 5)

1.2 การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนตามฤดูกาล พบว่า

ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนที่เก็บในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.08 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 4, 16 และ 18 มีค่าเท่ากับ 0.02 ppm ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.36 ppm (ภาพที่ 4)

ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนที่เก็บในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีค่าความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ย เท่ากับ 0.06 ± 0.13 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 3, 4, 9, 10 และ 15 มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของแคดเมียมสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 17 มีค่าเท่ากับ 0.53 ppm (ภาพที่ 4)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 6) โดยที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในช่วงฤดูฝนแตกต่างกับในช่วงฤดูร้อน

2. ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอน

การศึกษาความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จากสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี

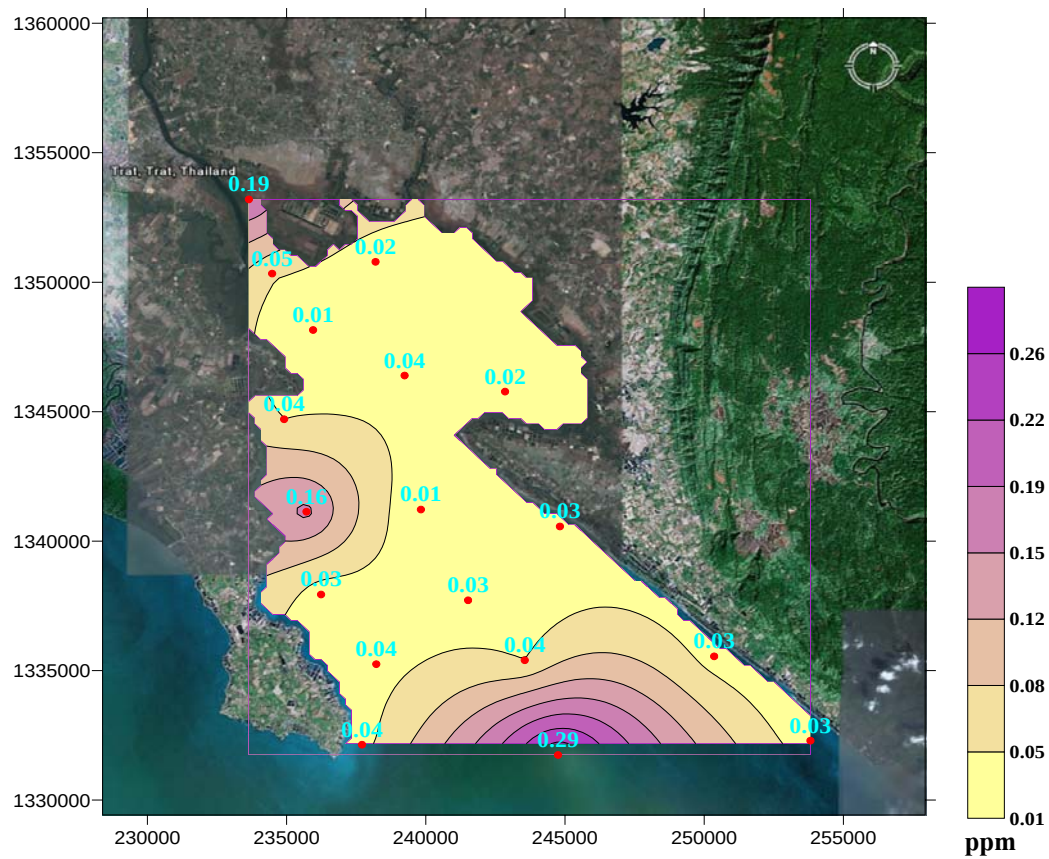
จากตัวแทนฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือตัวแทนฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) และตัวแทนฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) พบความเข้มข้นของทองแดงทุกระดับชั้นดินมีค่าอยู่ในช่วง 4.43-81.42 ppm (ภาพผนวกที่ 2) มีค่าเฉลี่ยทุกระดับชั้นดินเท่ากับ 22.43 ± 10.97 ppm (ตารางที่ 9) และสามารถแสดงผลการแพร่กระจายของความเข้มข้นของทองแดงที่ผิวหน้าดินตะกอนได้ดังนี้

2.1 การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนเชิงพื้นที่

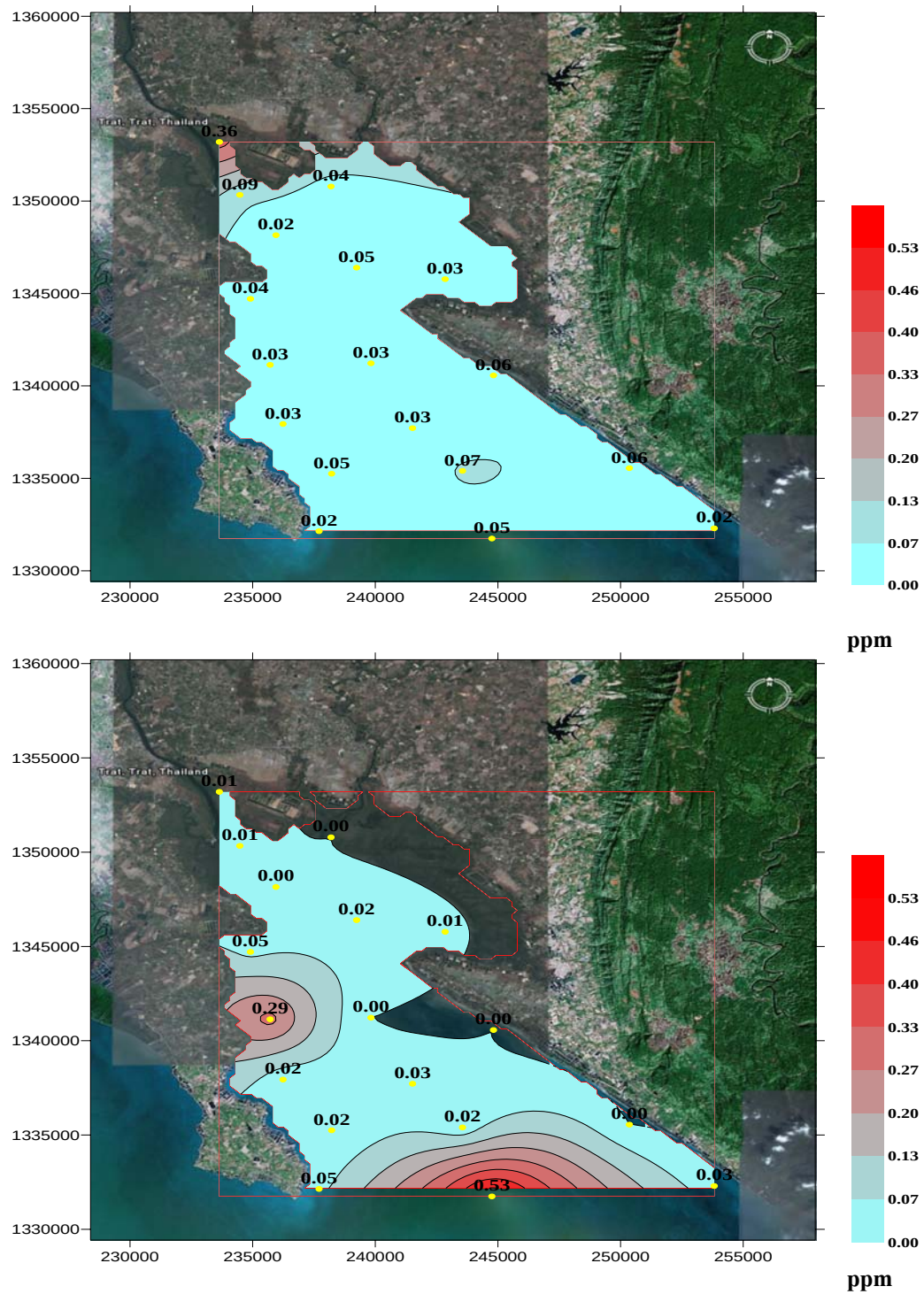
จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่า

ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 7.02-43.07 ppm โดยความเข้มข้นของทองแดงมีค่าเฉลี่ยทั้งอ่าว เท่ากับ 21.32 ± 10.33 ppm (ตารางที่ 8) ซึ่งสถานีที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่ำสุด ได้แก่ สถานีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 ± 0.03 ppm ซึ่งเป็นบริเวณปากคลองท่าพรุก ลักษณะดินเป็นทรายปนโคลน ส่วนบริเวณที่พบการสะสมความเข้มข้นของทองแดงสูง ได้แก่ บริเวณสถานีที่ 11 เป็นบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวบริเวณแหลมเทียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.07 ± 24.10 ppm (ภาพที่ 5)

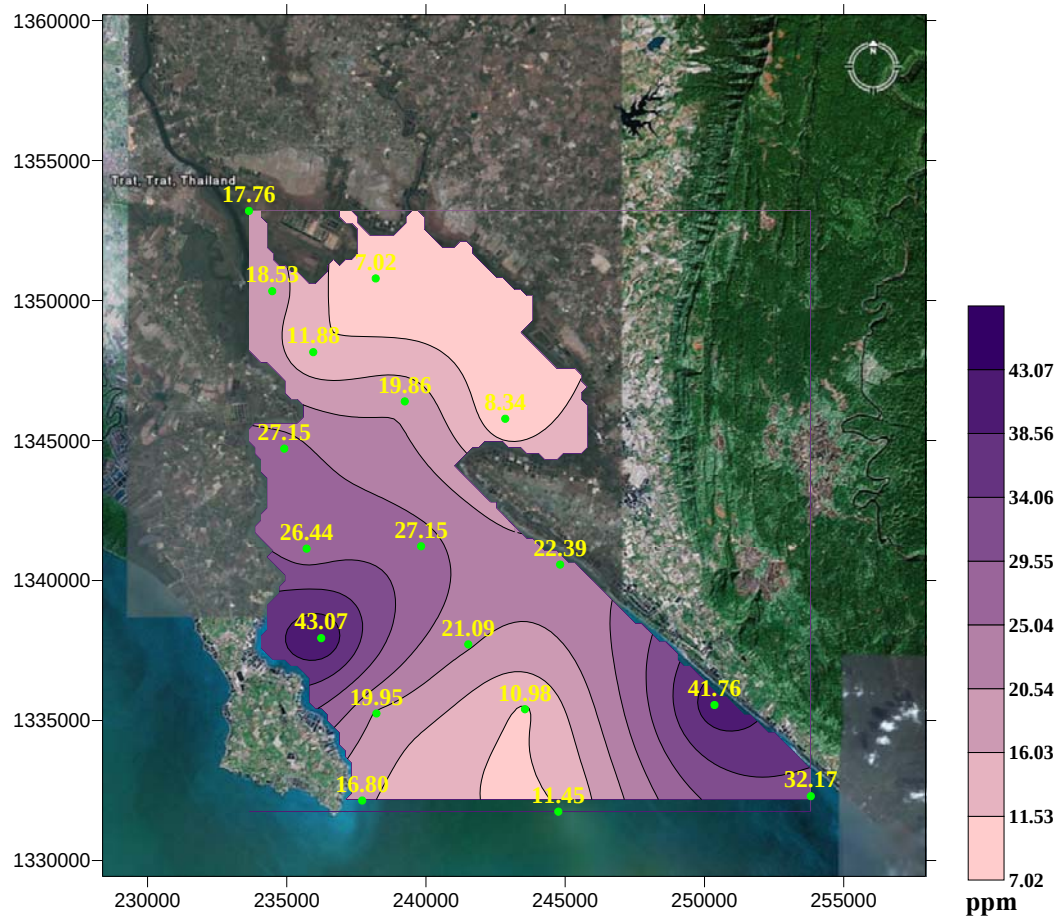
เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของทองแดง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 1)



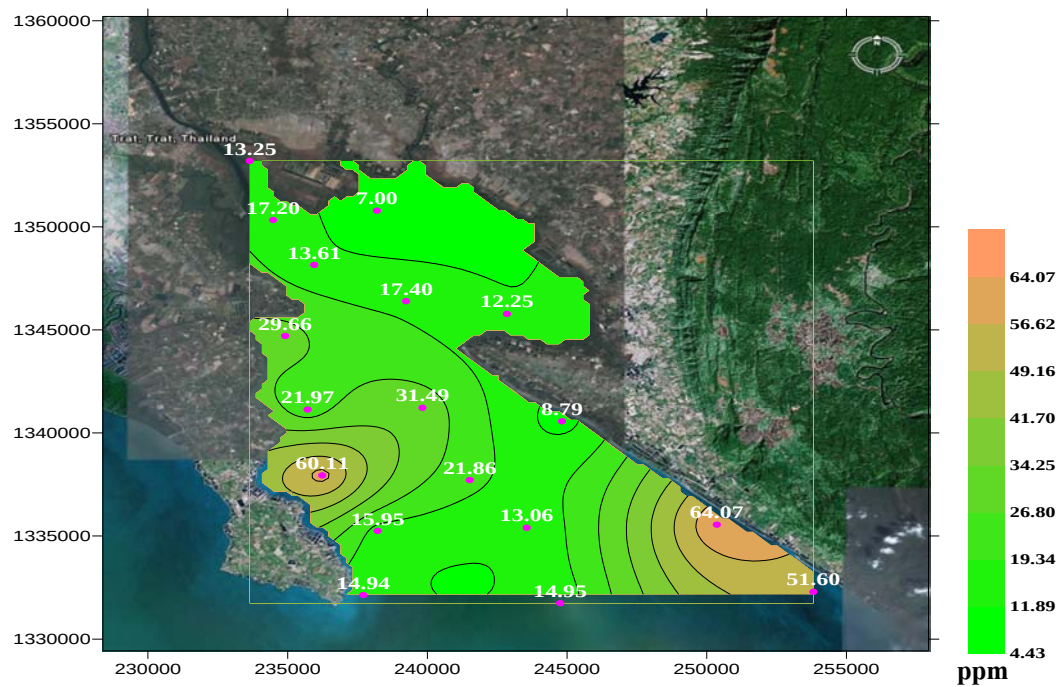
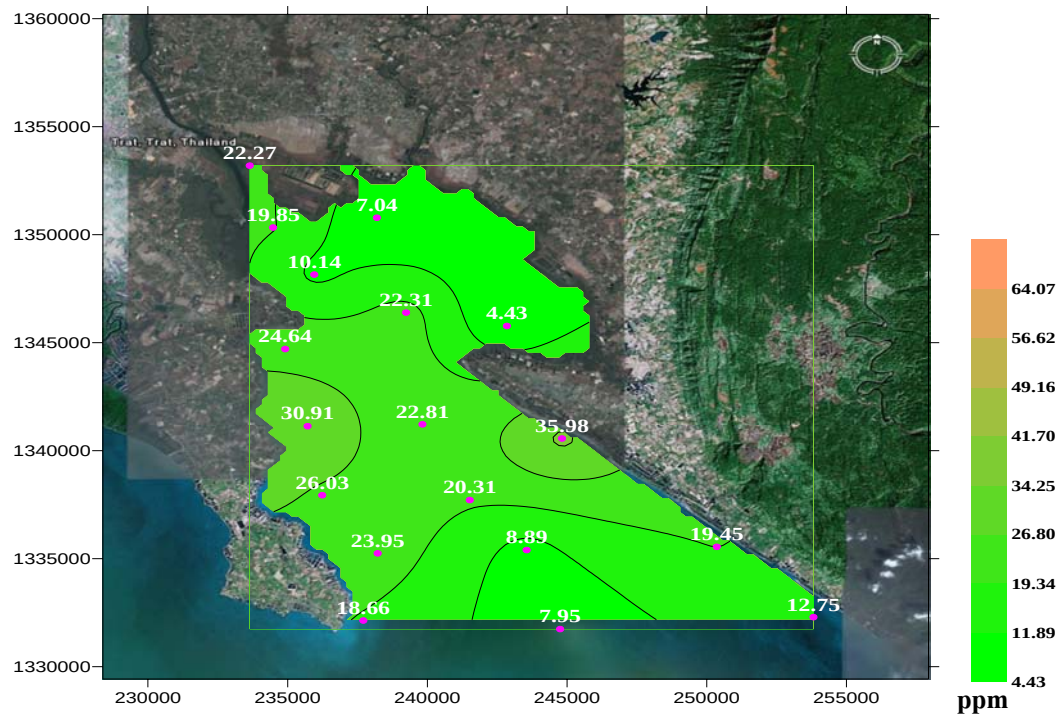
ภาพที่ 3 การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)



ภาพที่ 5 การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 6 การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร
ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)

2.2 การแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนตามฤดูกาล พบว่า

ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนที่เก็บในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) มีค่าความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ย เท่ากับ 18.80 ± 8.65 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 7 มีค่าเท่ากับ 4.43 ppm ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของทองแดงสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 10 มีค่าเท่ากับ 35.98 ppm (ภาพที่ 6)

ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนที่เก็บในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีค่าความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ย เท่ากับ 23.84 ± 17.30 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 7.00 ppm ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของทองแดงสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 15 มีค่าเท่ากับ 64.07 ppm (ภาพที่ 6)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 9)

3. ความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอน

การศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จากสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี จากตัวแทนฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือตัวแทนฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) และตัวแทนฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) พบความเข้มข้นของตะกั่วทุกระดับชั้นดินมีค่าอยู่ในช่วง 2.41-26.38 ppm (ภาพผนวกที่ 3) มีค่าเฉลี่ยทุกระดับชั้นดินเท่ากับ 11.21 ± 4.34 ppm (ตารางที่ 9) และสามารถแสดงผลการแพร่กระจายของความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าดินตะกอนได้ดังนี้

3.1 การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนเชิงพื้นที่

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่า

ความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนมีค่าอยู่ระหว่าง 3.60-19.71 ppm โดยความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าเฉลี่ยทั้งอ่าว เท่ากับ 10.82 ± 4.67 ppm (ตารางที่ 8) ซึ่งสถานีที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำสุด ได้แก่ สถานีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.60 ± 0.79 ppm ซึ่งเป็นบริเวณร่องน้ำบ้านแหลมหิน ลักษณะดินเป็นทรายปนโคลน ส่วนบริเวณที่พบการสะสมความเข้มข้นของตะกั่วสูง ได้แก่ บริเวณสถานีที่ 14 เป็นบริเวณตอนล่างของอ่าวติดต่อกับทะเลเปิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.71 ± 1.83 ppm (ภาพที่ 7)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของตะกั่ว พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 2)

3.2 การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนตามฤดูกาล พบว่า

ความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนที่เก็บในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ย เท่ากับ 11.13 ± 5.57 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 4 มีค่าเท่ากับ 3.04 ppm ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของตะกั่วสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 17 มีค่าเท่ากับ 21.17 ppm (ภาพที่ 8)

ความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนที่เก็บในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีค่าความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ย เท่ากับ 10.52 ± 4.80 ppm (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3.60 ppm ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีความเข้มข้นของตะกั่วสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 14 มีค่าเท่ากับ 21.00 ppm (ภาพที่ 8)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 8)

4. ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน

การศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จากสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี จากตัวแทนฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือตัวแทนฤดูฝน (กันยายน 2546) และตัวแทนฤดูร้อน (เมษายน 2547) พบปริมาณสารอินทรีย์รวมทุกระดับชั้นดินมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.10-15.43 (ภาพผนวกที่ 4) มีค่าเฉลี่ยทุกระดับชั้นดินเท่ากับร้อยละ 7.07 ± 3.45 (ตารางที่ 9) และสามารถแสดงผลการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอนได้ดังนี้

4.1 การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนเชิงพื้นที่

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่า

ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.09-12.21 โดยปริมาณสารอินทรีย์รวมมีค่าเฉลี่ยทั้งอ่าว เท่ากับร้อยละ 7.33 ± 3.38 (ตารางที่ 8) ซึ่งสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำสุด ได้แก่ สถานีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.09 ± 0.02 ซึ่งเป็นบริเวณร่องน้ำบ้านแหลมหิน ลักษณะดินเป็นทรายปนโคลน ส่วนบริเวณที่พบการสะสมของปริมาณสารอินทรีย์รวมสูง ได้แก่ บริเวณสถานีที่ 6 เป็นบริเวณหน้าหาดลานทราย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.21 ± 2.32 (ภาพที่ 9)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 4)

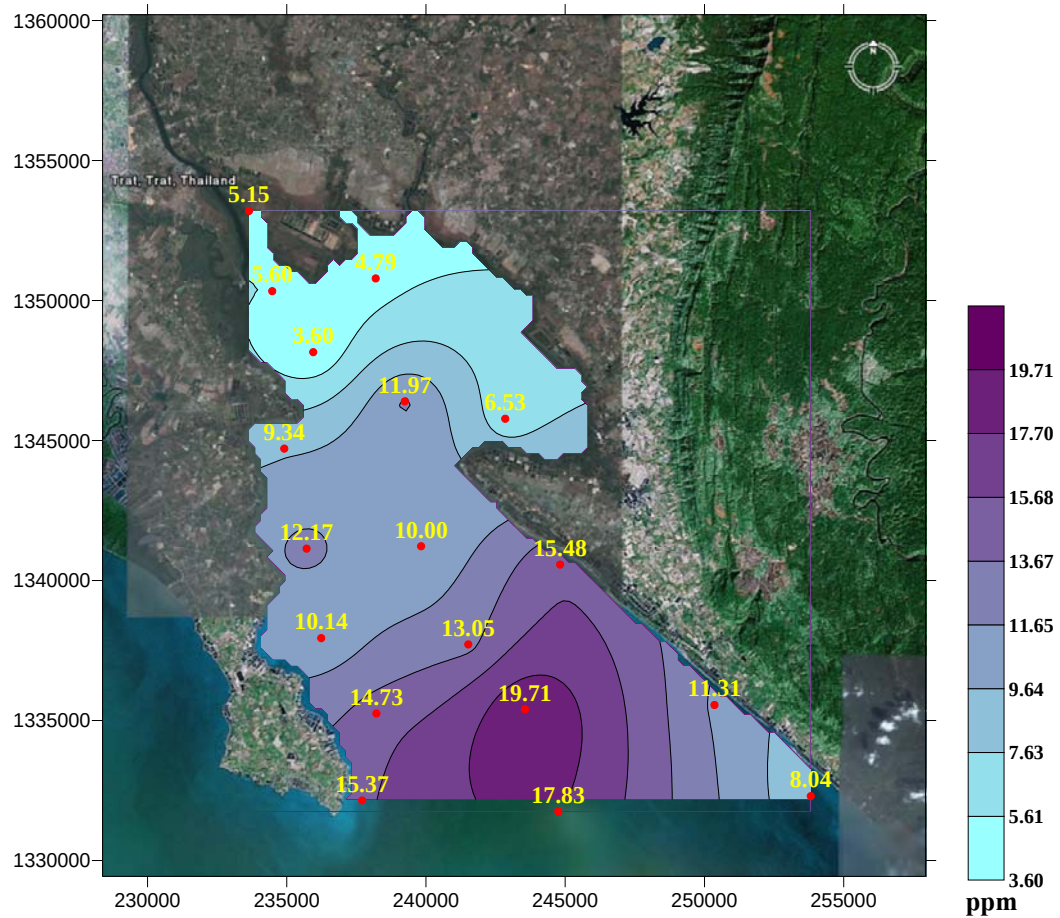
4.2 การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนตามฤดูกาล พบว่า

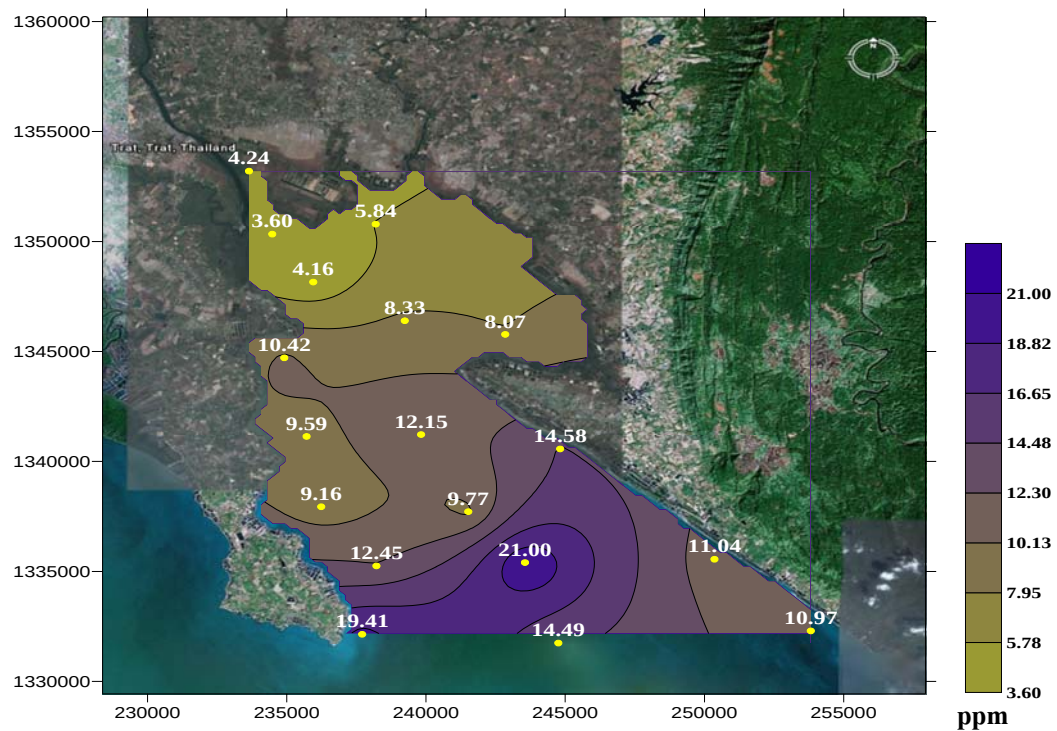
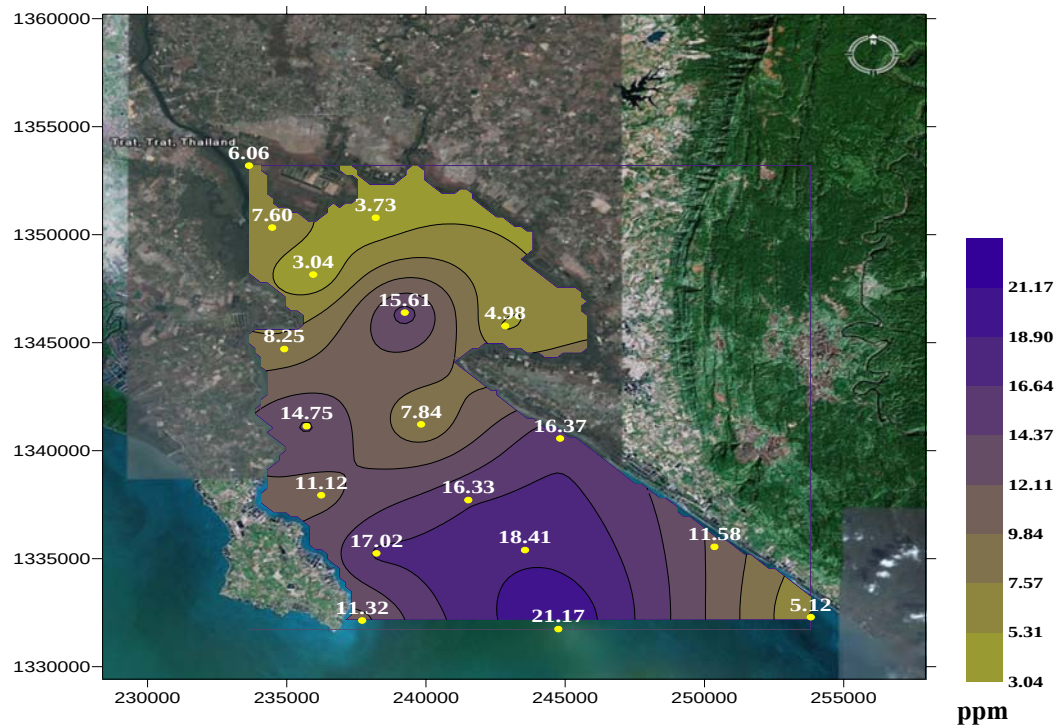
ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่เก็บในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) มีค่าปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 9.08 ± 4.49 (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 15 มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.21 ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 17 มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.43 (ภาพที่ 10)

ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่เก็บในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีค่าปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 5.58 ± 3.80 (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 14 มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.76 ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.11 (ภาพที่ 10)

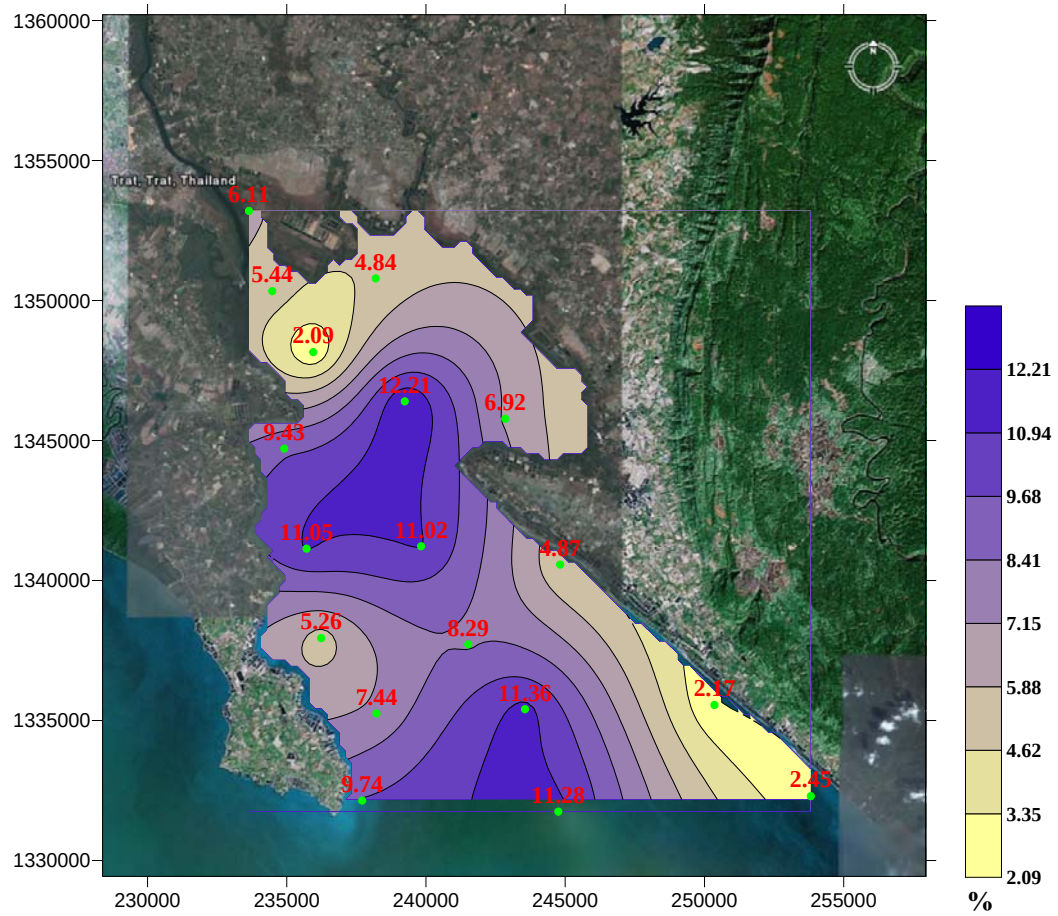
เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของฤดูกาลต่อปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 7) โดยที่ปริมาณสารอินทรีย์รวมในช่วงฤดูฝนแตกต่างกับในช่วงฤดูร้อน



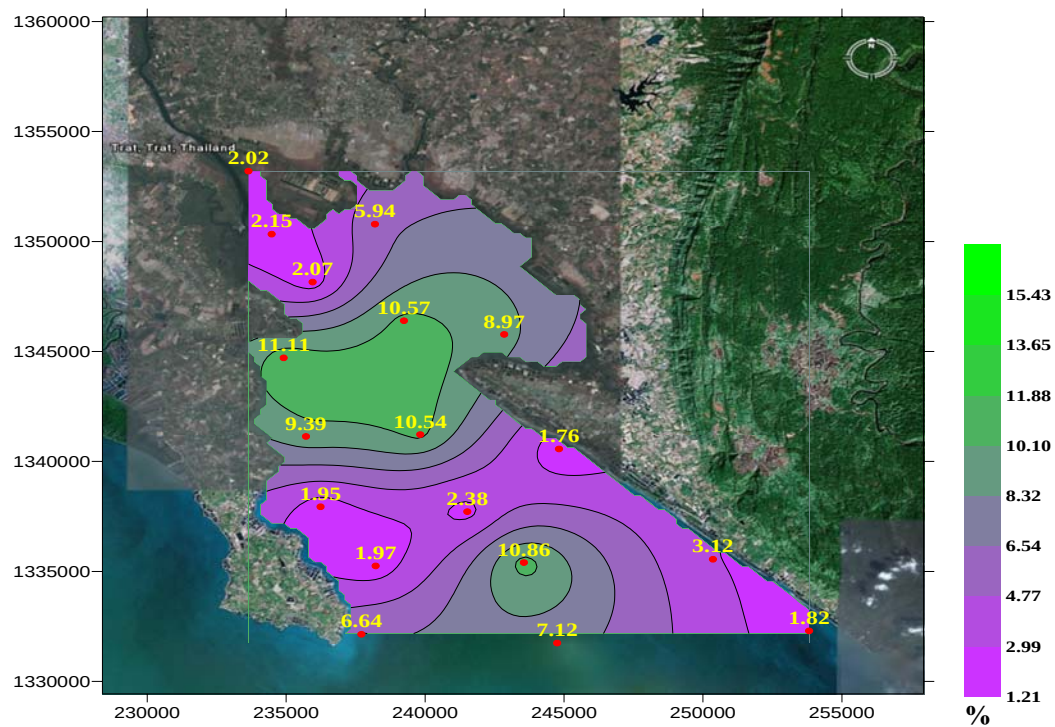
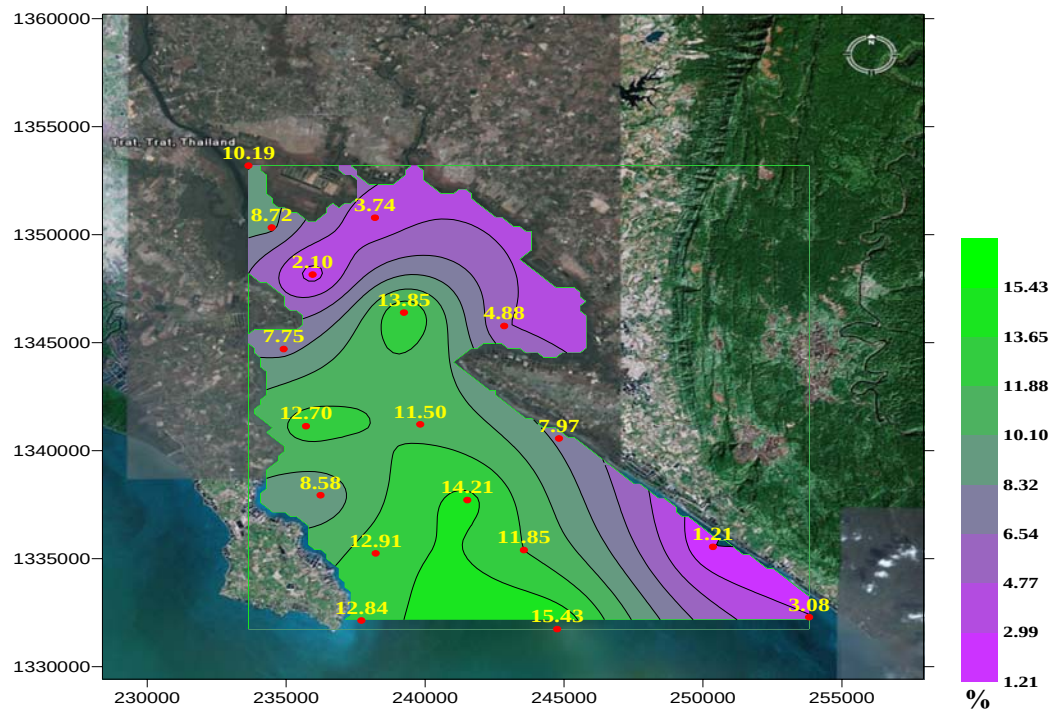
ภาพที่ 7 การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 8 การแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร
ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)



ภาพที่ 9 การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 10 การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)

5. ปริมาณน้ำในดินตะกอน

การศึกษาปริมาณน้ำในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด จำนวน 173 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นดินตะกอนที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร จากสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี จากตัวแทนฤดูกาล 2 ฤดูกาล คือตัวแทนฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) และตัวแทนฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) พบปริมาณน้ำในดินตะกอนรวมทุกระดับชั้นดินมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20.13-78.44 (ภาพผนวกที่ 5) มีค่าเฉลี่ยทุกระดับชั้นดินเท่ากับร้อยละ 49.68 ± 1.10 (ตารางที่ 9) และสามารถแสดงผลการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอนได้ดังนี้

5.1 การแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอนเชิงพื้นที่

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอนเชิงพื้นที่ พบว่า

ปริมาณน้ำในดินตะกอนมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27.51-76.96 โดยปริมาณน้ำในดินมีค่าเฉลี่ยทั้งอ่าว เท่ากับร้อยละ 54.56 ± 15.62 (ตารางที่ 8) ซึ่งสถานีที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอนต่ำสุด ได้แก่ สถานีที่ 15 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 27.51 ± 1.31 ซึ่งเป็นบริเวณหาดทรายบ้านสะพานหิน ลักษณะดินเป็นทรายปนเปลือกหอย ส่วนบริเวณที่พบการสะสมของปริมาณน้ำในดินตะกอนสูง ได้แก่ บริเวณสถานีที่ 16 เป็นชายฝั่งด้านทิศตะวันตกบริเวณหัวแหลมศอก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 76.96 ± 2.10 (ภาพที่ 11)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณน้ำในดินตะกอน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 3)

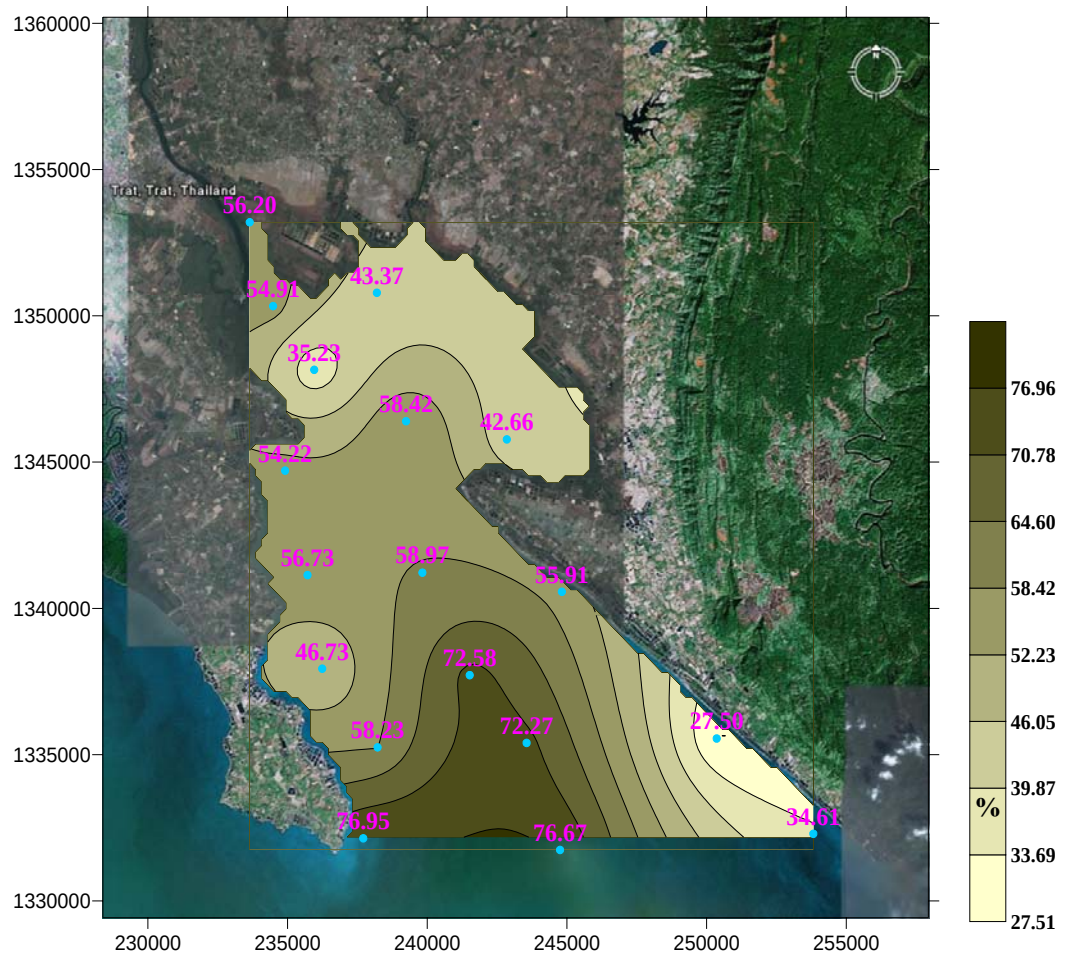
5.2 การแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละสถานีเพื่อเปรียบเทียบการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนตามฤดูกาล พบว่า

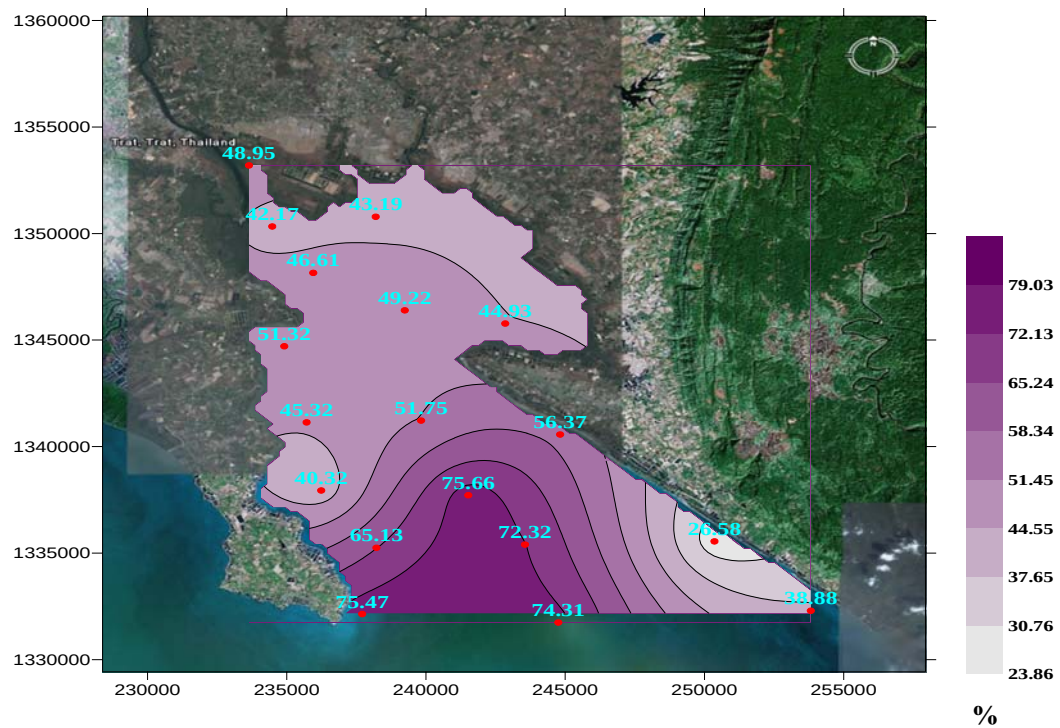
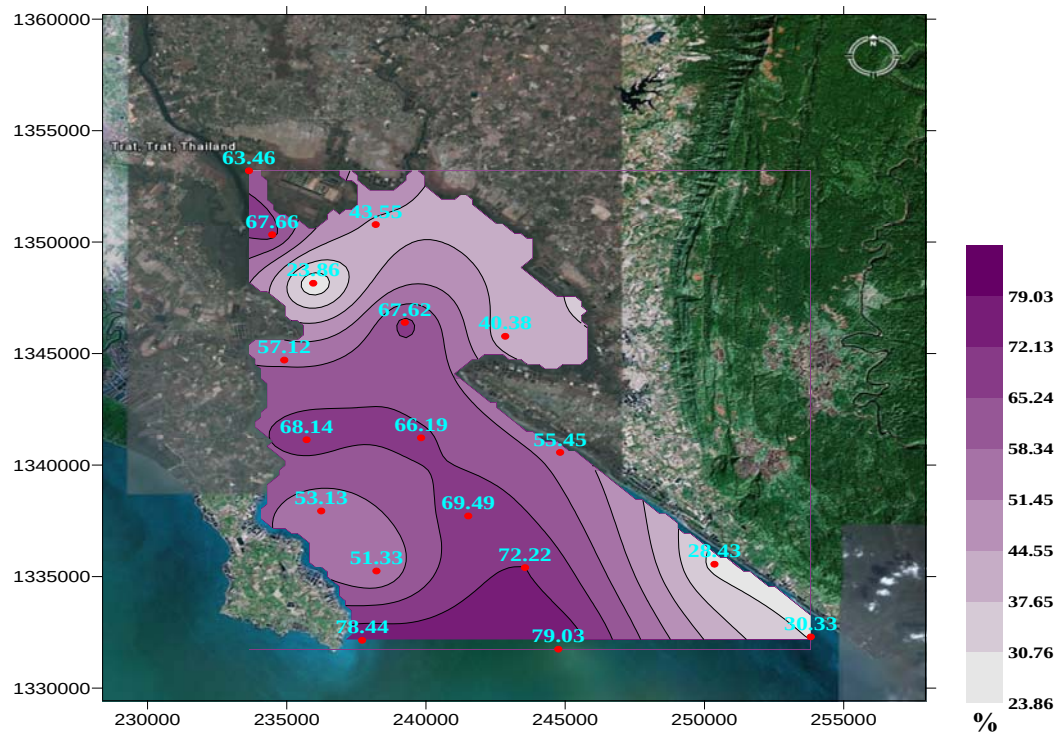
ปริมาณน้ำในดินตะกอนที่เก็บในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) มีค่าปริมาณน้ำในดินตะกอนเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 56.44 ± 17.04 (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอนต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 4 มีค่าเท่ากับร้อยละ 23.86 ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอนสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 17 มีค่าเท่ากับร้อยละ 79.03 (ภาพที่ 12)

ปริมาณน้ำในดินตะกอนที่เก็บในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีค่าปริมาณน้ำในดินตะกอนเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 52.69 ± 14.30 (ตารางที่ 7) ตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอนต่ำสุดเป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 15 มีค่าเท่ากับร้อยละ 26.58 ส่วนตัวอย่างดินตะกอนที่มีปริมาณน้ำในดินตะกอนสูง เป็นตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 12 มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.66 (ภาพที่ 12)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของฤดูกาลต่อปริมาณน้ำในดินตะกอนพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 10)



ภาพที่ 11 การแพร่กระจายของปริมาณน้ำเฉลี่ยในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร
ทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 12 การแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอน ที่ระดับความลึก 0-1 เซนติเมตร ในฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) (บน) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) (ล่าง)

6. การแพร่กระจายตามแนวตั้งของโลหะหนักในดินตะกอน

จากการวิเคราะห์การแพร่กระจายตามแนวตั้งของความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในดินตะกอน (ภาพที่ 22-24) พบว่า

แคดเมียม

รูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของความเข้มข้นของทองแดง

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนตามแนวตั้ง พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในแต่ละระดับชั้นดินของทุกสถานีส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันตลอดความลึกของชั้นดิน ได้แก่ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 8, 5, 7, 10 และ 18 ในช่วงฤดูฝน สถานีที่ 2, 3, 4, 6 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15 และ 16 ทั้งฤดูฝนและฤดูร้อน

ทองแดง

รูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของความเข้มข้นของทองแดง

1. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 1 และ 2 ทั้งฤดูฝนและฤดูร้อน สถานีที่ 5 และ 13 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 9 และ 18 ในช่วงฤดูฝน
2. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ตัวอย่างดินตะกอน สถานีที่ 15 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 18 ในช่วงฤดูร้อน
3. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 7, 12, 14 และ 16 ทั้งฤดูฝนและฤดูร้อน สถานีที่ 10 และ 17 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 6 ในช่วงฤดูฝน

ตะกั่ว

รูปแบบการแพร่กระจายตามแนวโน้มของความเข้มข้นของตะกั่ว

1. ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 1, 11 และ 15 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 17 และ 18 ในช่วงฤดูฝน
2. ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินตะกอน สถานีที่ 12, 14 และ 16 ในช่วงฤดูร้อน
3. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 1, 2, 3, 4 และ 9 ทั้งฤดูฝนและฤดูร้อน สถานีที่ 7, 11 และ 15 ในช่วงฤดูฝน และสถานีที่ 5, 6 และ 8 ในช่วงฤดูร้อน

7. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด

แคดเมียม

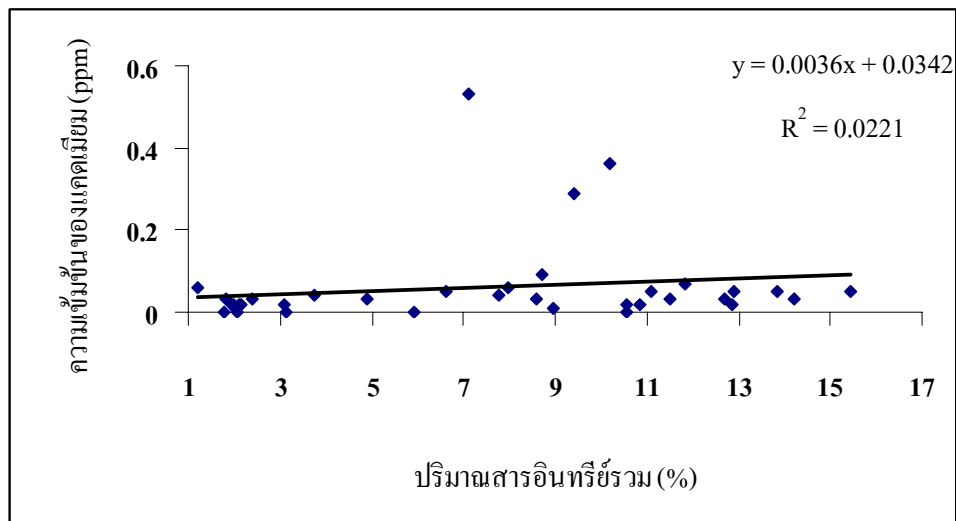
จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของแคดเมียม พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแคดเมียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจัดอันดับของ Spearman's rho เท่ากับ 0.349 (ตารางผนวกที่ 11) ซึ่งหมายความว่า การพบความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์รวมว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด หากในดินตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์รวมอยู่มากก็สามารถพบความเข้มข้นของแคดเมียมมากตามไปด้วย และในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณสารอินทรีย์รวมน้อยการพบความเข้มข้นของแคดเมียมก็น้อยตามไปด้วย แสดงว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอน รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของแคดเมียม แสดงไว้ในภาพที่ 13

ทองแดง

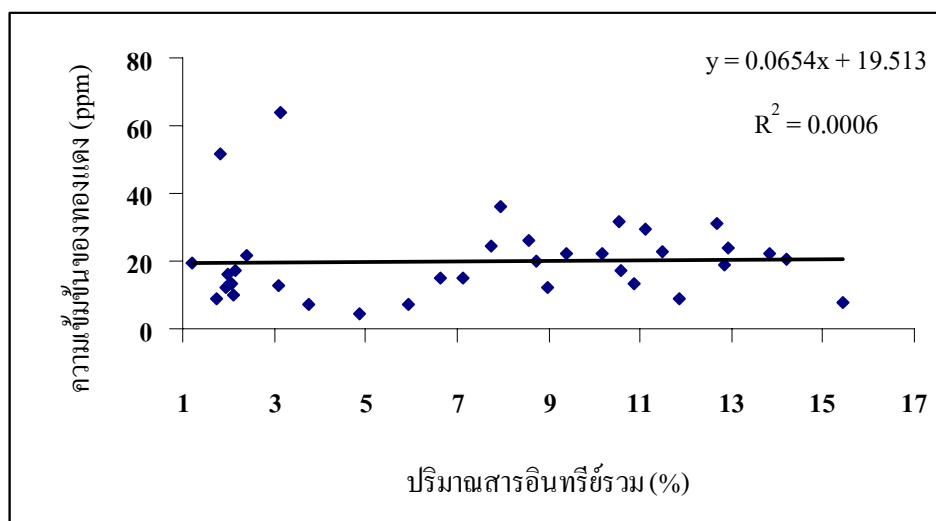
จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นทองแดง พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของทองแดง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 11) ซึ่งหมายความว่า ไม่ว่าในดินตะกอนจะมีปริมาณสารอินทรีย์รวมมากน้อยเพียงใด ความเข้มข้นของทองแดงจะไม่มีแบบแผนของการเปลี่ยนแปลง หรือความสัมพันธ์ไปในแนวทางเดียวกับปริมาณสารอินทรีย์รวม แสดงว่า ความเข้มข้นของทองแดงไม่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณสารอินทรีย์รวม รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของทองแดง แสดงไว้ในภาพที่ 14

ตะกั่ว

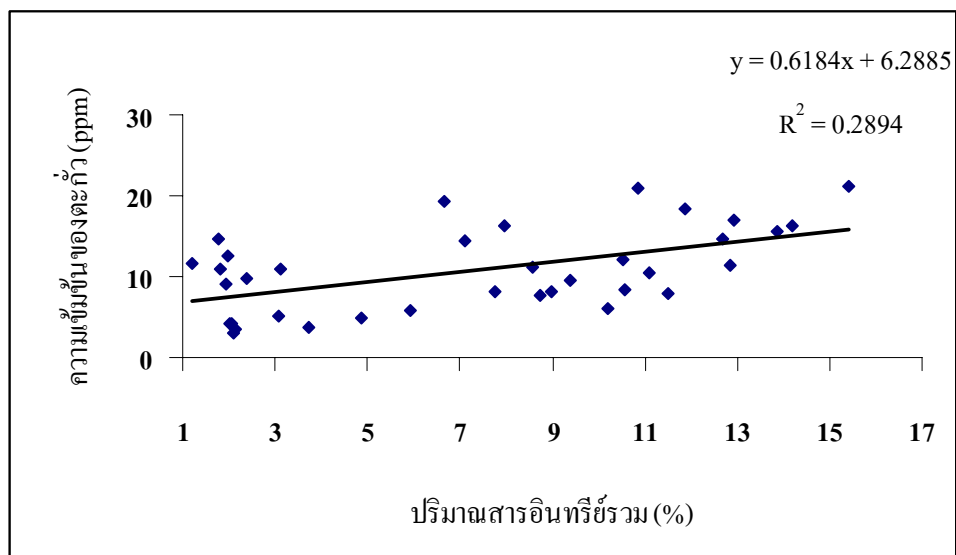
จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของตะกั่ว พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของตะกั่ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson เท่ากับ 0.538 (ตารางผนวกที่ 12) ซึ่งหมายความว่า การพบความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์รวมว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด หากในดินตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์รวมอยู่มากก็สามารถพบความเข้มข้นของตะกั่วมากตามไปด้วย และในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณสารอินทรีย์รวมน้อยการพบความเข้มข้นของตะกั่วก็น้อยตามไปด้วย แสดงว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอน รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของตะกั่ว แสดงไว้ในภาพที่ 15



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและแคะเมียม



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและทองแดง



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมและตะกั่ว

8. เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในดินตะกอนตามฤดูกาล

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในดินตะกอนที่อยู่ระดับผิวหน้า (0-1 ซม.) ของการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง มาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูกาล (Independent T-Test) โดยตัวอย่างครั้งที่ 1 เป็นตัวแทนของฤดูฝน และตัวอย่างครั้งที่ 2 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ได้ผลดังนี้

แคดเมียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนในช่วงฤดูฝน เฉลี่ย 0.06 ± 0.08 ppm และช่วงฤดูร้อนมีปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนเฉลี่ย 0.06 ± 0.13 ppm (ตารางที่ 7)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นแคดเมียมในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 6) โดยที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในช่วงฤดูฝนแตกต่างกับในช่วงฤดูร้อน

ทองแดง

จากการวิเคราะห์ปริมาณทองแดงในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ปริมาณทองแดงในดินตะกอนในช่วงฤดูฝนเฉลี่ย 18.80 ± 8.65 ppm และช่วงฤดูแล้งมีปริมาณทองแดงในดินตะกอนเฉลี่ย 23.84 ± 17.30 ppm (ตารางที่ 7)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นทองแดงในดินตะกอนในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 9)

ตะกั่ว

จากการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ปริมาณตะกั่วในดินตะกอนในช่วงฤดูฝนเฉลี่ย 11.13 ± 5.57 ppm และช่วงฤดูแล้งมีปริมาณตะกั่วในดินตะกอนเฉลี่ย 10.52 ± 4.80 ppm (ตารางที่ 7)

เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนในแต่ละฤดูกาล พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตารางผนวกที่ 8)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ) และโลหะหนัก (ppm) ในดินตะกอนผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) บริเวณอ่าวตราด ในแต่ละฤดูกาล

สารอินทรีย์รวม น้ำในดินตะกอน และโลหะหนัก	ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย	SD
สารอินทรีย์รวม (ร้อยละ)	ฤดูฝน	9.08	±4.49
	ฤดูแล้ง	5.58	±3.80
น้ำในดินตะกอน (ร้อยละ)	ฤดูฝน	56.44	±17.04
	ฤดูแล้ง	52.69	±14.30
แอมโมเนีย (ppm)	ฤดูฝน	0.06	±0.08
	ฤดูแล้ง	0.06	±0.13
ทองแดง (ppm)	ฤดูฝน	18.80	±8.65
	ฤดูแล้ง	23.84	±17.30
ตะกั่ว (ppm)	ฤดูฝน	11.13	±5.57
	ฤดูแล้ง	10.52	±4.80

ตารางที่ 8 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) และโลหะหนัก (ppm) ในดินตะกอนผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) บริเวณอ่าวตราด จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง

สารอินทรีย์รวม น้ำในดินตะกอน และโลหะหนัก	ค่าเฉลี่ย	SD
สารอินทรีย์รวม (ร้อยละ)	7.33	±3.38
น้ำในดินตะกอน (ร้อยละ)	54.56	±15.62
แอมโมเนีย (ppm)	0.06	±0.07
ทองแดง (ppm)	21.32	±10.33
ตะกั่ว (ppm)	10.82	±4.67

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) และโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง

สารอินทรีย์รวม น้ำในดินตะกอน	สถานี																		ค่าเฉลี่ย
																			ทุก สถานี
และโลหะหนัก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
สารอินทรีย์รวม																			
(ร้อยละ)	6.31	3.68	5.1	2.59	9.76	9.38	7.42	10.95	10.86	4.83	4.63	7.12	5.65	12.65	10.43	10.99	10.93	2.91	7.07
SD	±4.79	±1.93	±1.40	±0.85	±3.04	±1.96	±0.74	±1.78	±1.13	±4.14	±3.86	±5.79	±5.68	±0.89	±7.84	±2.94	±3.98	±8.78	±3.45
แกลดเมียม (ppm)	0.10	0.11	0.05	0.02	0.03	0.07	0.03	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.07	0.05	0.04
SD	±0.02	±0.12	±0.06	±0.01	±0.02	±0.06	±0.01	±0.02	±0.02	±0.03	±0	±0.01	±0.03	±0.04	±0.04	±0.01	±0.01	±0.01	±0.02
ทองแดง (ppm)	21.8	20.6	7.97	12.4	29	21	10	28	32.1	16.4	46.9	22.73	27.75	11.3	41.7	15.1	9.77	28.7	22.43
SD	±5.79	±4.21	±0.72	±4.96	±5.98	±2.09	±4.65	±5.09	±6.37	±8.03	±25.06	±1.66	±11.26	±3.17	±13.66	±0.18	±0.34	±4.72	±10.97
ตะกั่ว (ppm)	6.53	5.61	5.3	3.35	10	11	8.1	12.4	10.2	16	11.9	12.9	15.3	19	12.3	13.3	18	10.18	11.21
SD	±0.34	±1.82	±0.80	±0.78	±2.13	±4.51	±2.04	±4.46	±3.05	±0.30	±1.84	±5.63	±4.58	±1.47	±0.74	±5.08	±6.72	±2.10	±4.34

วิจารณ์

1. ความเข้มข้นและการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอน

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ระดับผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) ของสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง (ภาพที่ 16-21) ตามระยะทางจากปากแม่น้ำ เราสามารถแบ่งเขตพื้นที่การศึกษาได้เป็น 2 บริเวณ ดังนี้

บริเวณที่ 1

บริเวณตอนเหนือของอ่าว ซึ่งเป็นบริเวณปากแม่น้ำ ที่มีแม่น้ำไหลลงนั่นคือ แม่น้ำเมืองตราด คลองบางพระ คลองท่าพริกและคลองเนินสูง บริเวณนี้ ได้แก่ สถานีที่ 1, 2, 3 และ 4 พบปริมาณสารอินทรีย์รวมและความเข้มข้นของโลหะหนักสูงในบริเวณปากแม่น้ำ นั่นคือ บริเวณสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณตอนในของแม่น้ำตราด และสถานีที่ 2 ซึ่งเป็นจุดรวมของแม่น้ำตราดกับคลองบางพระ พื้นที่ชายฝั่งบริเวณนี้จะได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างมาก

ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณนี้ พบว่า มีค่าสูงบริเวณสถานีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.25 ppm ทั้งนี้เนื่องจากสถานีนี้มีปริมาณสารอินทรีย์รวมค่อนข้างสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ในบริเวณเดียวกัน ซึ่งสารอินทรีย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของโลหะหนักในดินตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของสุวรรณ และไพฑูรย์ (2543) ที่พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ และมีแนวโน้มที่จะจับกับอินทรีย์สารเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

สำหรับความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนบริเวณนี้ พบว่า มีค่าสูงในสถานีที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.76 ± 6.38 และ 18.53 ± 1.87 ppm ตามลำดับ มีรูปแบบการสะสมคล้ายกับการสะสมของอินทรีย์สาร เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีแหล่งชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากการประกอบอุตสาหกรรมเนื่องจากการเกษตรจะมีการปนเปื้อนของอินทรีย์สารที่มีความเข้มข้นสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ค) จึงทำให้เกิดการสะสม

ของโลหะหนักที่สูง เนื่องจากโลหะหนักเหล่านี้จะถูกดูดซับอยู่กับตะกอนสารอินทรีย์และดินประเภทดินเหนียว (โคลน) ได้ดี

ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนบริเวณนี้ พบว่า มีการสะสมที่สูงในบริเวณปากแม่น้ำ (พิชาญ, 2519) คือในสถานีที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.15 ± 1.29 และ 5.60 ± 2.83 ppm ตามลำดับ

บริเวณที่ 2

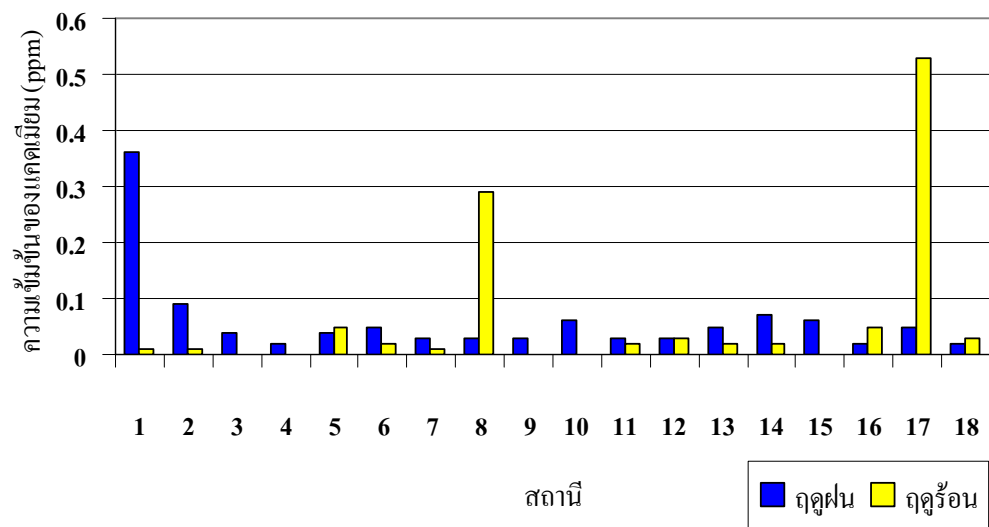
บริเวณชายฝั่งตะวันตก ตอนกลาง และตอนล่างของอ่าว ประกอบด้วยสถานีที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 และ 18 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมและโลหะหนักสูงกว่าในบริเวณแรก ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนี้เป็นแหล่งชุมชนเป็นส่วนใหญ่ มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ประกอบกับมีท่าเทียบเรือประมง สะพานปลา แพลตา อีกทั้งมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งบริเวณนี้ ทำให้มีเรือประมงเข้ามาทำการประมงบริเวณชายฝั่งด้านทิศตะวันตกเป็นจำนวนมาก ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการเพิ่มโอกาสให้มีการชะล้างโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำสูงขึ้น มีผลต่อการแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอนสูงมากตามไปด้วย

ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณนี้ พบว่า มีค่าสูงบริเวณสถานีที่ 8 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.16 ± 0.18 ppm ซึ่งเป็นบริเวณชายฝั่งแหลมคันนา และสถานีที่ 17 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ± 0.34 ppm ซึ่งเป็นบริเวณตอนล่างของอ่าวติดต่อกับทะเลเปิด และเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณสถานีที่ 5 กับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2547ค) ที่ทำการศึกษในบริเวณเดียวกัน พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ < 0.12 ppm

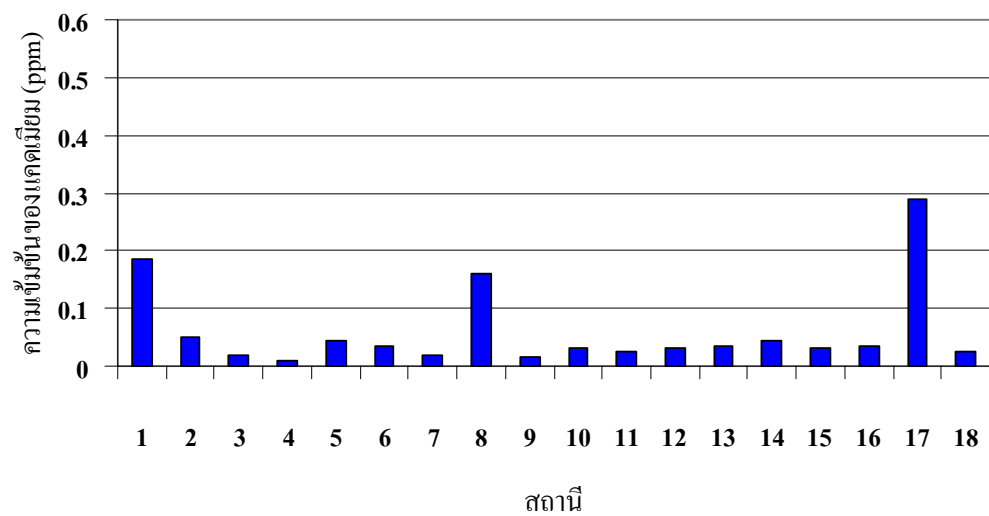
ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนบริเวณนี้มีค่าสูง โดยสถานีที่มีความเข้มข้นของทองแดงเฉลี่ยสูงสุด คือ สถานีที่ 11 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.07 ± 24.10 ppm เป็นบริเวณชายฝั่งทะเลด้านทิศตะวันตกของอ่าวบริเวณบ้านแหลมเทียน ซึ่งเป็นแหล่งชุมชนและมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (หอยนางรม) ในบริเวณนี้ พบแนวโน้มการแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงมีค่าลดลงจากชายฝั่งด้านทิศตะวันตกไปตะวันออก ซึ่งเห็นได้ชัดในช่วงฤดูฝนเนื่องจากความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนจะพบสูงในบริเวณที่มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ (Angelidis *et al.*,

1995) เช่น กิจกรรมการเกษตร น้ำที่จากบ้านเรือน ส่วนการลดลงของความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนตามระยะทางจากชายฝั่งด้านทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกนั้น ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีต้นกำเนิดมาจากแผ่นดิน และอาจมาจากการห่างจากแหล่งที่มีการปลดปล่อยของโลหะหนัก จึงเป็นไปได้ที่อิทธิพลของกระแสน้ำและปฏิกิริยาทางเคมีจะทำให้ปริมาณโลหะหนักลดลงตามระยะทางที่ห่างจากฝั่ง และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนบริเวณสถานีที่ 5 และ 6 กับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2547ค) ที่ทำการศึกษาในบริเวณเดียวกัน พบว่า บริเวณสถานีที่ 5 ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าลดลง โดยความเข้มข้นของทองแดงมีค่า 49 ppm ส่วนการศึกษารั้งนี้มีค่าเท่ากับ 27.15 ppm ส่วนสถานีที่ 6 พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของทองแดงมีค่า 16.0 ppm ส่วนการศึกษารั้งนี้มีค่าเท่ากับ 16.80 ppm

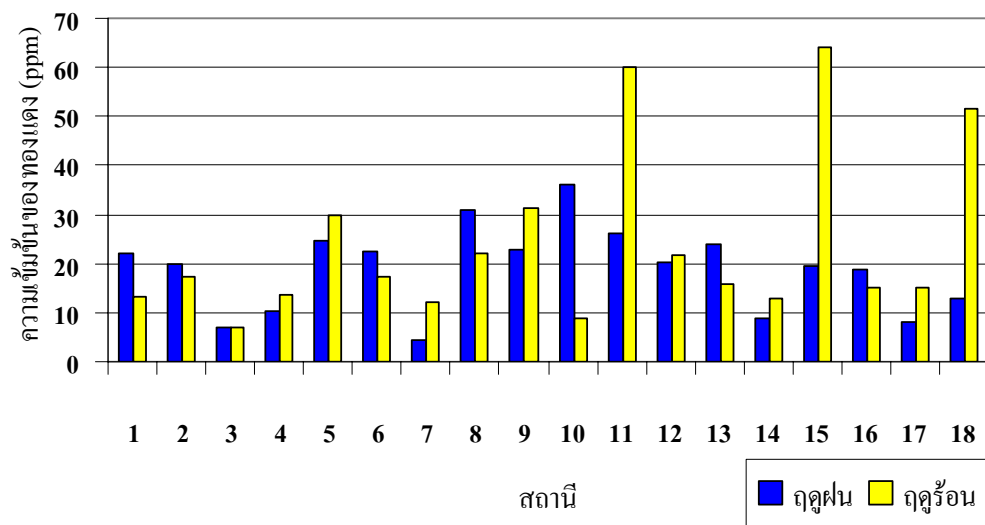
สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วในบริเวณนี้ พบว่า มีค่าสูงกว่าบริเวณปากแม่น้ำ สถานีที่มีความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ยสูงสุด คือ สถานีที่ 14 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.71 ± 1.83 ppm รองลงมาคือ สถานีที่ 17 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.83 ± 4.72 ppm ทั้ง 2 สถานีเป็นสถานีที่อยู่บริเวณตอนล่างของอ่าว ติดต่อกับทะเลเปิด พบแนวโน้มการแพร่กระจายความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากปากแม่น้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนบริเวณสถานีที่ 5 และ 6 กับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2547ค) ที่ทำการศึกษาในบริเวณเดียวกัน พบว่า บริเวณสถานีที่ 5 ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความเข้มข้นของตะกั่วมีค่า 9.4 ppm ส่วนการศึกษารั้งนี้มีค่าเท่ากับ 9.34 ppm ส่วนสถานีที่ 6 พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย โดยความเข้มข้นของตะกั่วมีค่า 11.0 ppm ส่วนการศึกษารั้งนี้มีค่าเท่ากับ 15.37 ppm



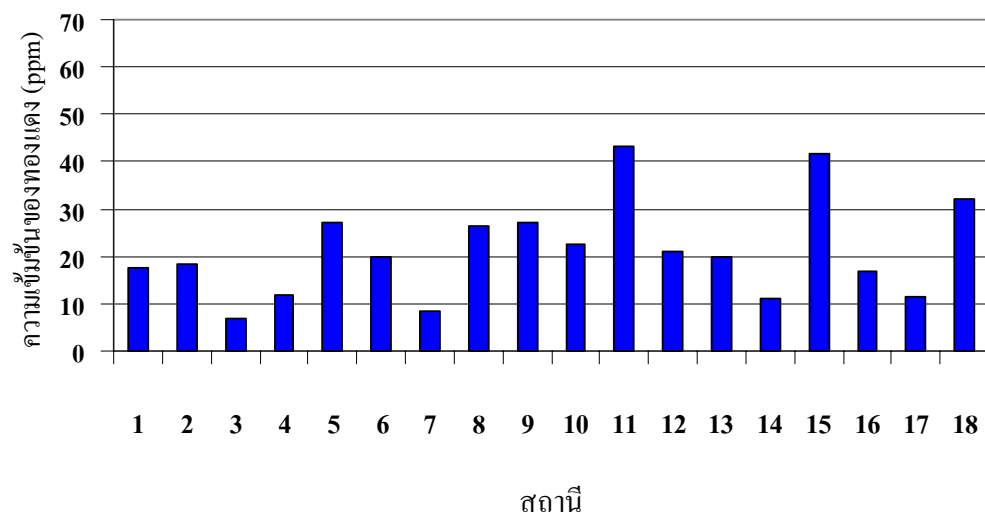
ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง
แต่ละฤดูกาล



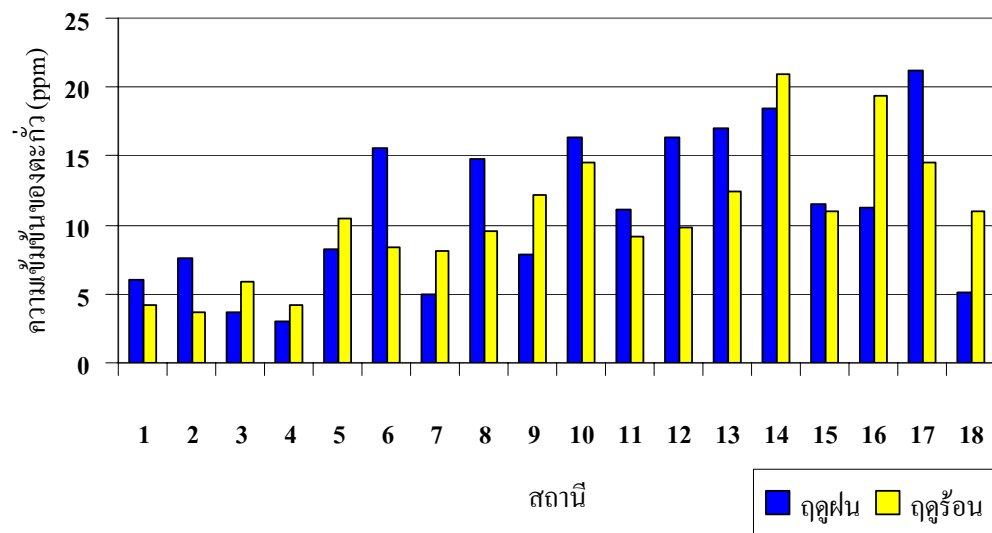
ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของแคดเมียมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง
ทั้ง 2 ฤดูกาล



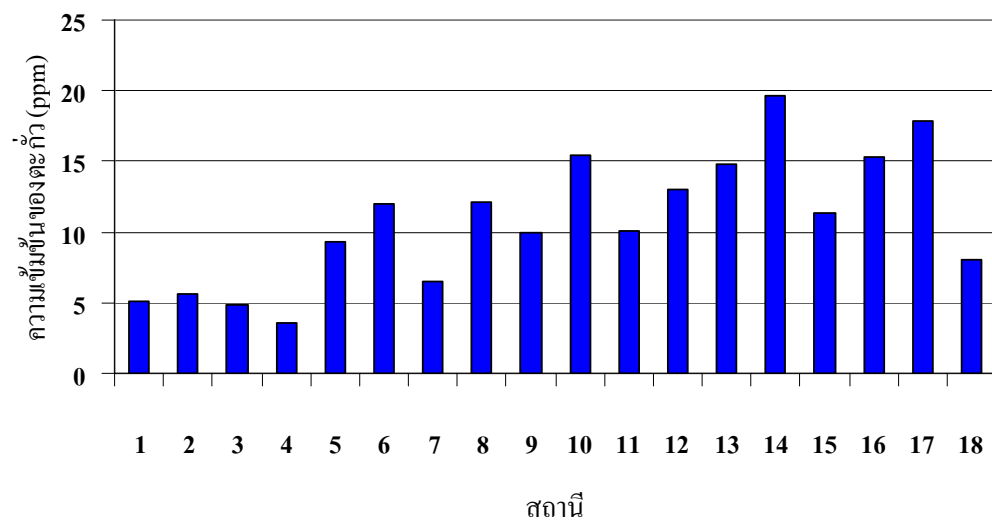
ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของทองแดงที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่างแต่ละฤดูกาล



ภาพที่ 19 ความเข้มข้นของทองแดงที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



ภาพที่ 20 ความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง
แต่ละฤดูกาล



ภาพที่ 21 ความเข้มข้นของตะกั่วที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่าง
ทั้ง 2 ฤดูกาล

การแพร่กระจายตามแนวตั้งของโลหะหนักในดินตะกอน

จากการวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนตามแนวตั้ง (ภาพที่ 22-24) พบว่า ลักษณะการแพร่กระจายมีความแปรปรวนตามระดับความลึก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การที่ดินถูกรบกวนโดยกระบวนการต่าง ๆ ปริมาณสารอินทรีย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการดูดซับและการคายของโลหะหนักในดินตะกอน ซึ่งการดูดซับโลหะหนักของสารอินทรีย์จะทำให้ดินตะกอนมีปริมาณโลหะหนักสูงขึ้น (Suen-Zone *et al.*, 2001)

แคดเมียม

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนตามแนวตั้ง พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในแต่ละระดับชั้นดินของทุกสถานีส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันตลอดความลึกของชั้นดิน ทำให้แนวโน้มการแพร่กระจายของแคดเมียมตามแนวตั้งไม่แตกต่างกันมากนัก

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนกับปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง จะมีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูงตามไปด้วย ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ จะมีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำไปด้วยเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของแคดเมียม ระหว่างสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง กับสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงจะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของแคดเมียมลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสถานีที่ 5 ฤดูร้อน ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำ จะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของแคดเมียมเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสถานีที่ 18 ฤดูร้อน

ความเข้มข้นแคดเมียมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) บริเวณสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณปากแม่น้ำมีความเข้มข้นมากที่สุด โดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.36 ppm ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของสุวรรณี (2535) พบว่าบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ปรานบุรี และบางปะกง มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่สูง

สำหรับตัวอย่างดินตะกอนในบางสถานีไม่สามารถที่จะตรวจวัดหาความเข้มข้นของแคดเมียมได้ ดังตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 3 จากการเก็บตัวอย่างในฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) เนื่องจากมีความเข้มข้นของแคดเมียมที่น้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ถึงแม้การศึกษาครั้งนี้จะใช้การวิเคราะห์โดยวิธี Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer ซึ่งมีความไว (sensitivity) สูงพอสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของแคดเมียมในดินตะกอนแล้วก็ตาม

ทองแดง

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนตามแนวดิ่ง พบว่า ทองแดงในแต่ละระดับชั้นดินมีรูปแบบการแพร่กระจาย ดังนี้

1. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ระดับผิวน้ำดินตะกอนจะมีความเข้มข้นของทองแดงต่ำกว่าในดินตะกอนระดับล่าง จากการศึกษาของ แววดา (2541) พบว่าบริเวณปากแม่น้ำจะมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงเนื่องจากเกิดการตกตะกอน และสะสมตัวอยู่ในดินตะกอนที่สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ และมาจากอิทธิพลในเรื่องของความแปรปรวนของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการสะสมของทรายมากกว่าการสะสมของตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำ ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของทองแดงที่อยู่ในดินตะกอนระดับบนมีน้อยกว่าในดินตะกอนที่อยู่ชั้นล่าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของณรงค์ฤทธิ์ (2547) พบว่าดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยามีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวดิ่งของทองแดงในดินตะกอนเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอน

2. ความเข้มข้นของทองแดงที่ลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินตะกอน สถานีที่ 15 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 18 ในช่วงฤดูร้อน รูปแบบการแพร่กระจายของทั้ง 2 สถานี มีการแพร่กระจายที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กัน และลักษณะดินตะกอนเป็นทราย ดินชั้นบริเวณนี้อาจจะเกิดกระบวนการย่อยสลายที่เร็วทำให้เมื่อเวลาผ่านไปดินชั้นบนก็จะกลายเป็นดินชั้นถัดลงไปเรื่อยๆ จึงทำให้ลักษณะการแพร่กระจายตามแนวดิ่งมีค่าลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น และเกิดจากแลกเปลี่ยนของทองแดงระหว่างดินตะกอนผิวน้ำกับมวลน้ำที่อยู่เหนือผิวดินตะกอนได้ง่ายกว่าในบริเวณอื่น ๆ ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า

3. ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น พบได้จากหลายสถานี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของณรงค์ฤทธิ์ (2547) ที่ศึกษาการแพร่กระจายความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนตามแนวตั้งบริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันตลอดแนวตั้ง สถานีที่มีค่าความเข้มข้นของทองแดงสูงใกล้เคียงกันตลอดแนวตั้ง แสดงว่าในบริเวณนั้นมีอัตราการตกตะกอนที่สูงและมีลักษณะดินตะกอนเป็นโคลนละเอียด ได้แก่ สถานีที่ 5, 6, 8, 12 และ 16 ส่วนสถานีที่มีค่าความเข้มข้นของทองแดงต่ำตลอดแนวตั้ง แสดงว่าในบริเวณนั้นอาจมีการตอสะสมของตะกอนที่น้อย แต่มีอัตราการย่อยสลายที่มากและลักษณะดินเป็นทรายเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีความเป็นรุกรุนสูง น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย ได้แก่ สถานีที่ 3, 4 และ 7 แต่มีบางสถานีที่พบว่าความเข้มข้นของทองแดงมีความแปรปรวนค่อนข้างมากตามระดับความลึก พบได้จากตัวอย่างดินตะกอนบริเวณสถานีที่ 15 จากการเก็บตัวอย่างในฤดูฝน โดยพบว่าความเข้มข้นของทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปตามระดับชั้นความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการรบกวนดินตะกอนจากกิจกรรมของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการทำการประมงหรือการสัญจรทางน้ำก็ตาม และอาจเกิดจากการ upward migration ของ pore water (Price *et al.*, 1976)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนกับปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง จะมีความเข้มข้นของทองแดงที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูงตามไปด้วย ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ จะมีความเข้มข้นของทองแดงที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำไปด้วยเช่นกัน

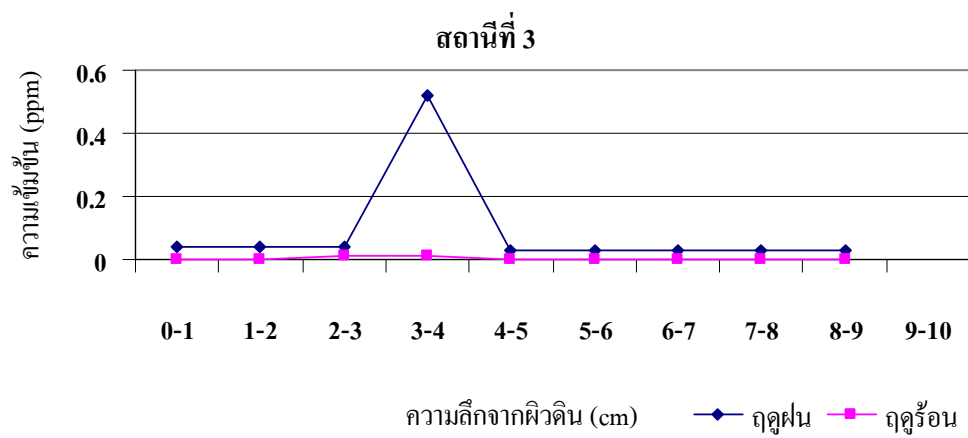
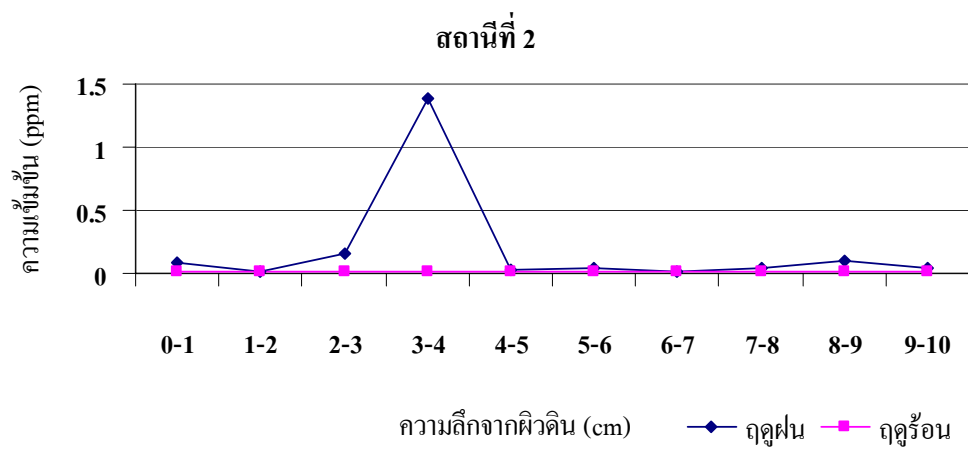
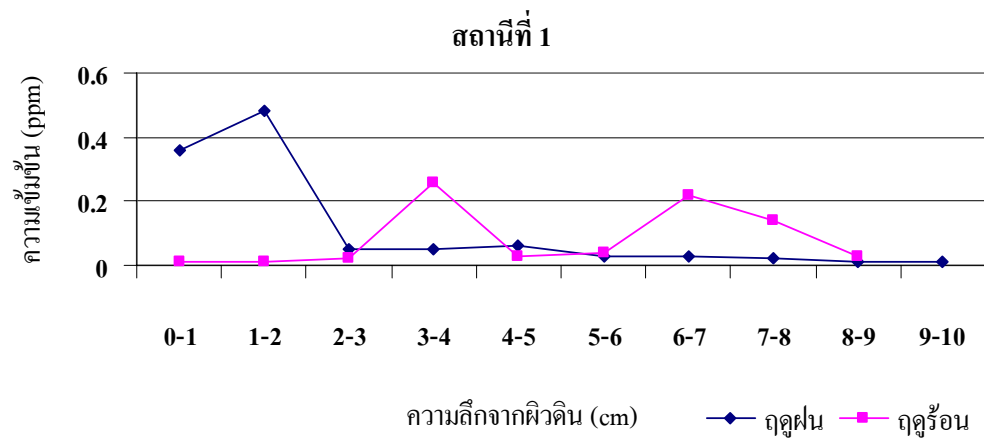
เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของทองแดง ระหว่างสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง กับสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงจะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของทองแดงเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสถานีที่ 5 ฤดูฝน และสถานีที่ 9 ฤดูฝน ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำ จะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวตั้งของทองแดงลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสถานีที่ 15 และ 18 ฤดูร้อน

ตะกั่ว

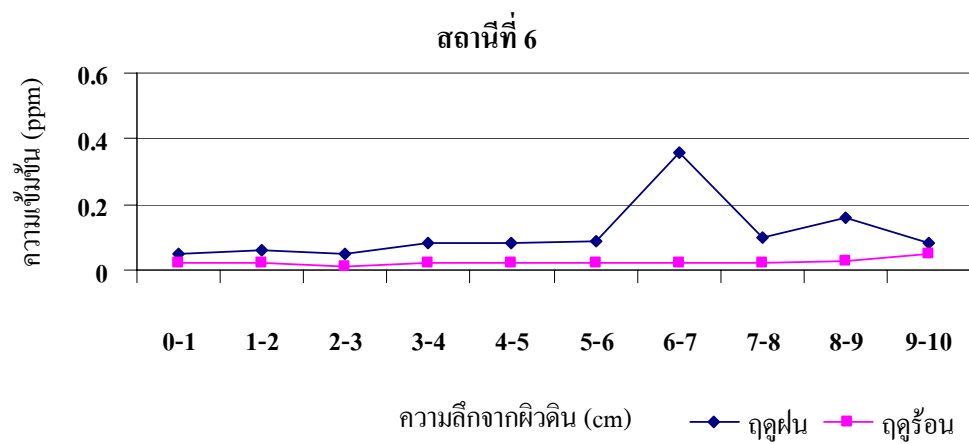
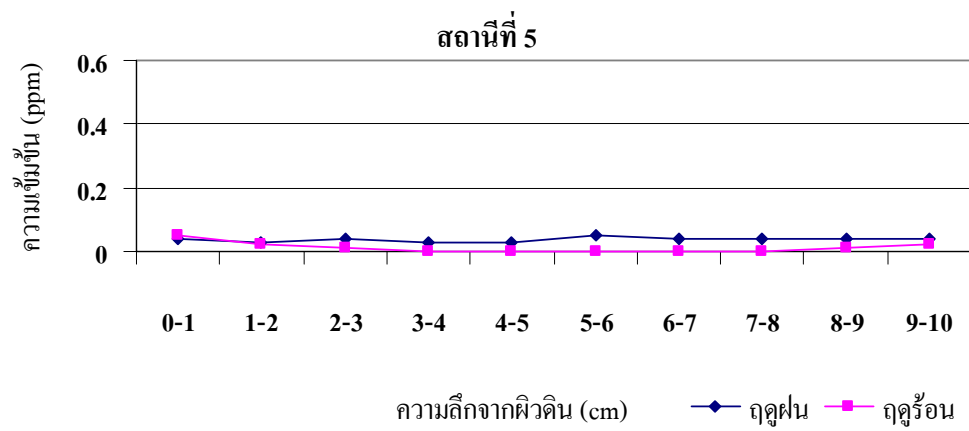
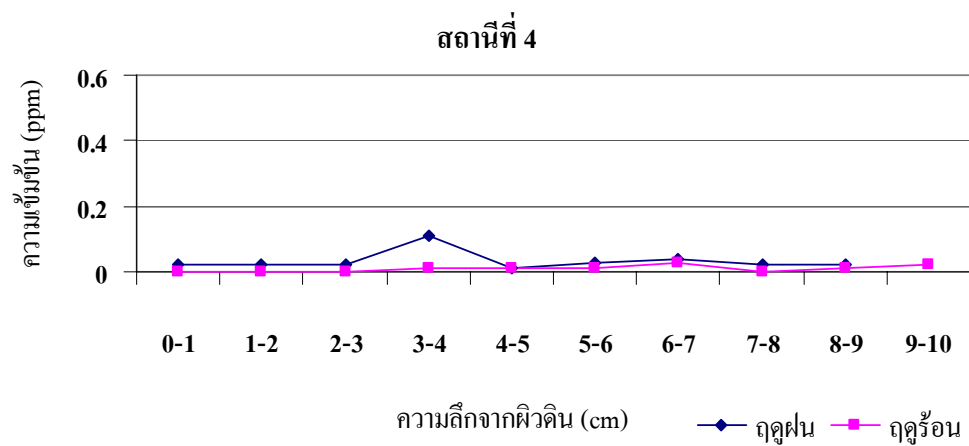
จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนตามแนวคั้ง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละระดับชั้นดินส่วนใหญ่มีแนวโน้มการแพร่กระจายตามแนวคั้งไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้น สถานีที่ 1 ในช่วงฤดูร้อน และสถานีที่ 18 ในช่วงฤดูฝน พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละระดับชั้นดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดินที่เพิ่มขึ้น และมีเพียงสถานีที่ 16 ฤดูร้อน เท่านั้นที่พบความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละระดับชั้นดินมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของชั้นดินที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนกับปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง จะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูงตามไปด้วย ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ จะมีความเข้มข้นของตะกั่วที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำไปด้วยเช่นกัน

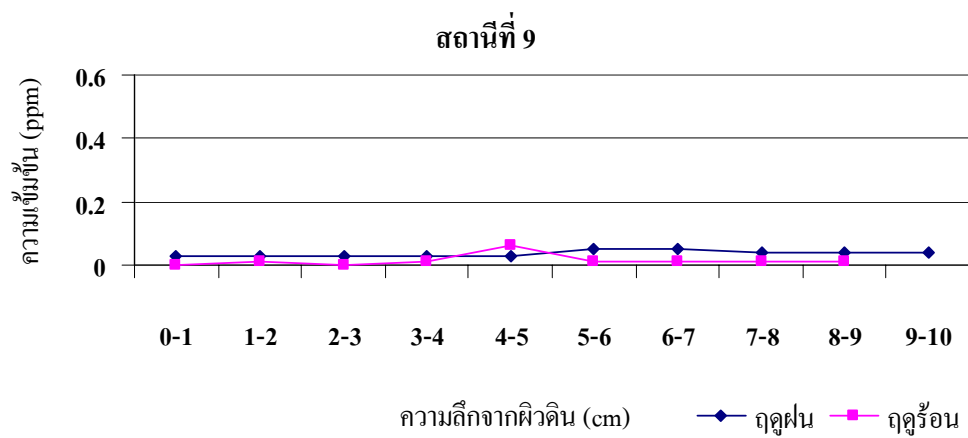
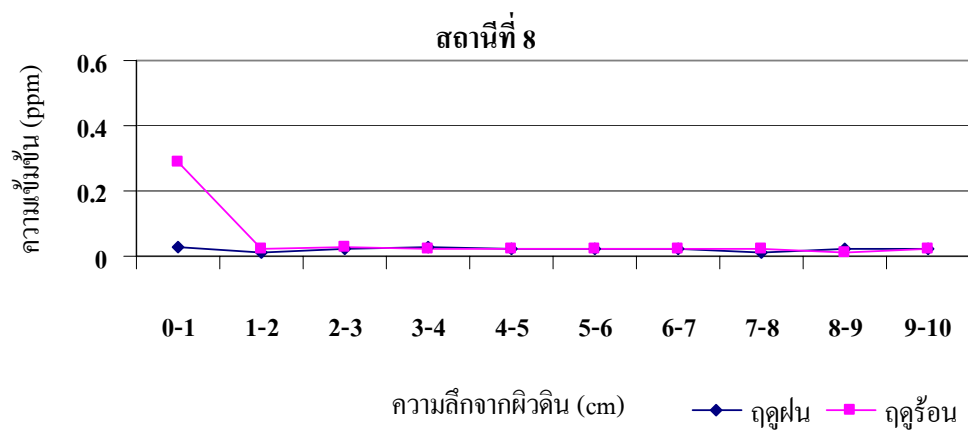
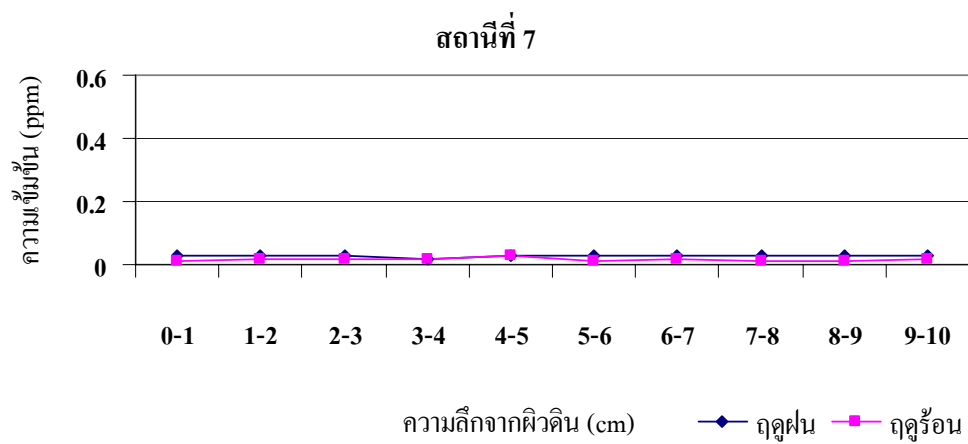
เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวคั้งของตะกั่ว ระหว่างสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนสูง กับสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินตะกอนต่ำ พบว่า สถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงจะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวคั้งของตะกั่วลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ตัวอย่างดินจากสถานีที่ 14 และ 16 ในช่วงฤดูร้อน ส่วนสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำ จะมีรูปแบบการแพร่กระจายตามแนวคั้งของตะกั่วมีค่าใกล้เคียงกันตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น



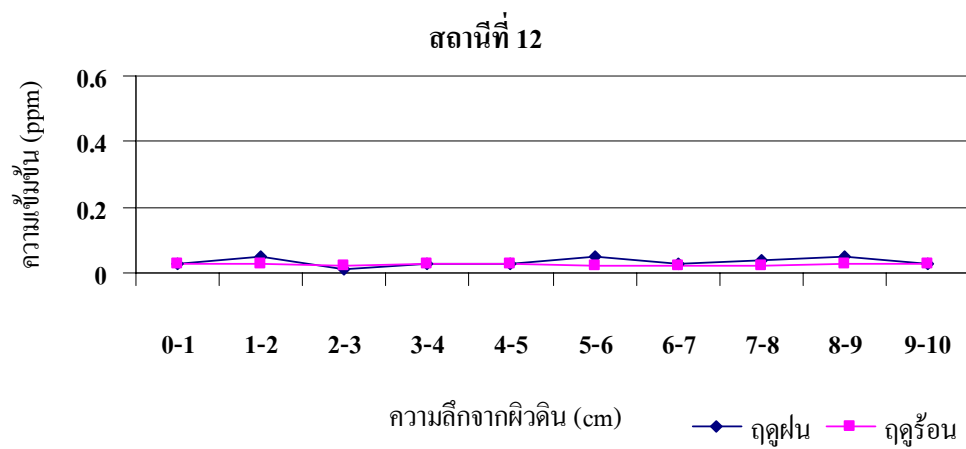
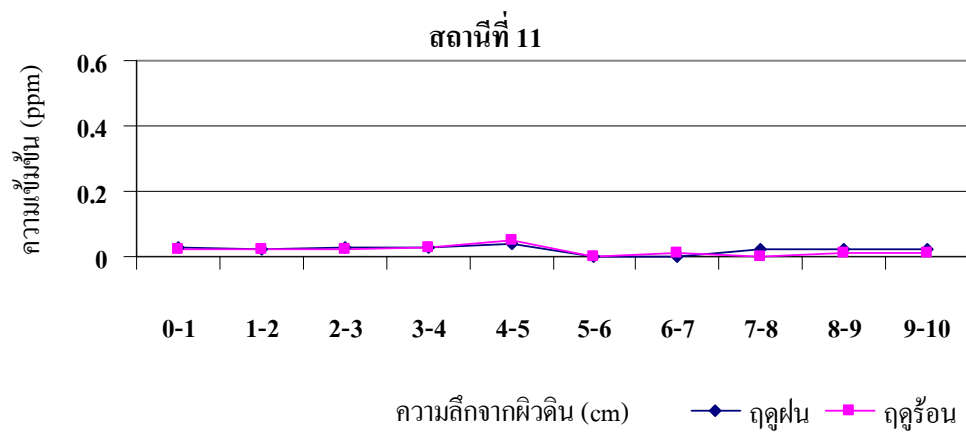
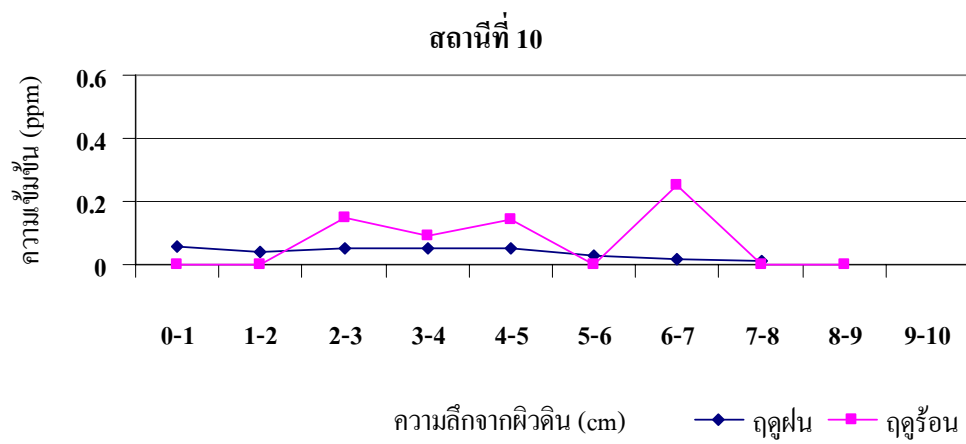
ภาพที่ 22 ความเข้มข้นของแคดเมียมในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



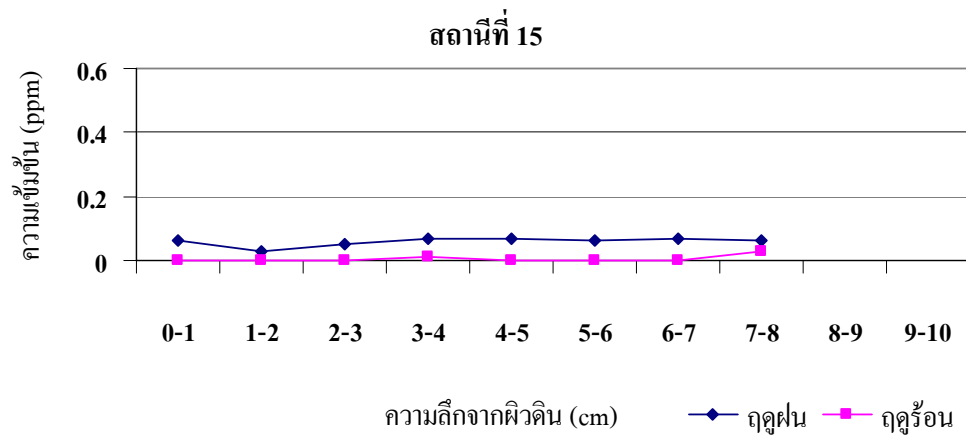
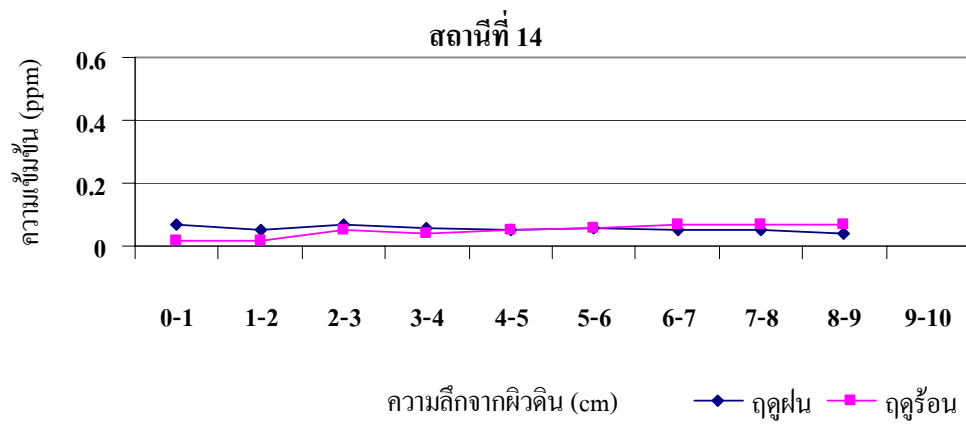
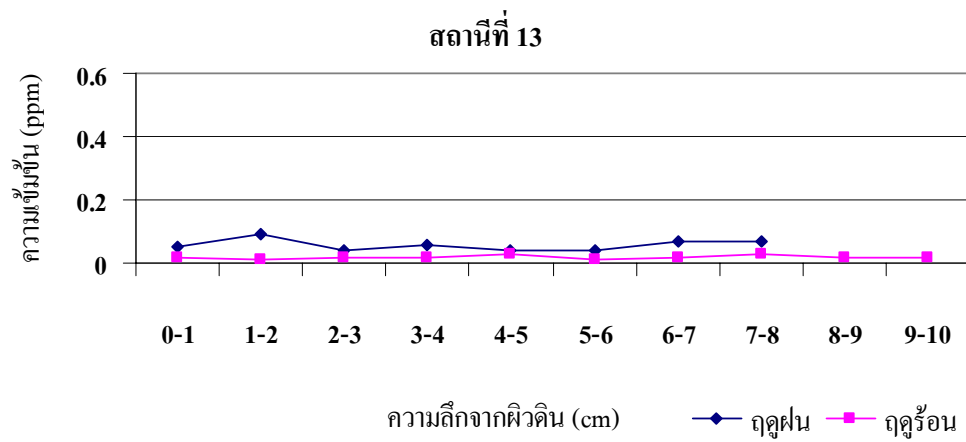
ภาพที่ 22 (ต่อ)



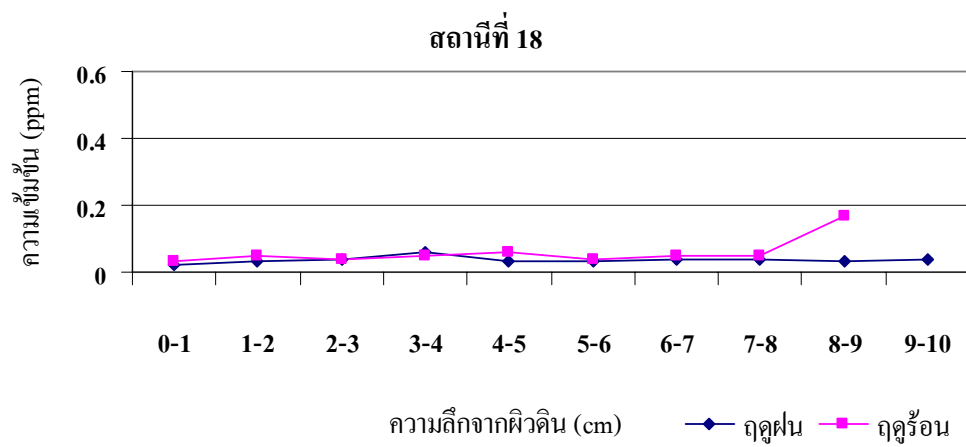
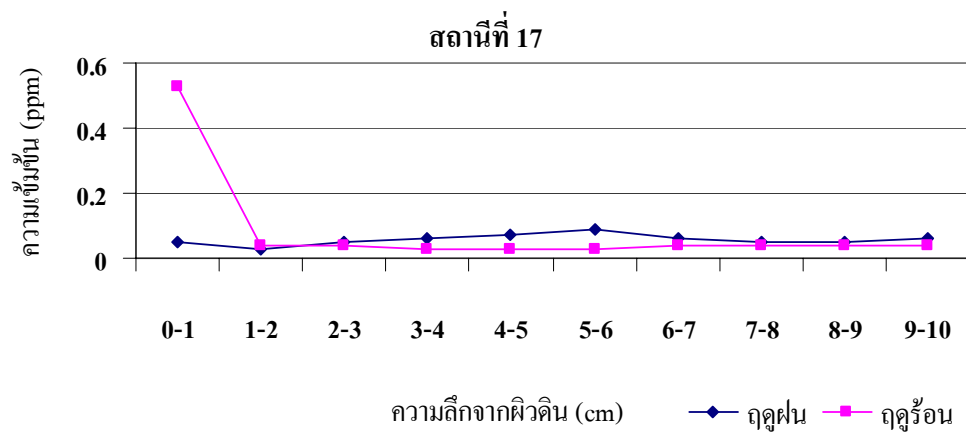
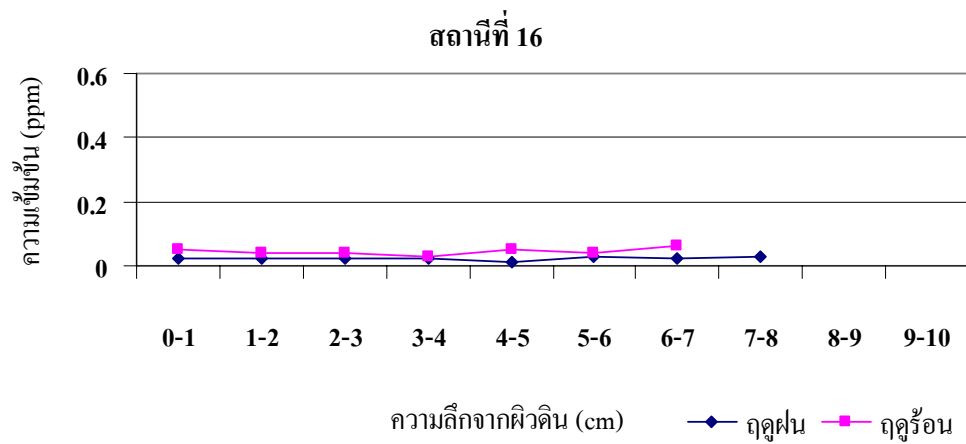
ภาพที่ 22 (ต่อ)



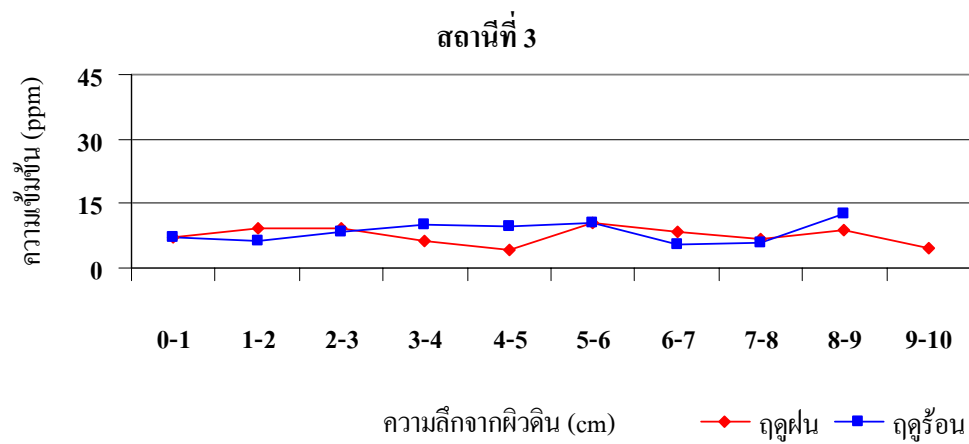
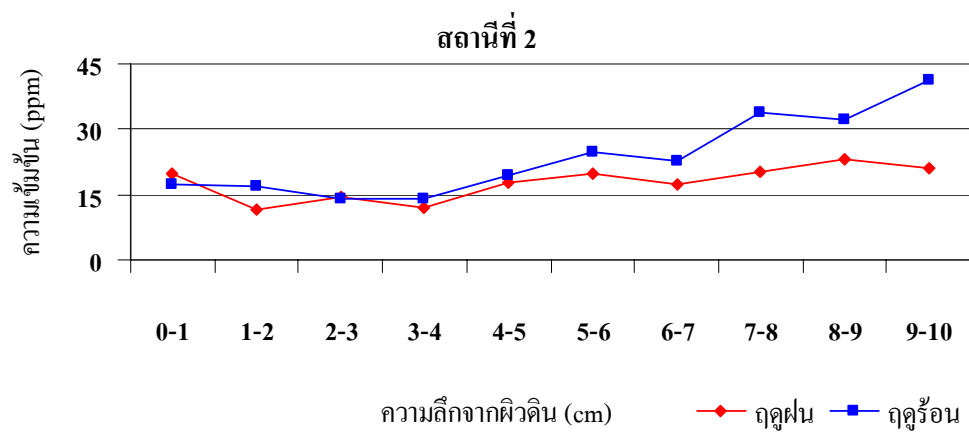
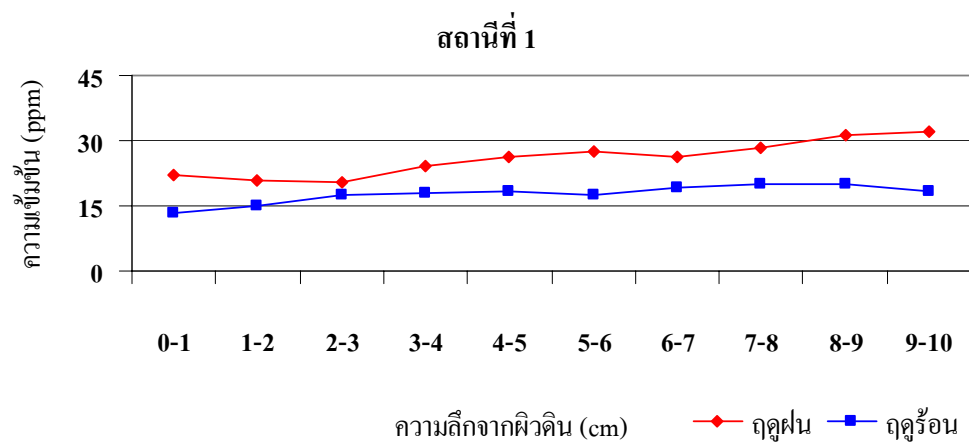
ภาพที่ 22 (ต่อ)



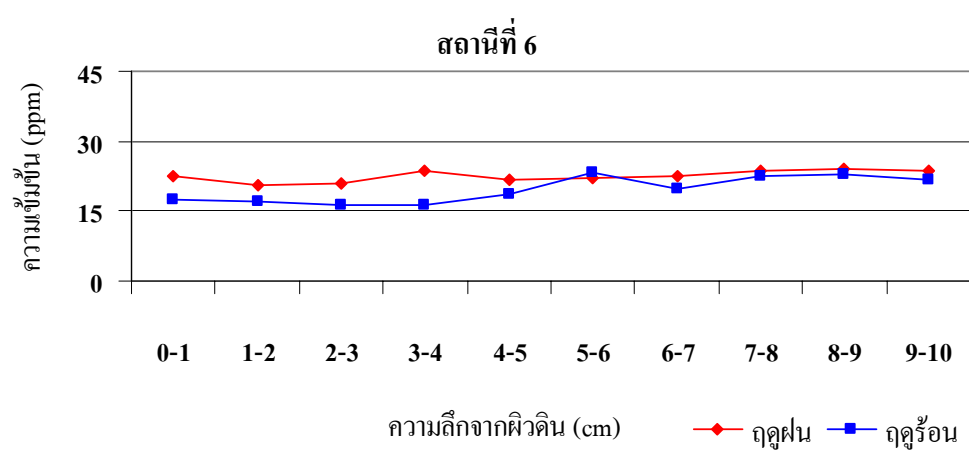
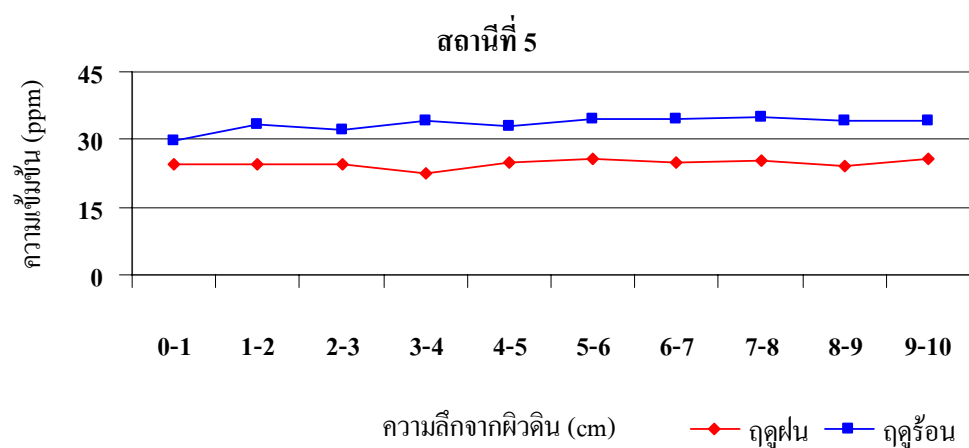
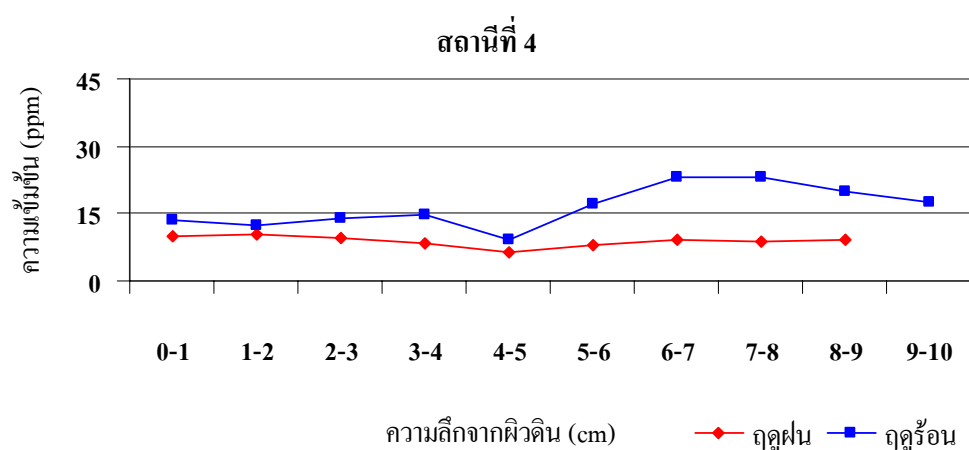
ภาพที่ 22 (ต่อ)



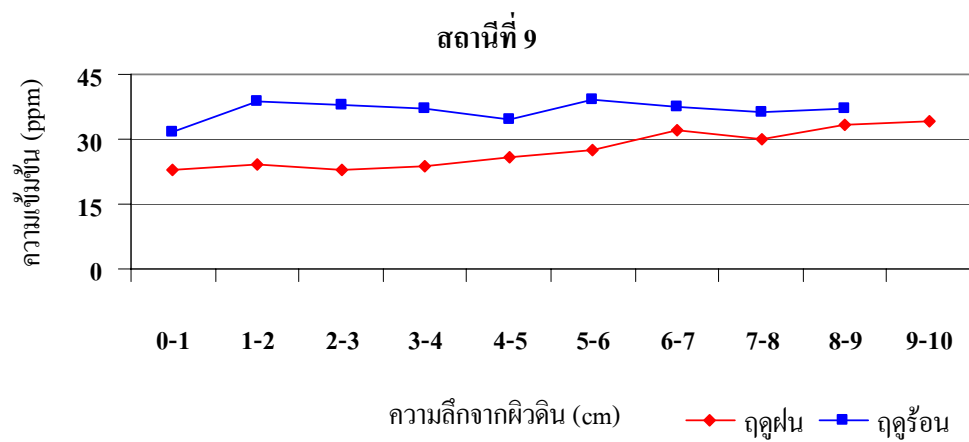
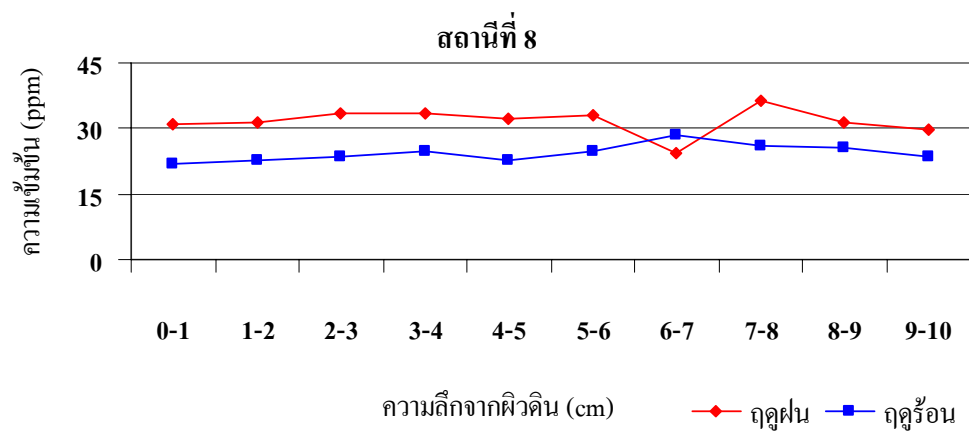
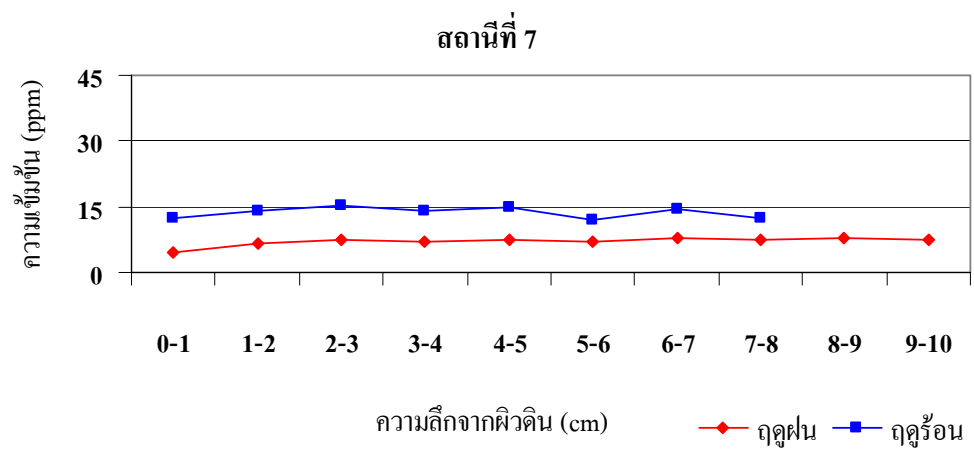
ภาพที่ 22 (ต่อ)



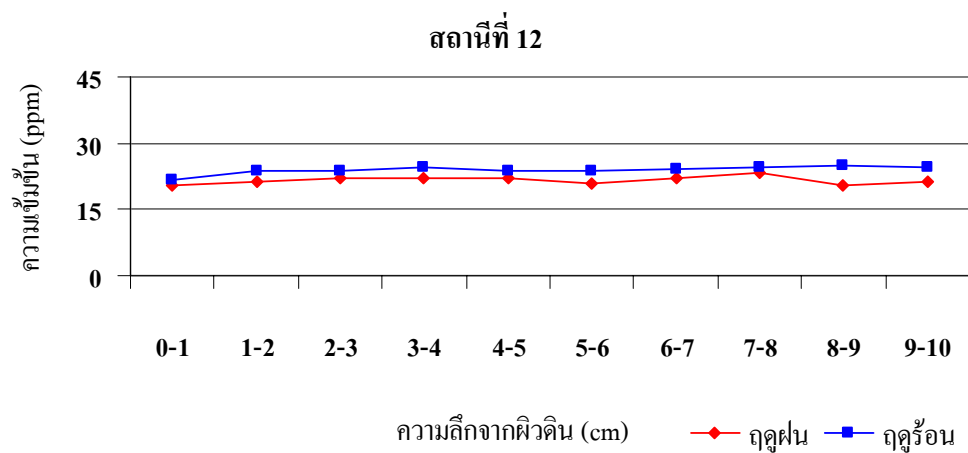
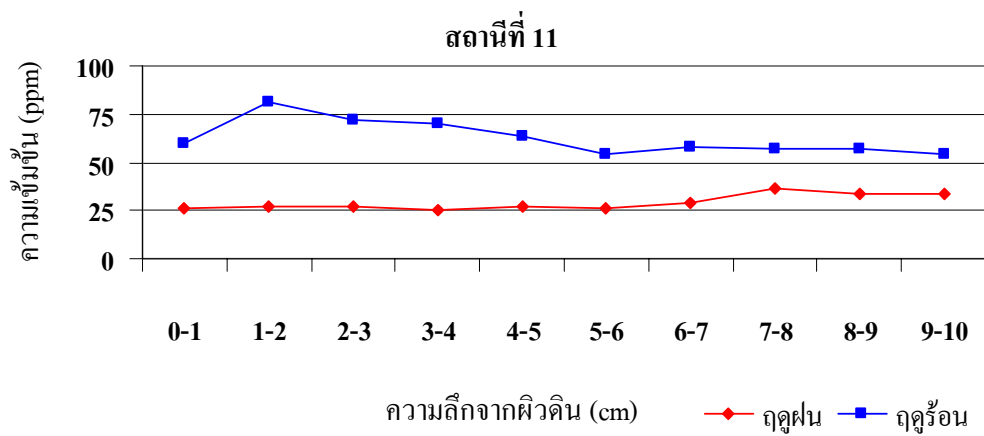
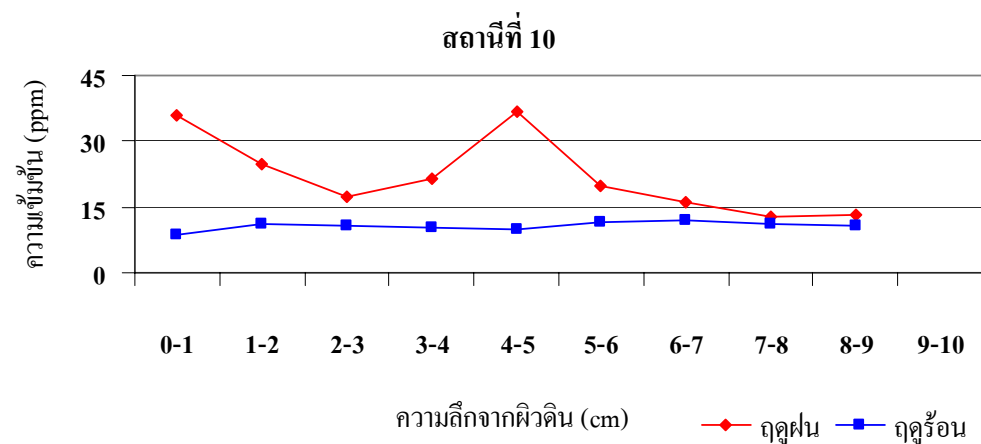
ภาพที่ 23 ความเข้มข้นของทองแดงในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



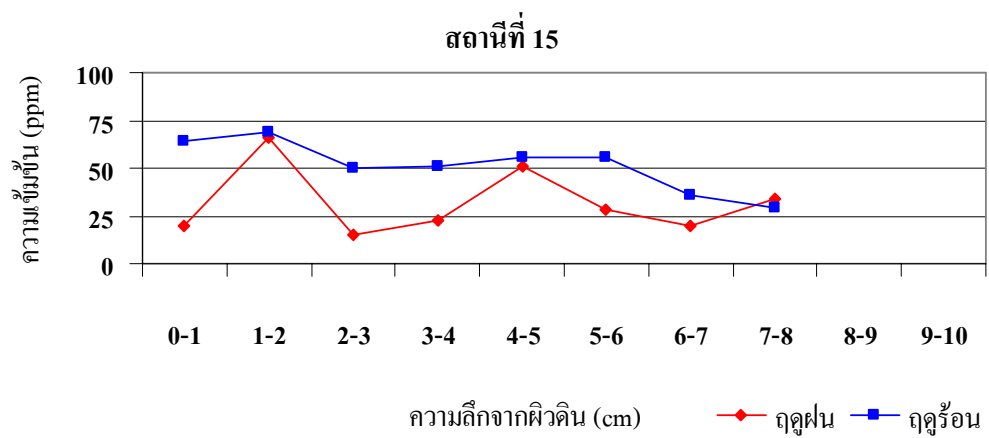
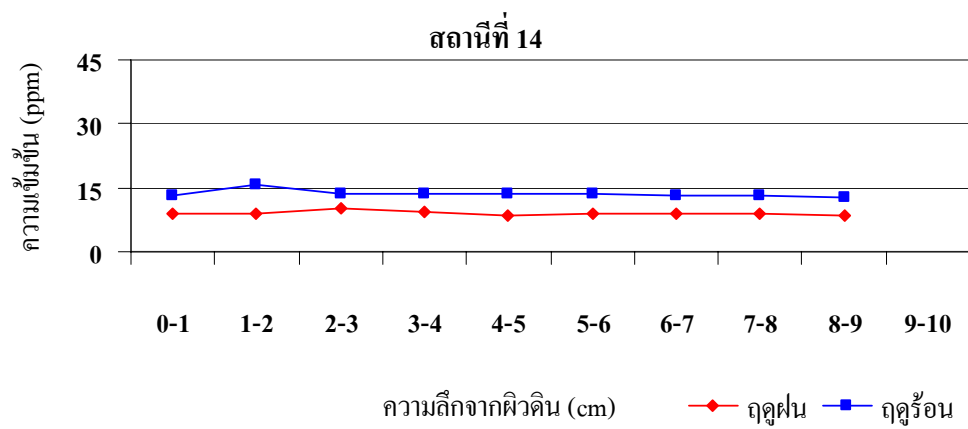
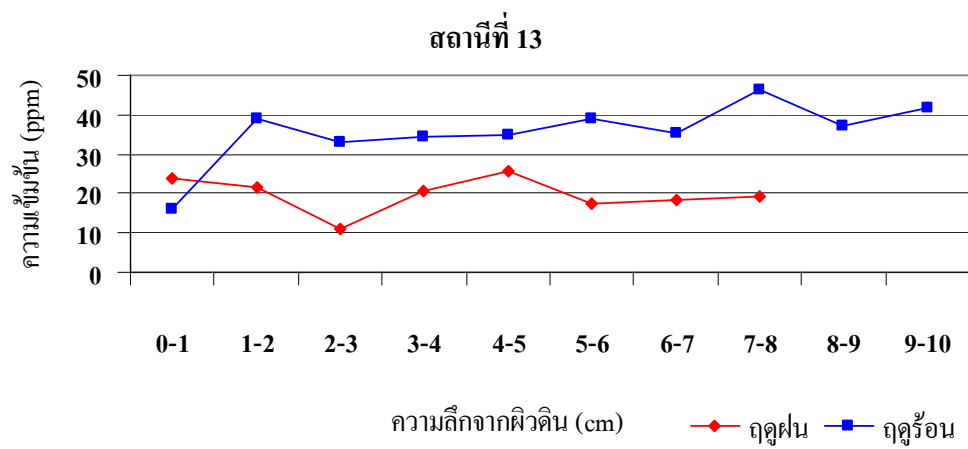
ภาพที่ 23 (ต่อ)



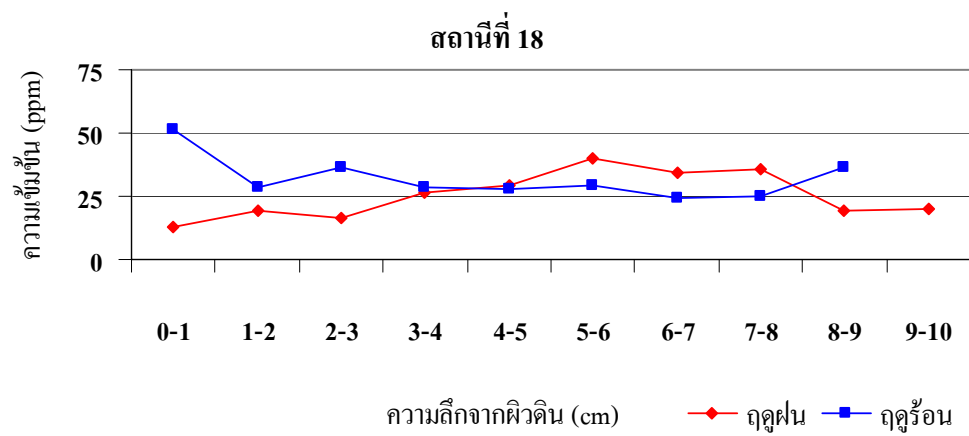
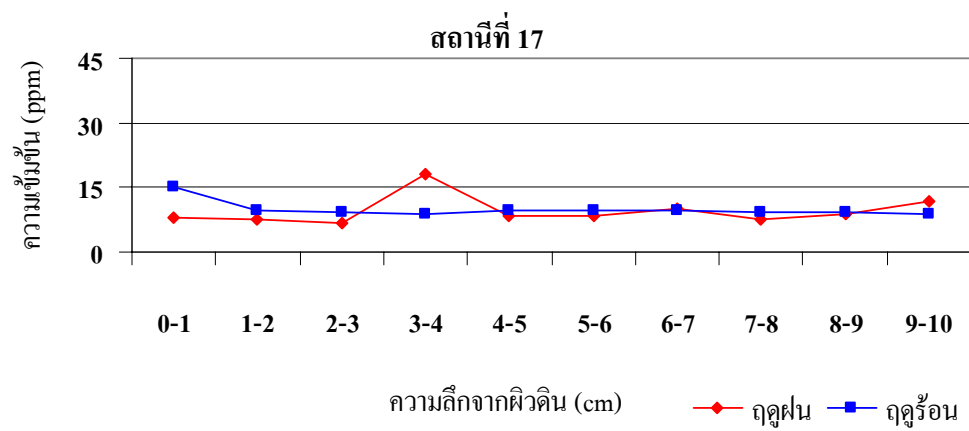
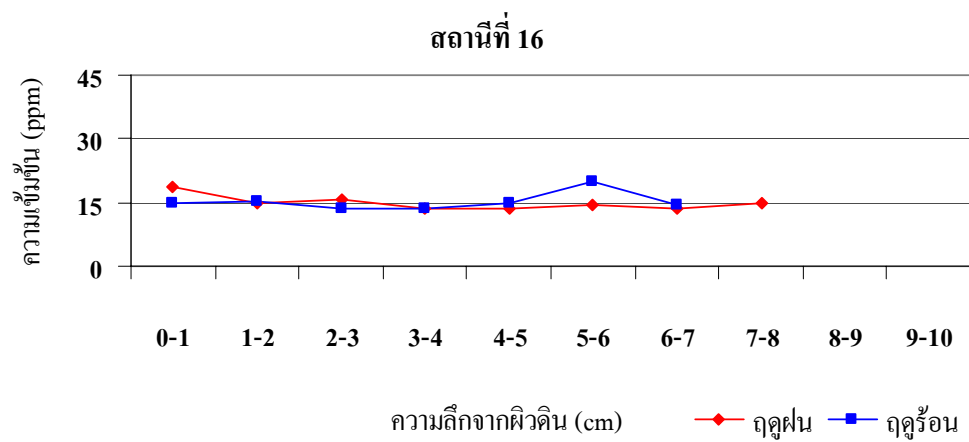
ภาพที่ 23 (ต่อ)



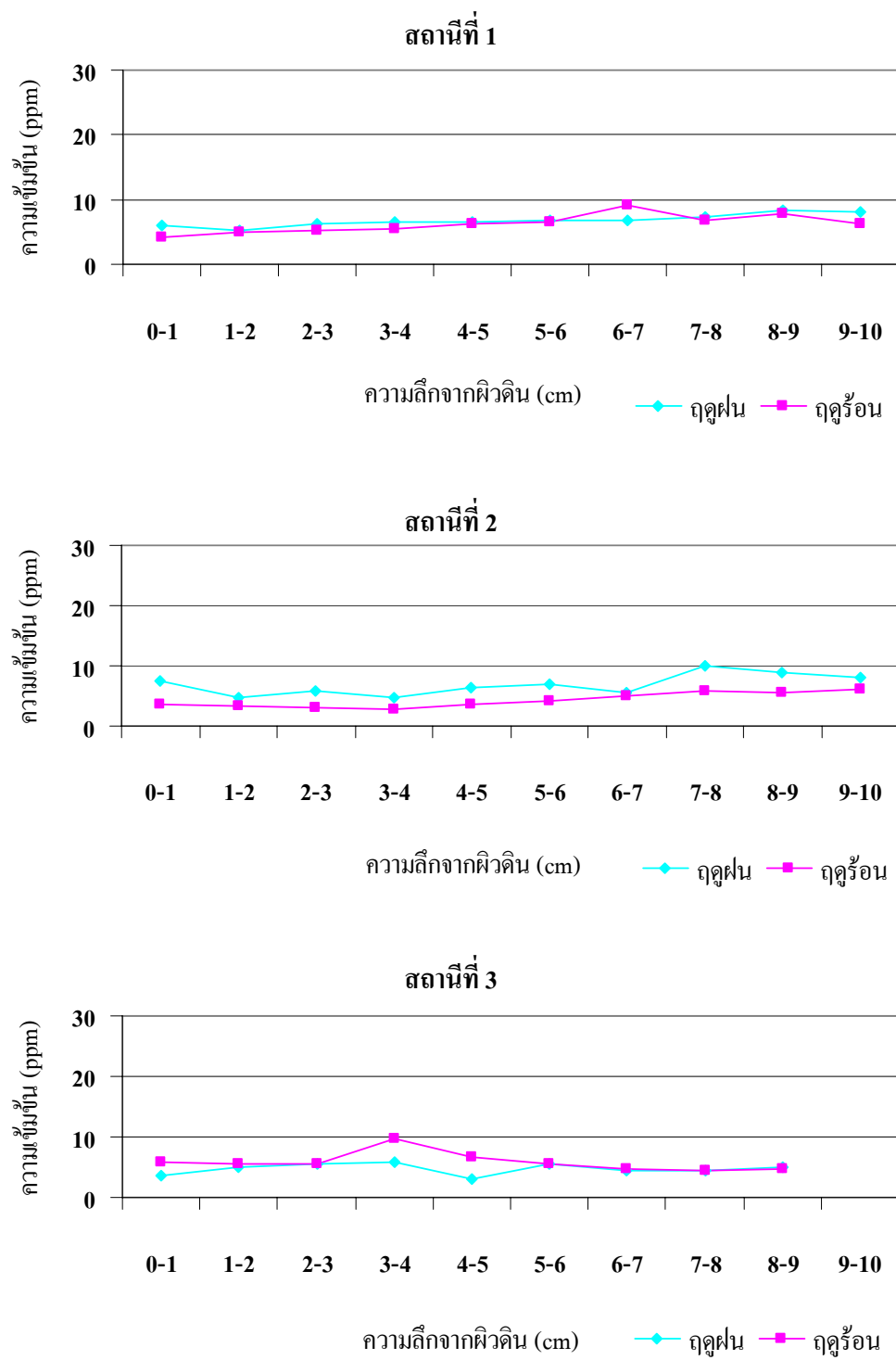
ภาพที่ 23 (ต่อ)



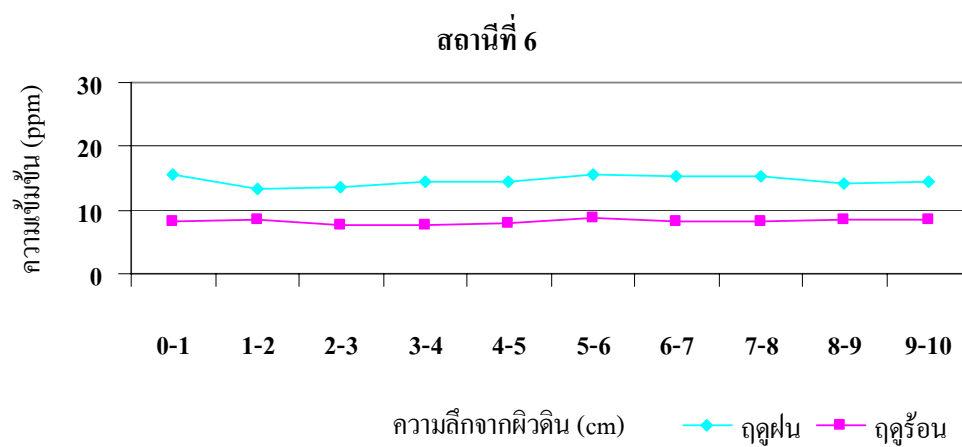
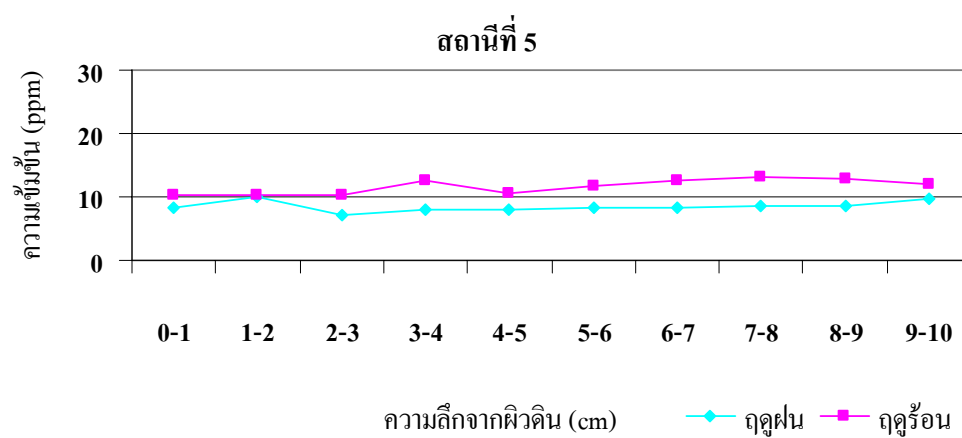
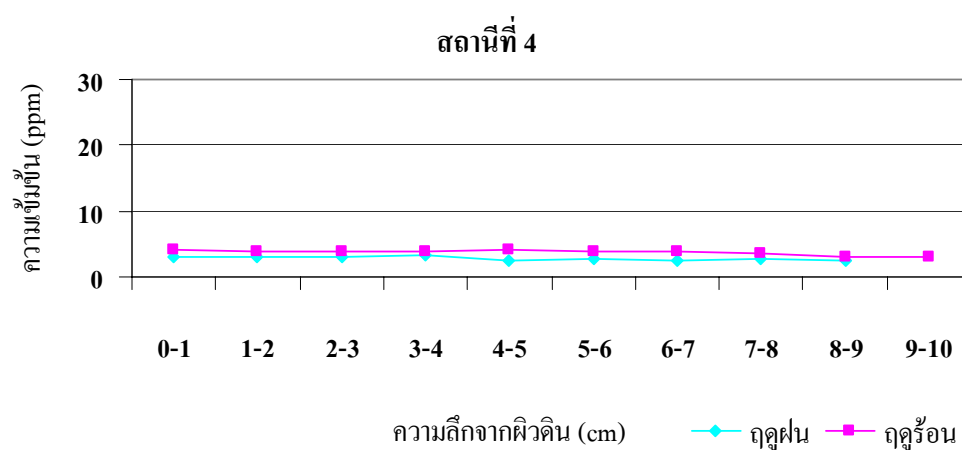
ภาพที่ 23 (ต่อ)



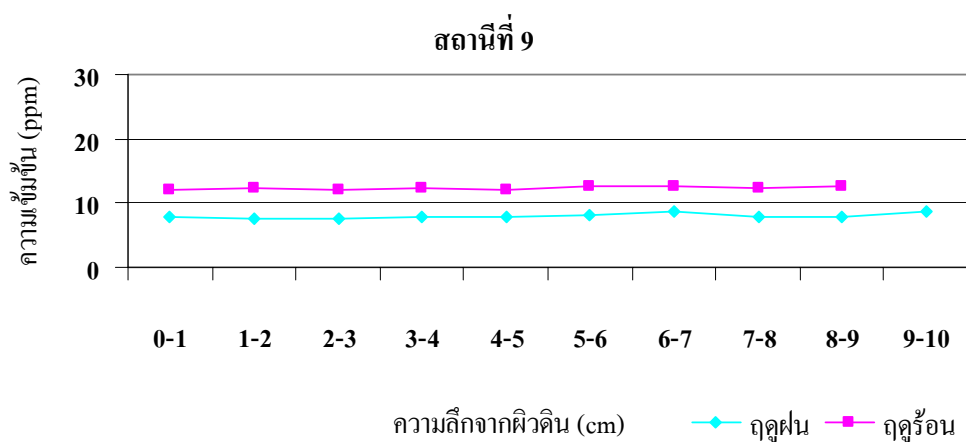
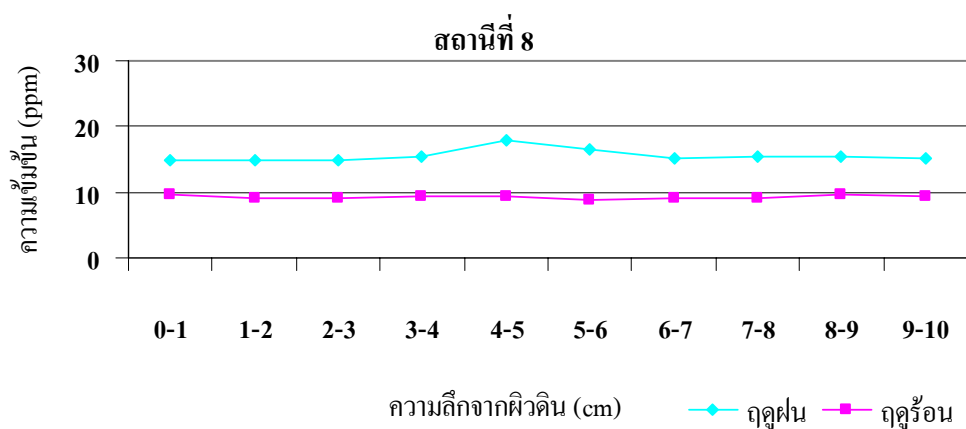
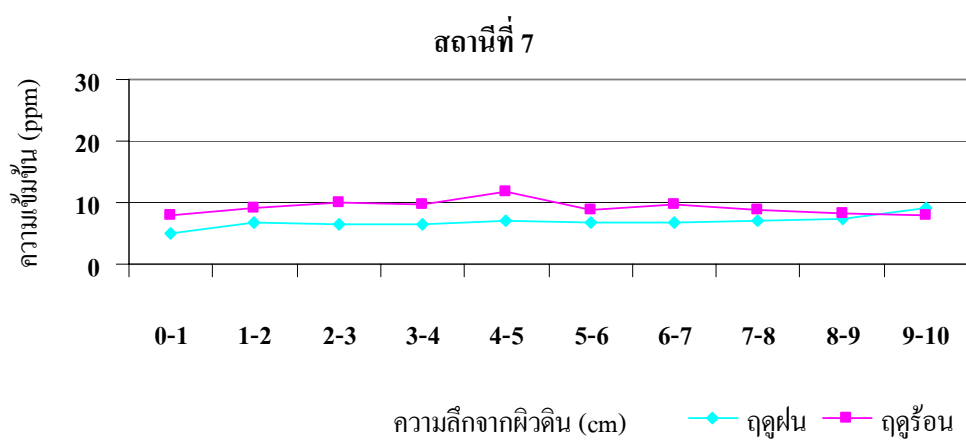
ภาพที่ 23 (ต่อ)



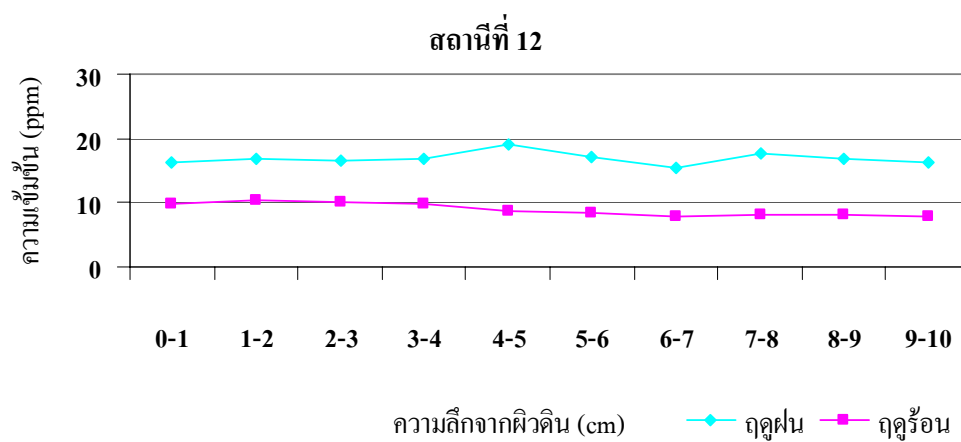
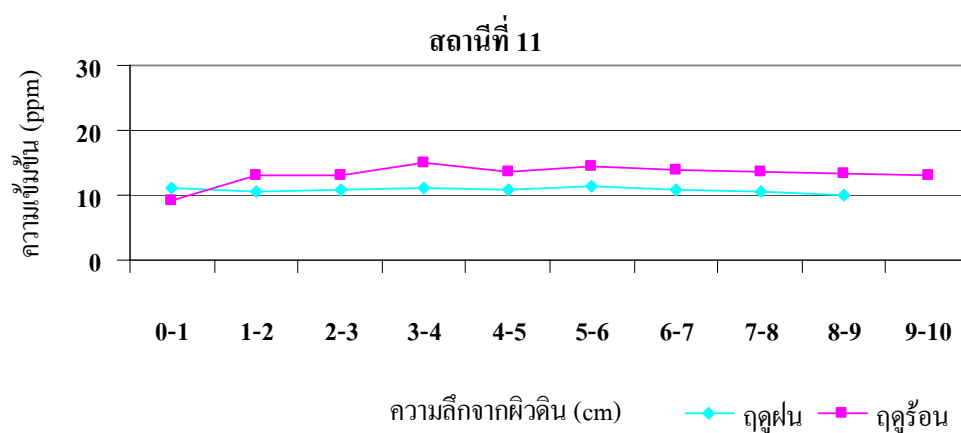
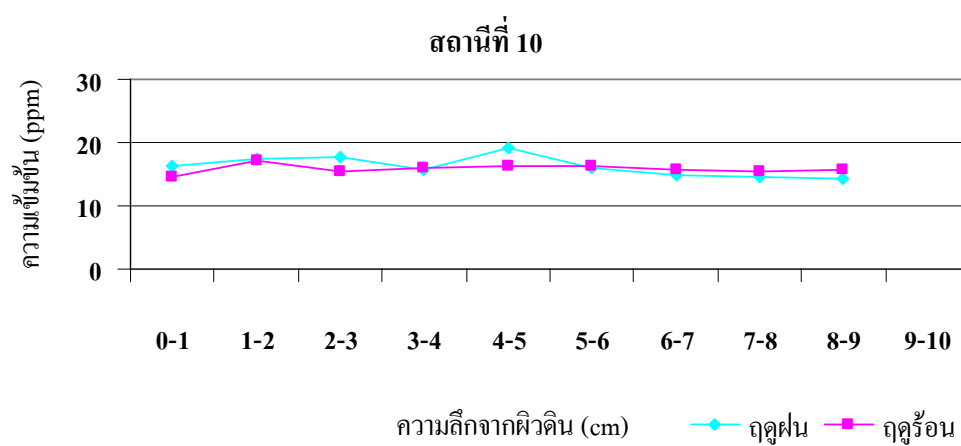
ภาพที่ 24 ความชื้นของตะกั่วในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



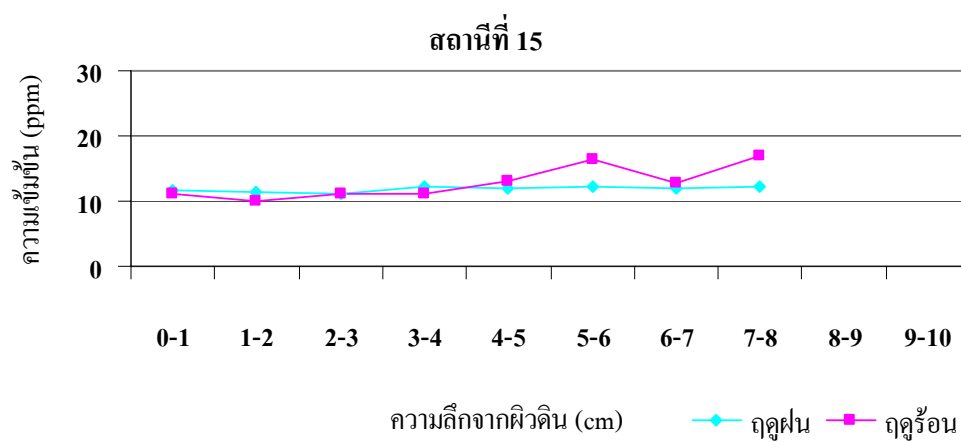
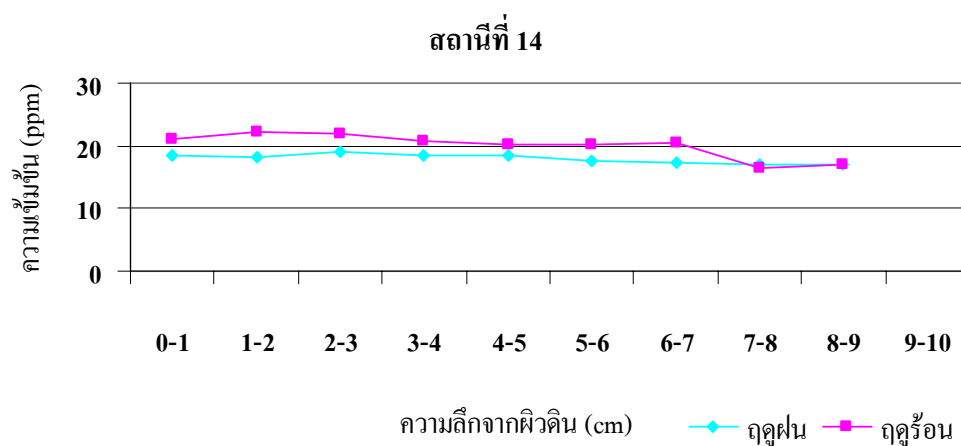
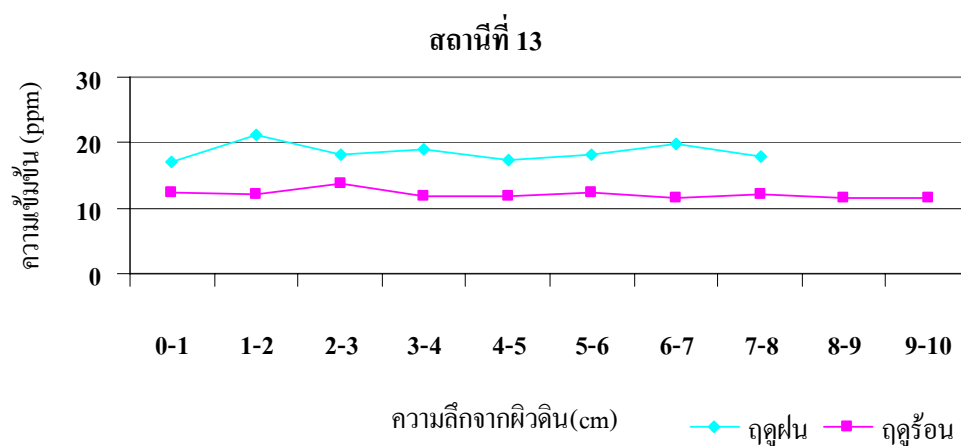
ภาพที่ 24 (ต่อ)



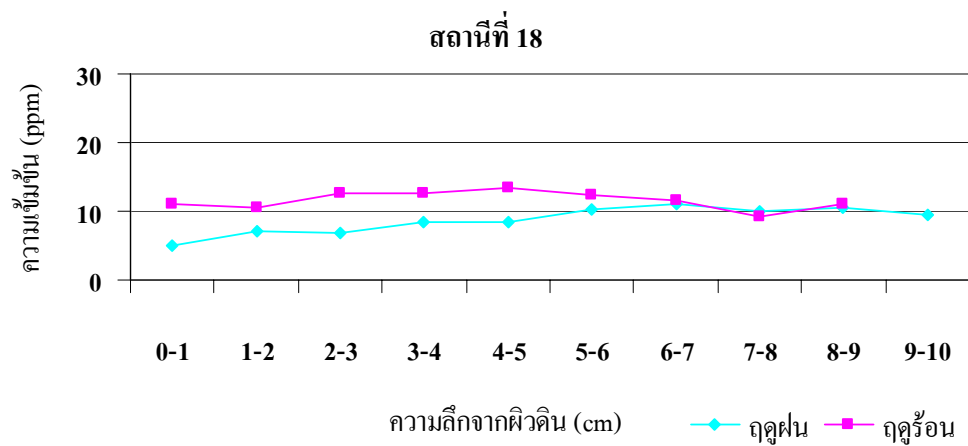
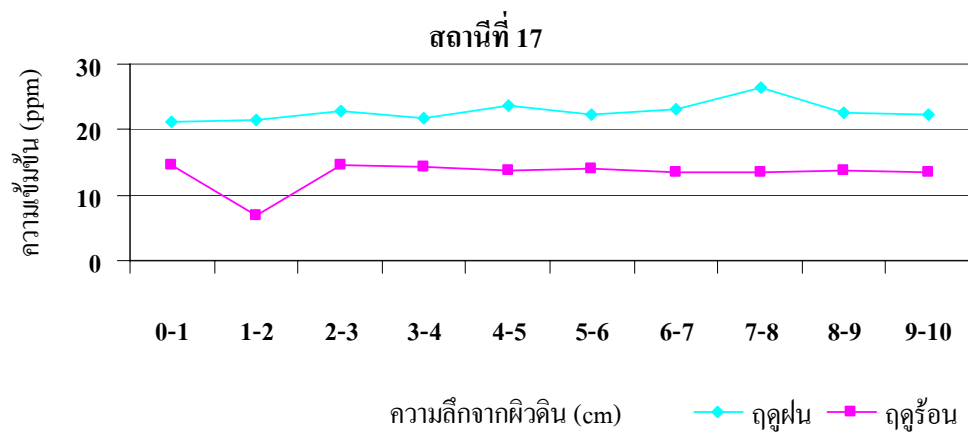
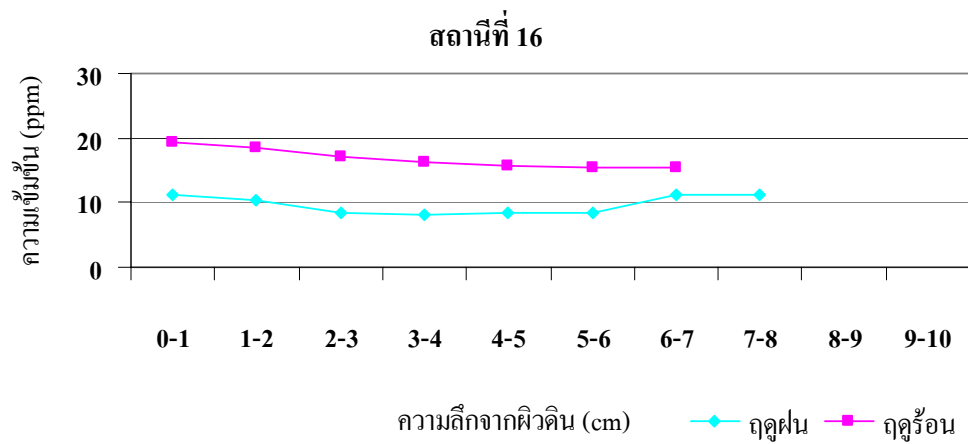
ภาพที่ 24 (ต่อ)



ภาพที่ 24 (ต่อ)



ภาพที่ 24 (ต่อ)



ภาพที่ 24 (ต่อ)

2. เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละฤดูกาล

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในดินตะกอนระดับผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) มาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติระหว่างฤดูกาล (Independent T-test) โดยให้การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 เป็นตัวแทนฤดูฝน และตัวอย่างครั้งที่ 2 เป็นตัวแทนฤดูร้อน พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้ง 2 ฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ส่วนความเข้มข้นของทองแดงและตะกั่วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมตัวที่เพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนในช่วงระยะเวลา ระหว่างที่ทำการศึกษาแต่ละครั้งอาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และระยะห่างของการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง คือ 7 เดือน จึงทำให้มีปริมาณตะกอนตกสะสมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในดินตะกอน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด บริเวณอ่าวตราด โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีความสัมพันธ์กับตะกั่วและแคดเมียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.538 และ 0.349 โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของตะกั่วมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ หากดินตะกอนมีปริมาณสารอินทรีย์รวมอยู่มากก็สามารถพบความเข้มข้นของตะกั่วมากตามไปด้วย และในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณสารอินทรีย์ร่วมน้อย การพบความเข้มข้นของตะกั่วก็น้อยตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ และการคายของโลหะหนักในดินตะกอน (Suen - Zone *et al.*, 2001) โดยการดูดซับโลหะหนักของสารอินทรีย์จะทำให้ดินตะกอนมีปริมาณโลหะหนักสูงขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์จะมีคุณสมบัติเป็นสารประกอบคีเลท (Chelating agent) เหมือน EDTA (ethylene diamine tetra acetate) โดยสามารถรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน และตกตะกอนทำให้โลหะหนักมีการสะสมในดินตะกอนเพิ่มขึ้น (Alabaster, 1980) และพบว่าตะกั่วมีความสามารถที่จะถูกสะสมอยู่ในดินตะกอนได้สูงกว่าทองแดง โดยสามารถเคลื่อนย้ายออกจากรากทะเล และเข้าสู่ตะกอนได้อย่างรวดเร็ว (Goldberg, 1975) ดังนั้นจึงทำให้ถ้าบริเวณใดพบปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงจึงพบความเข้มข้นของตะกั่วสูงตามไปด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของแคดเมียม พบว่า มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน โคลน ฮิวมัสที่ประกอบอยู่และมีส่วนสำคัญในการดูดซับแคดเมียม กระบวนการดูดซับจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ช่วยลดความเข้มข้นของแคดเมียมในแหล่งน้ำ โดยการเคลื่อนย้ายไปสะสมในดินตะกอน และการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์สามารถลดความเข้มข้นของแคดเมียมในดินตะกอนได้ (Francis and Dodge, 1988; Hirsch and Banin, 1990)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับความเข้มข้นของทองแดง พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของทองแดง กล่าวคือ ไม่ว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนจะมีมากหรือน้อยเพียงใด ความเข้มข้นของทองแดงจะไม่มีแบบแผนของการเปลี่ยนแปลงหรือสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารอินทรีย์รวม

4. เปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนกับปริมาณที่มีผู้ทำการศึกษาอื่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษากับปริมาณโลหะหนักที่มีผู้ทำการศึกษาในบริเวณอื่นดังตารางที่ 10 พบว่า มีค่าสูงกว่าในอดีตที่พัชรา (2531) ได้เคยศึกษาไว้ และพบว่าปริมาณทองแดงและตะกั่วบริเวณปากแม่น้ำตราด-แหลมศอก ที่กรมควบคุมมลพิษ (2547ค) ได้เคยศึกษาไว้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะหนักบริเวณอ่าวตราดมีการปนเปื้อนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับบริเวณอื่น

บริเวณ	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	เอกสารอ้างอิง
อ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลตะวันตก	0-0.83	0.36-19.9	0-25.3	รัชนิกร และคณะ, 2530
ชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง	-	3.68	5.13	พัชรา, 2531
จันทบุรี และตราด				
สถานีวิจัยประมง ศรีราชา	3.92	-	41.05	กังสดาล, 2545
อ่าวเพ ปี 2545	Nd-0.98	-	4.53-1,400.92	เบญจลักษณ์, 2546
ปากแม่น้ำตราด-แหลมสอ				กรมควบคุมมลพิษ, 2547ก
2541	<0.05	20.4	14.9	
2542	<0.05	31	1.5	
2544	<0.12	49	9.4	
แหลมงอบ				
2541	0.299	14.7	30	
2542	<0.05	14.8	19.8	
2544	<0.10	14	14	
อ่าวตราด	Nd-1.38	4.03-81.42	2.41-26.38	การศึกษารั้งนี้
เฉลี่ย	0.05±0.02	22.26±3.42	11.21±0.47	

5. เปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษาทุกสถานีกับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งของประเทศแคนาดา Coastal Sediment Quality Standard (WDOE, 1991) ดังตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นดินตะกอนบริเวณอ่าวตราดจึงมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ศึกษาแต่ละสถานีจากตารางที่ 9 กับค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนสำหรับแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล (MacDonald, 1994) พบว่า ความเข้มข้นของทองแดงสถานที่ 1, 2, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15 และ 18 มีค่าเกินมาตรฐานที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่ต่ำกว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมและตะกั่วมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

6. เปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในดินตะกอนกับปริมาณที่มีผู้ศึกษาในประเทศต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณที่ศึกษากับปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนของประเทศต่าง ๆ ดังตารางที่ 12 พบว่า ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราดมีค่าต่ำกว่าในหลาย ๆ ประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่สิ่งแวดล้อม ดังจะเห็นได้ชัดจากการศึกษาของ Bryan and Langston (1992) และ Ferreira *et al.*, (1996) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนประเทศอังกฤษและจีน

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับเกณฑ์มาตรฐาน

ค่า	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	เอกสารอ้างอิง
ค่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอน สำหรับแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล				
Florida DEP ¹ SQG-TEL	0.68	18.7	30.2	MacDonald, 1994
Florida DEP ² SQG-TEL	4.21	108	112	
HongKong ³ Draft SQG-lower	1.5	65	75	HKGS, 1994
HongKong ⁴ Draft SQG-higher	4	110	110	
Australia and New Zeland Draft ISQG-low	1.5	65	50	ANZECC, 1998
Australia and New Zeland Draft ISQG-higher	9.6	270	220	
ค่ามาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่ง				WDOE, 1991
Standard	5.1	390	450	
Limit	6.7	390	530	
โลหะหนักในดินตะกอนบริเวณ อ่าวตราด	Nd-1.38	4.03-81.42	2.41-26.38	การศึกษาครั้งนี้
เฉลี่ย	0.05±0.02	22.26±3.42	11.21±0.47	

หมายเหตุ 1 = ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

2 = ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

3 = ค่าความเข้มข้นที่สามารถทำการขุดลอกตะกอนดินได้

4 = ค่าความเข้มข้นที่สามารถทำการขุดลอกตะกอนดินได้โดยต้องผ่านการศึกษา
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอนในพื้นที่ศึกษากับประเทศต่าง ๆ

บริเวณ	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	เอกสารอ้างอิง
Clyde Estuary, UK	0.4-9	3-172	12-215	Steel <i>et al.</i> , 1973
Bristol Channel, UK	1.1	54	88	Bryan <i>et al.</i> , 1985
Haifa Bay, Israel	<0.1-1	1-41	4-30	Hornung <i>et al.</i> , 1989
Six South African Harbours, S.Africa	<0.1-0.6	3-102	2-86	Henry <i>et al.</i> , 1989
Cork Harbour, Ireland	-	0-0.2	18-44	Berrow, 1991
Tyne Estuary, UK	2.2	92	187	Bryan and Langston, 1992
Mersey Estuary, UK	1.2	84	124	Bryan and Langston, 1992
Humber Estuary, UK	0.5	54	113	Bryan and Langston, 1992
Severn Estuary, UK	0.6	38	89	Bryan and Langston, 1992
Tokyo Bay, Japan	0.5-1.4	16-80	25-58	Fukushima <i>et al.</i> , 1992
Southern Indian Ocean	1.1-1.4	50-75	13.9	Kureishy <i>et al.</i> , 1993
Thames Estuary, UK	0.7-3	24-123	63-45	Attril and Thomas, 1995
Venice Lagoon, Italy	0.3-2	8-32	17-306	Sfriso <i>et al.</i> , 1995
Forty USA bay/ harbours, USA	<0.1-5.9	1-218	2-186	Kennish, 1996
Ten Greek Gulfs, Greece	-	5-188	10-500	Dassenakis <i>et al.</i> , 1996
Macao, China	0.3-8	-	19-67	Ferreira <i>et al.</i> , 1996
อ่าวตราด	Nd-1.38	4.03-81.42	2.41-26.38	การศึกษารั้งนี้
เฉลี่ย	0.05±0.02	22.26±3.42	11.21±0.47	

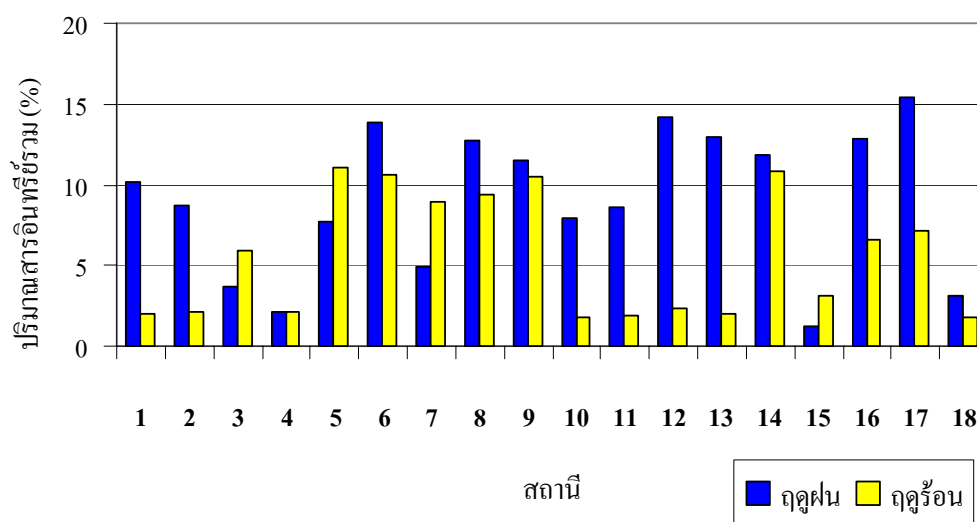
7. ปริมาณและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน

จากการศึกษาปริมาณและการแพร่กระจายของสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราดของสถานีเก็บตัวอย่าง 18 สถานี พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยทั้ง 18 สถานี คือ ร้อยละ 6.31 ± 4.79 , 3.68 ± 1.93 , 5.10 ± 1.40 , 2.59 ± 0.85 , 9.76 ± 3.04 , 9.38 ± 1.96 , 7.42 ± 0.74 , 10.95 ± 1.78 , 10.88 ± 1.13 , 4.83 ± 4.14 , 4.63 ± 3.86 , 7.12 ± 5.79 , 5.65 ± 5.68 , 12.65 ± 0.89 , 10.43 ± 7.84 , 10.99 ± 2.94 , 10.93 ± 3.98 และ 2.91 ± 8.78 ตามลำดับ ปริมาณสารอินทรีย์รวมเฉลี่ยทุกสถานีเท่ากับ 7.07 ± 3.45 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.82 ถึง 15.43 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของจุมพล (2532) ที่ทำการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยฝั่ง

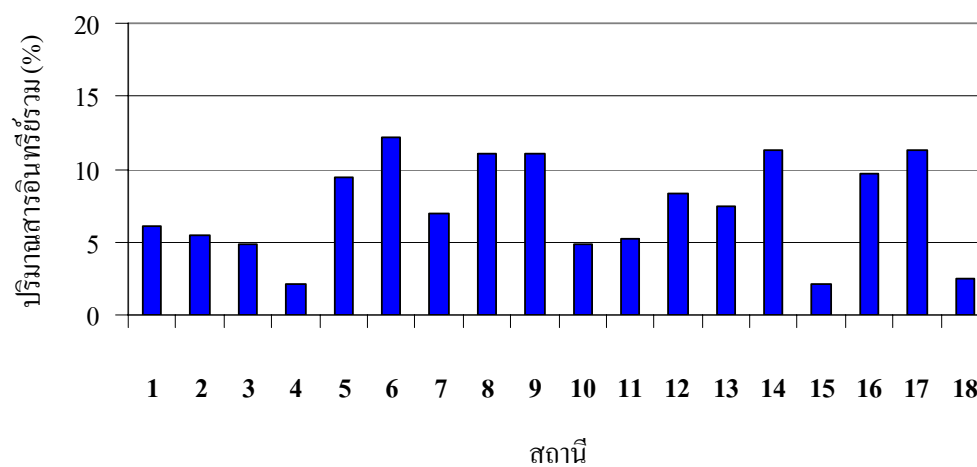
ตะวันออก (ช่องแสมสาร- ตราด) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.18 ถึง 13.23 และสอดคล้องกับผลการศึกษาของกฤษฎา (2541) ที่ทำการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนจากอ่าวไทยฝั่งตะวันออก พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.0 ถึง 14.60 ซึ่งส่วนมากมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5 ถึง 10

เมื่อพิจารณาปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละบริเวณของอ่าวตราด (ภาพที่ 25 และ 26) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.09 ถึง 12.21 สถานีที่ 6 ซึ่งเป็นบริเวณตอนกลางของอ่าวเป็นบริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวม เท่ากับร้อยละ 12.21 ± 2.32 ส่วนบริเวณที่พบปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำสุด คือ สถานีที่ 4 ซึ่งเป็นร่องน้ำบริเวณบ้านแหลมหิน โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวม เท่ากับร้อยละ 2.09 ± 0.02

การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากปากแม่น้ำจนกระทั่งออกสู่ทะเลเปิด ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณสถานีที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นสถานีที่อยู่บริเวณตอนต้นของปากแม่น้ำ ลักษณะดินตะกอนในแต่ละสถานีส่วนใหญ่เป็นทรายปนโคลน ส่วนตอนนอกถัดออกมาลักษณะดินส่วนใหญ่จะเป็นโคลนละเอียด ซึ่งบริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่มีลักษณะเป็นโคลน (มีขนาดอนุภาคดินตะกอนน้อยกว่า 0.0625 มิลลิเมตร) (ตารางที่ 6) จะมีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าบริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่เป็นทรายละเอียด (มีขนาดอนุภาคดินตะกอนตั้งแต่ 0.063-0.249 มิลลิเมตร) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดอนุภาคดินตะกอน โดยดินตะกอนขนาดเล็กสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้มากกว่าดินตะกอนขนาดใหญ่ เช่น ตะกอนละเอียด (silt) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทราย (sand) ประมาณ 2 เท่า ส่วนโคลน (mud) จะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าตะกอนหยาบที่เป็นทรายประมาณ 4 เท่า (Bordovskiy, 1965) จึงทำให้ดินตะกอนที่เป็นทรายมีปริมาณสารอินทรีย์น้อยมาก และปริมาณสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของทรายลดลงและอาจจะเพิ่มมากที่สุดในพื้นที่ที่เป็นโคลน (มณฑิรา และคณะ, 2537) เห็นได้ชัดจากสถานีที่ 15 และ 18 ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นหาดทราย ลักษณะดินทั้ง 2 สถานีนี้มีลักษณะเป็นทรายปนเปลือกหอยเป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 6) จึงทำให้พบปริมาณสารอินทรีย์รวมเพียงร้อยละ 1.43 และ 2.91 ตามลำดับ ส่วนดินตะกอนจากสถานีที่ 8 ซึ่งเป็นโคลนละเอียด พบปริมาณสารอินทรีย์รวมร้อยละ 10.95 จึงทำให้ปริมาณของสารอินทรีย์รวมบริเวณตอนกลางและตอนล่างของอ่าวมีปริมาณมากกว่าตอนบนของอ่าว



ภาพที่ 25 ปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่างแต่ละฤดูกาล



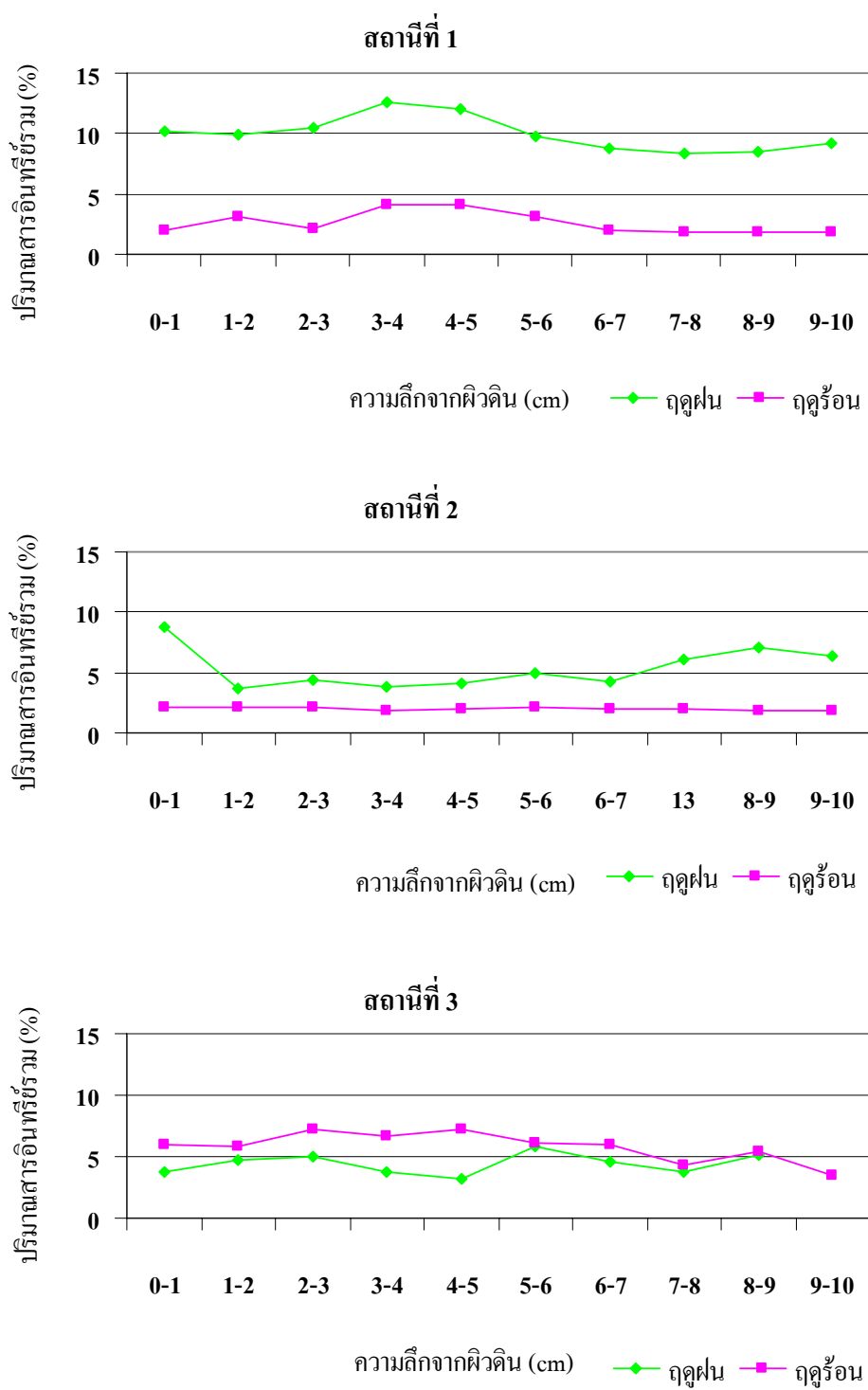
ภาพที่ 26 ปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ผิวหน้าดินตะกอน (0-1 เซนติเมตร) จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนที่ระดับผิวหน้า (0-1 เซนติเมตร) ในแต่ละฤดูกาล (ตารางผนวกที่ 9) พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินในฤดูฝน (ตารางที่ 7) เท่ากับร้อยละ 9.08 $\pm$ 4.49 สถานีที่ 15 เป็นสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าต่ำสุด คือร้อยละ 1.21 และสถานีที่ 17 เป็นสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าสูงสุด คือร้อยละ 15.43 ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าดินในฤดูร้อน (ตารางที่ 7) เท่ากับร้อยละ 5.58 $\pm$ 3.80 สถานีที่ 10 เป็นสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าต่ำสุด คือร้อยละ 1.76 และสถานีที่ 5 เป็นสถานีที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมที่ระดับผิวหน้าสูงสุด คือร้อยละ 11.11 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวมของทั้ง 2 ฤดูกาล พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์รวมในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูร้อน เนื่องจากในฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำที่ช่วยในการชะล้างสารอินทรีย์ต่าง ๆ จากแหล่งชุมชน

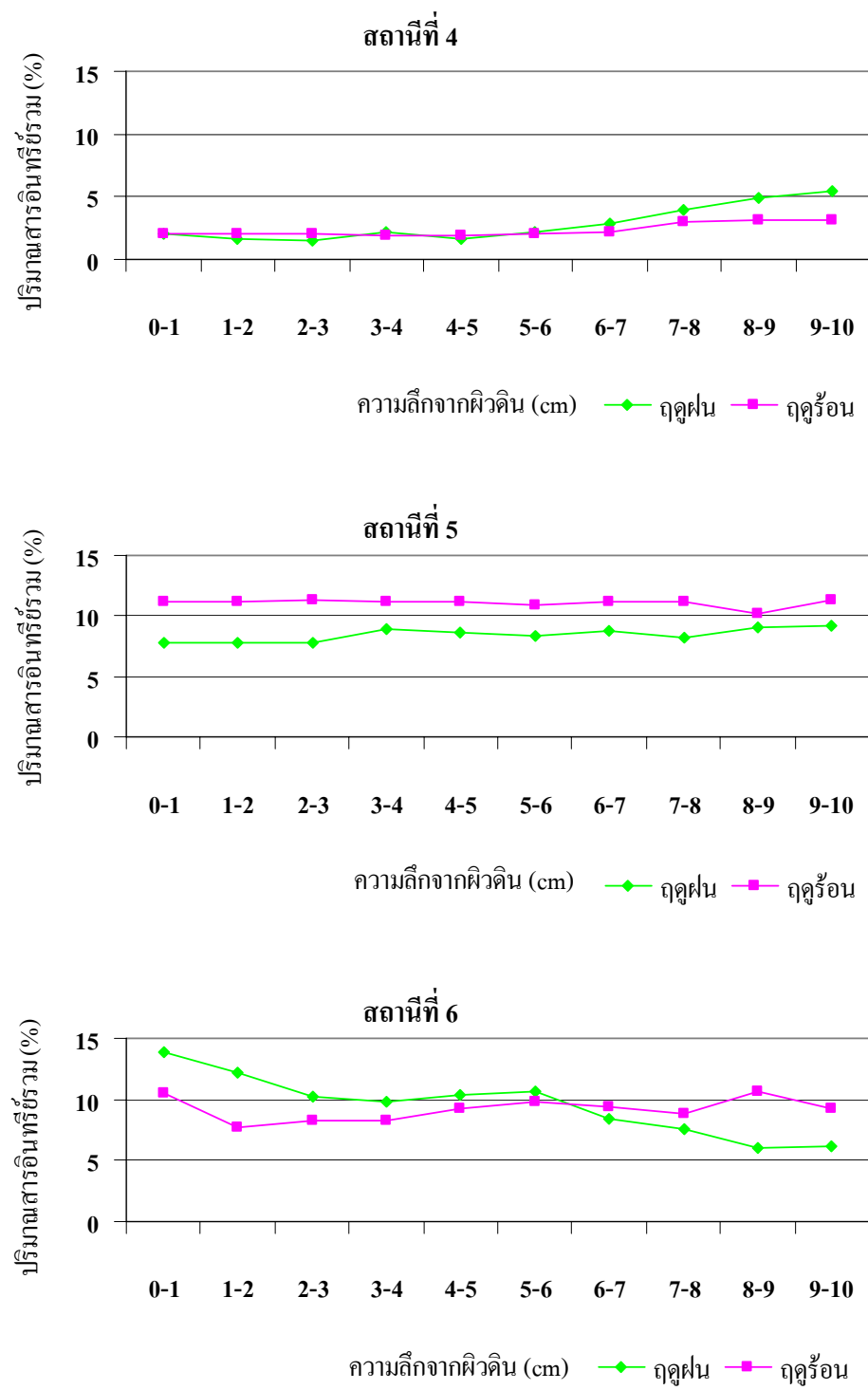
เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายตามแนวตั้งของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน พบว่า โดยภาพรวมการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอนมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนักตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสถานีที่ 1, 2, และ 3 ซึ่งอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำ ลักษณะดินแต่ละชั้นมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ เป็นทรายปนโคลน และตัวอย่างดินจากสถานีที่ 15 ลักษณะดินเป็นทรายปนเปลือกหอยตลอดความลึกของชั้นดิน จึงทำให้การแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมตามความลึกมีรูปแบบค่อนข้างคงที่

รูปแบบการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น เช่น ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 5 ของฤดูฝน ซึ่งมีลักษณะเป็นโคลนละเอียด อนุภาคดินตะกอนมีขนาดเล็กจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ได้มากขึ้น และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการแพร่กระจาย ทั้งปัจจัยทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น อิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง การถูกรบกวนโดยสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในดินตะกอนระดับลึก ถ้ามีสภาพไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในดินชั้นถัดไปมีค่าค่อนข้างคงที่หรืออาจมีปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากไม่ถูกรบกวนจากกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

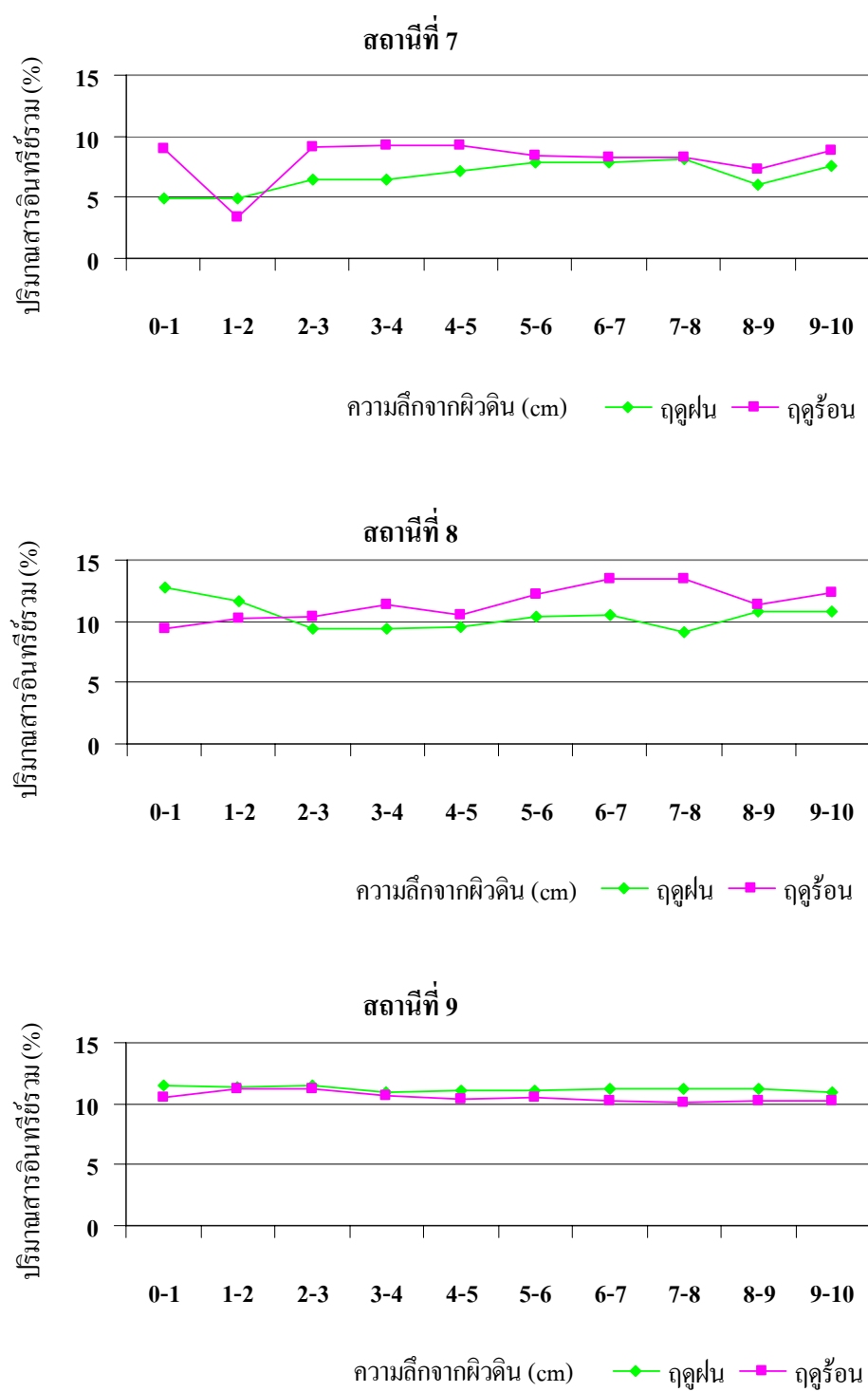
รูปแบบการแพร่กระจายของปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น เช่น ตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีที่ 6 และ 11 ของฤดูฝน สาเหตุที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายในรูปแบบนี้ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน จึงส่งผลให้ปริมาณสารอินทรีย์มีปริมาณลดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ สภาพแวดล้อมในด้านอุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และปริมาณออกซิเจน เป็นต้น (สมเจตน์ และคณะ, 2526; สมศักดิ์, 2528)



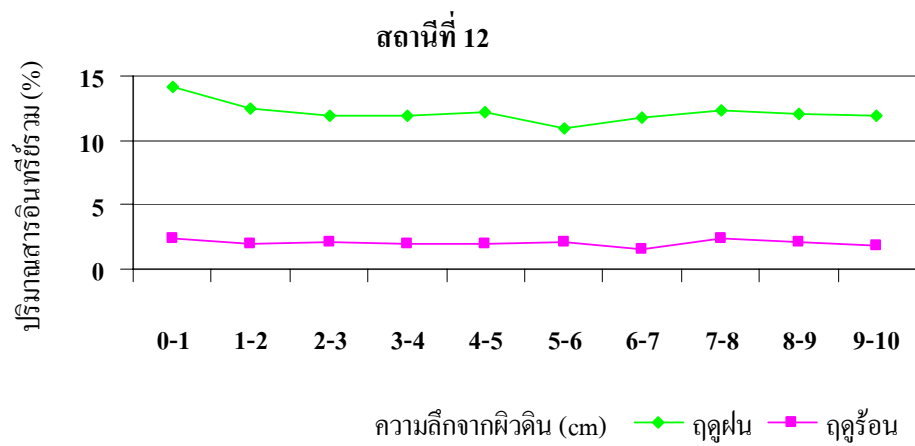
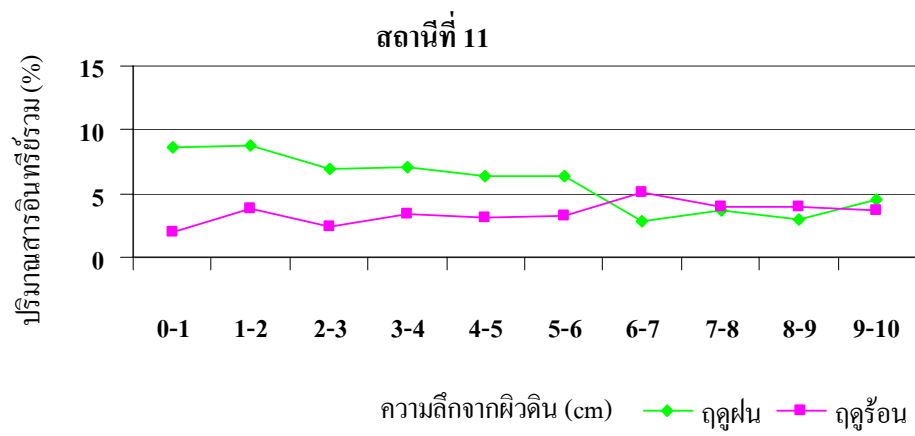
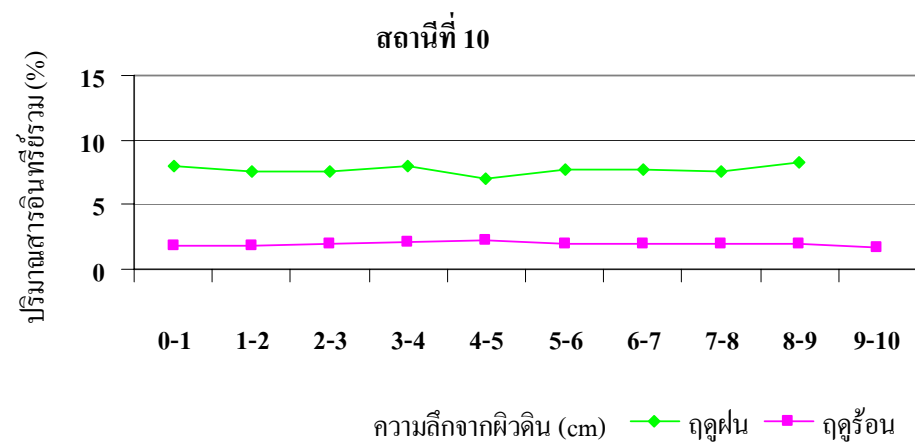
ภาพที่ 27 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในแต่ละสถานีจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



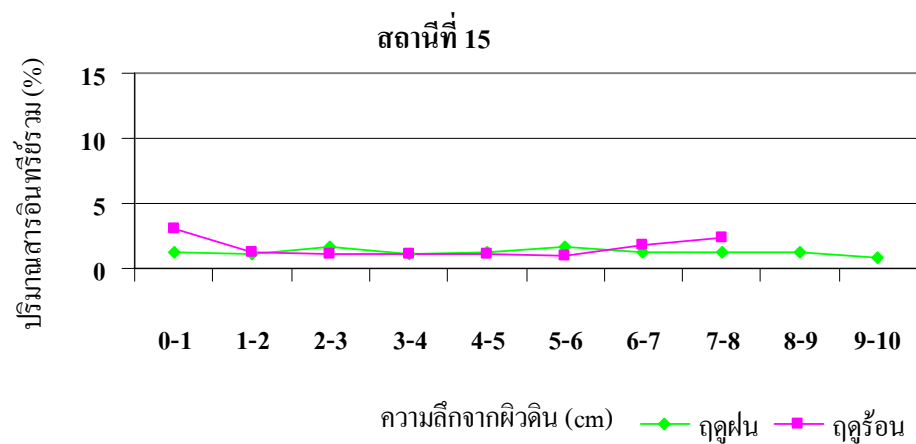
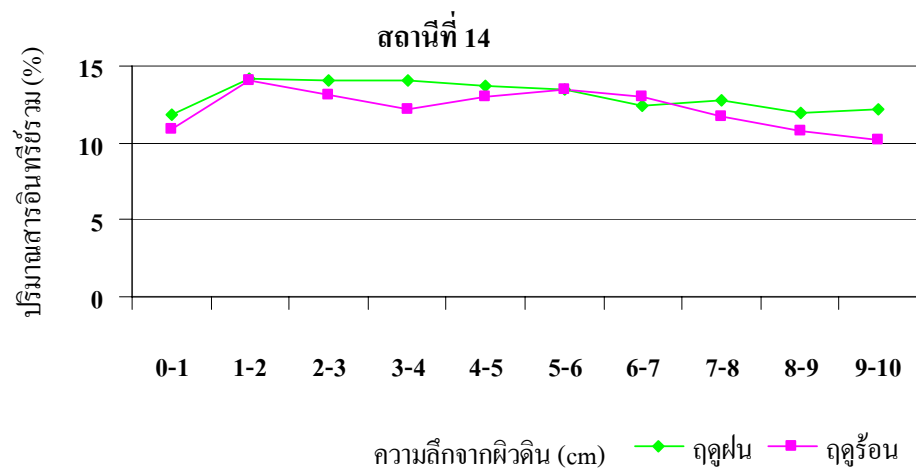
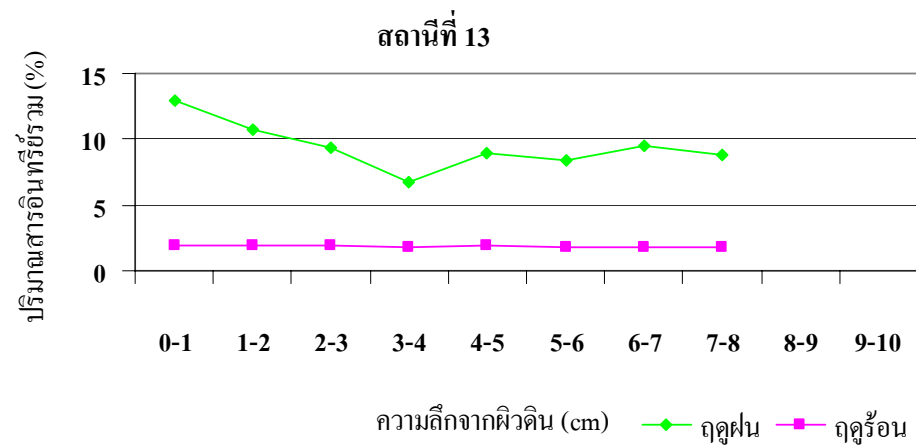
ภาพที่ 27 (ต่อ)



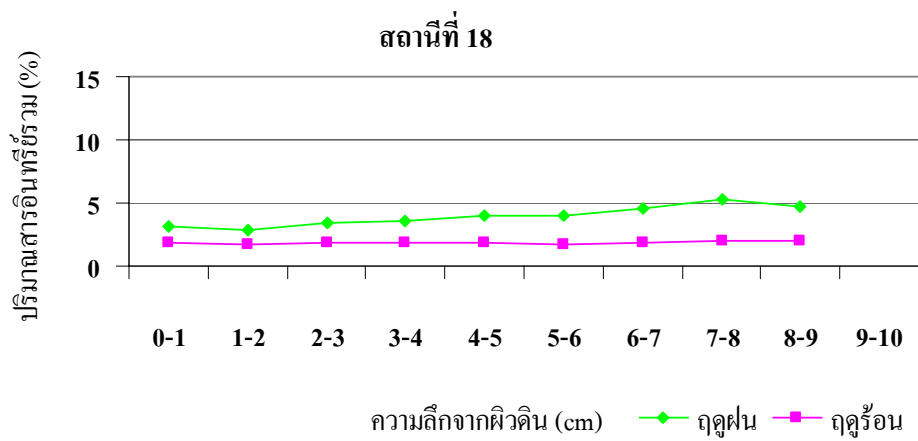
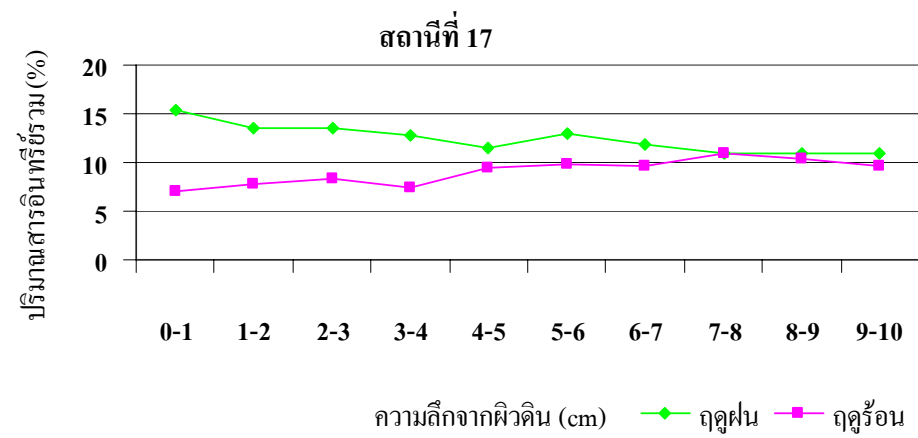
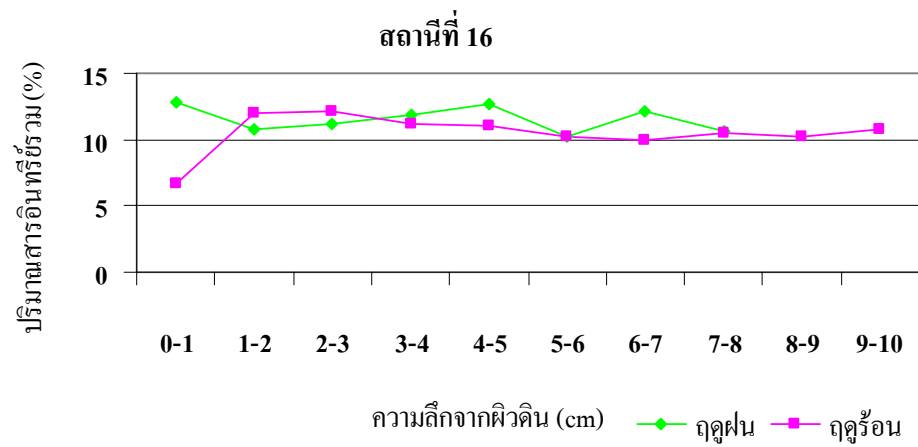
ภาพที่ 27 (ต่อ)



ภาพที่ 27 (ต่อ)



ภาพที่ 27 (ต่อ)



ภาพที่ 27 (ต่อ)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปริมาณและการแพร่กระจายตามพื้นที่ของแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ที่ระดับผิวหน้าดินตะกอน(0-1 เซนติเมตร) พบว่า แคดเมียมมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.07 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าสูงสุดบริเวณตอนล่างของอ่าวติดกับทะเลเปิด รองลงมาคือ บริเวณปากแม่น้ำ และชายฝั่งตะวันตกของอ่าวบริเวณแหลมคันนา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ± 0.34 , 0.19 ± 0.25 และ 0.16 ± 0.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่ทองแดง พบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 21.32 ± 10.33 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าสูงสุดบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวบริเวณบ้านแหลมเทียน รองลงมาคือชายฝั่งตะวันออกของอ่าวบริเวณบ้านสะพานหินและบ้านคลองสน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.07 ± 24.10 , 41.76 ± 31.55 และ 32.17 ± 27.47 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนตะกั่ว พบว่า มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.82 ± 4.67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าสูงสุดบริเวณตอนล่างอ่าวติดกับทะเลเปิด รองลงมาคือ ชายฝั่งตะวันตกของอ่าวบริเวณแหลมพร้าวและหัวแหลมสอก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.71 ± 1.83 , 15.37 ± 5.72 และ 14.73 ± 3.32 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

2. การแพร่กระจายตามแนวตั้งของความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน พบว่า ทองแดง และตะกั่ว ในดินตะกอน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีตโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าว ส่วนแคดเมียมไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน

3. จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในแต่ละฤดูกาล พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งฤดูฝน (กันยายน พ.ศ. 2546) และฤดูร้อน (เมษายน พ.ศ. 2547) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนทองแดง และตะกั่ว พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในดินตะกอนกับปริมาณสารอินทรีย์รวม พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีความสัมพันธ์กับแคดเมียมและตะกั่ว

ไปทิศทางเดียวกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมกับปริมาณทองแดง พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนไม่มีความสัมพันธ์กับทองแดง

5. ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด ที่ระดับผิวหน้าดิน ตะกอน (0-1 เซนติเมตร) พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.33 ± 3.38 และมีค่าสูงบริเวณชายฝั่ง ตะวันตกของอ่าวซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งชุมชนและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ในดินตะกอนอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อปริมาณและการแพร่กระจายของโลหะหนักเพิ่มเติม เช่น ขนาดอนุภาคของดินตะกอน เหล็ก (Fe) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ redox potential เพื่อให้สามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินตะกอนได้ดียิ่งขึ้น
2. ควรมีการศึกษาข้อมูลทางด้านอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเล ปริมาณโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในทะเล เพื่อให้ทราบถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักได้ชัดเจนมากขึ้น และเพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาควบคุม ป้องกัน และแก้ไขการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศทางทะเล

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรกช วิเศษภูฏพิทยาพงษ์. 2535. การศึกษาการแพร่กระจายของโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำ และดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547ก. ตะกั่ว. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547ข. แคดเมียม. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง. สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547ค. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล จังหวัดตราด. ส่วนแหล่งน้ำทะเล กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กฤษฎา หน่อเนื้อ. 2541. องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีบางประการของดินตะกอนในอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2532. แคดเมียม. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ ๑.

กังสดาล เหมกรณ์. 2545. ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในหอยแมลงภู่อายุต่างๆ ที่เลี้ยงแบบแพและแบบปักหลัก บริเวณสถานีวิจัยประมงศรีราชา จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษม จันทรแก้ว. 2524. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ๑.

จิระ จตุรานนท์. 2526. การกระจายตามแนวตั้งของโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอนจากอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2545. ดินตะกอน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 118 น.

จุมพล สงวนสิน. 2532. ตะกอนพื้นท้องทะเลในบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ช่องแสมสาร-ตราด) เอกสารวิชาการฉบับที่ 22/2532. ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 15 น.

จันทร์ศรี ดูนาค. 2539. การหาปริมาณโลหะหนักบางตัวในตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำปิง และแม่น้ำกว๊านปี 2538. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทนา จันทร์ภักดี. 2536. การปนเปื้อนของสารตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์ และ พิมล เรือนวัฒนา. 2525. เคมีสภาวะแวดล้อม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 215 น.

ชินชาติ โปร่งสระ. 2543. ปริมาณโลหะหนักบางชนิด (แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี) ในสัตว์ทะเลที่เป็นอาหารบริเวณชายฝั่งโครงการบำบัดน้ำเสียแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ฤทธิ์ เลิศเกษตรวิทยา. 2547. การศึกษาประวัติการสะสมของทองแดง แคดเมียม และตะกั่วในดินตะกอน บริเวณอ่าวไทยตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีศักดิ์ ปิยะกาญจน์. 2521. การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกั่ว ปรอท และแคดเมียม ในน้ำและดินตะกอนในอ่าวไทยตอนบน, 167 น. ใน เอกสารการสัมมนาปัญหามลภาวะของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. ๑.

- นิภากร รอดน้อย. 2537. การหาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในตะกอนท้องน้ำ โดยวิธี
อะตอมมิกแอบซอร์ชันเปกโตรโฟโตเมตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่.
- บุญเต็ม แซ่ปึง. 2536. ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง สังกะสี ในน้ำและดินตะกอน
จากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำเมย จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เบญจลักษณ์ พลายโก. 2545. การสกัดตามลำดับส่วนของแคดเมียมและตะกั่วจากดินตะกอน
ชายฝั่งอ่าวเพ จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
290 น.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต และ พิชาน สว่างวงศ์. 2520. การแพร่กระจายของโลหะหนักในแม่น้ำ
เจ้าพระยาตอนล่าง. รายงานสัมมนาวิชาการ. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 85 น.
- ผกา สุขเกษม. 2535. ผลกระทบของโลหะหนักต่อสิ่งมีชีวิตและหลักการในการวิเคราะห์โลหะ
ปริมาณน้อย, น. 36-53. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. สำนักงาน
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- พัชรา เพ็ชรพิรุณ. 2531. การแพร่กระจายของโลหะตะกั่ว สังกะสี และทองแดงในสิ่งแวดล้อม
บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2 ศูนย์
พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก กองประมงทะเล กรมประมง, กรุงเทพฯ. 21 น.
- พิชาญ สว่างวงศ์. 2519. การศึกษาการกระจายของสารตะกั่วและปรอทบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา
ตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ภารดี คะลา. 2541. **ศักยภาพของแม่น้ำเพชรบุรีต่อการรองรับปริมาณโลหะหนักในน้ำเสีย**
ส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาสกร ฅมพลกรัง และ คณิต ไชยคำ. 2538. **ปริมาณโลหะหนักในน้ำ และดินตะกอนในทะเล**
สาบสงขลาตอนนอก. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.
กรมประมง, กรุงเทพฯ ๑. 9 น.
- มณฑิรา เปี่ยมทิพย์มณฑ, จิตติมา आयुตตะกะ และคเชนทร์ เณลิมวัฒน์. 2537. Benthos บริเวณ
Subtidal, น 16. ใน การสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติครั้งที่ 5 เรื่อง สถานภาพ
ของทะเลไทย และแนวโน้มในอนาคต. คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- มนูดี หังสพฤกษ์. 2532. **สมุทรศาสตร์เคมี.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ๑. 307 น.
- ร่มไทร กล้าสุนทร. 2538. **สารานุกรมศัพท์วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.** มหาวิทยาลัยมหิดล,
กรุงเทพฯ ๑. 502 น. แปลจาก Gareth, J.A. Robertson and G.Hollier (ed.).1990.
Reference Dictionary Enviroment Science. Glasgow, Italy.
- รัชนิกร บำรุงราชหิรัณย์, ชันธุ์พงษ์ จริ่งจิต และวรรณภา จำราช. 2530. โลหะหนักในน้ำทะเล
และดินตะกอน บริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเลตะวันออก 2526-2529, น. 114-
121. ใน การสัมมนาครั้งที่ 4 การวิจัยคุณภาพน้ำและคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำ
ไทย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- วรพันธ์ แก้วอุดม. 2532. **การศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำ ดินตะกอนและผักตบชวาในบึง**
มักกะสัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- แหวตา ทองระอา. 2541. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำทะเลและในดินตะกอน จากปากแม่
น้ำบางปะกง ถึงศรีราชา. วารสารการประมง. ฉบับที่ 2 ปีที่ 31 เดือน มีนาคม-เมษายน
2541. 191 หน้า.

สัจด์ อัครวนิช. 2534. ปริมาณ ตะกั่ว แคดเมียม โปรท ในน้ำและดินตะกอนจากชั้นลุ่มน้ำ
คุณภาพต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำแม่ย จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนิท อักษรแก้ว. 2542. การฟื้นฟูและพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนเพื่อสังคมและ
เศรษฐกิจอย่างยั่งยืนของประเทศไทย. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 407 น.

สมเจตน์ จันทวัฒน์, ศุภมาส พินิชศักดิ์พัฒนา, จงรักย์ จันทรเจริญสุข, วิโรจ อัมพิทักษ์ และ
อัญชลี สุทธิปรากร. 2526. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ วังโน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุธรรม แยมเนียม และ งามพิศ แยมเนียม. 2519. เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา เล่มที่ 12.
กรุงเทพฯ : กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

สุวรรณ ภาณุตระกูล และไพฑูรย์ มกกงไผ่. 2543. การสะสมโลหะหนักบางชนิดในดินตะกอน
จากแม่น้ำบางปะกง. ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา,
ชลบุรี

สุวรรณ เฉินบำรุง. 2537. การแพร่กระจายโลหะหนักในดินตะกอนของอ่าวไทย. ใน การสัมมนา
วิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 5 เรื่อง สถานภาพทะเลไทยและแนวโน้มในอนาคต.
คณะกรรมการวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,
กรุงเทพฯ.

ลำราญ เพ็ชรชนะ. 2533. การศึกษาปริมาณแมงกานีส แคดเมียม และตะกั่วในน้ำและ
ดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่าง ๆ ทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชาติ โพธิ์สุ. 2536. ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในน้ำและดินตะกอนจาก
คุณภาพน้ำชั้นต่าง ๆ บริเวณลุ่มน้ำเลย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพินท์ จันทร์ส่องแสง. 2520. ปริมาณการสะสมของโลหะหนักบางชนิดตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ
ของปลาทะเล และในเนื้อเยื่อสัตว์ทะเลบางชนิดในอ่าวไทยซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถานีอุตุนิยมวิทยา. 2541. ปริมาณน้ำฝน. แหล่งที่มา: <http://www.trat.go.th>, April 20, 2007.

สำนักงานอุตุนิยมวิทยา. 2549. ข้อมูลประชากร. แหล่งที่มา: <http://www.trat.go.th>, April
20, 2007.

AIT. 1981. Heavy Metals, DDT and PCBs in the Upper Gulf of Thailand. Phase II. **Final**
Report of The National Environmental Board of Thailand by Environmental
Engineering Division and Water Resources Engineering Division, Asia Institute of
Technology, Phatumthani. 198 p.

Alabaster, J. S. 1980. **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. Butterworth, London

Angelidis, M. O. and M. Aloupi. 1995. Metals in sediments of Rhodes harbour, Greece. **Mar.
pollut. Bull.** 31(4-12): 273-276.

ANZECC (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council). 1998.
Draft ANZECC Guidelines for Water Quality in fresh and Marine Waters.
Australian and New Zealand Environmental and Conservation Council, Canberra
Australia.

- Attril MJ, Thomas R. 1995. Heavy metal concentrations in sediment from the Thames Estuary U.K. **Mar. pollut. Bull.** 30:742-744.
- Berman, E. 1980. **Toxin Metal and their Analysis.** Cambridge Univ. Press, London. 293 p.
- Berrow SP. 1991. Heavy metals in sediment and shellfish from Cork Harbour, Ireland. **Mar. Pollut. Bull.** 22: 467-469.
- Bordovskiy, O. K. 1965. Organic matter in marine sediment. **J. Mar. Biol.** 3: 3-114.
- Brames, E. and W. Anthony. 1983. Cadmium and Lead through an Agricultural Food Chain. Teas A & M Univ. **Science of the Total Env.** 28: 285-307.
- Brook, A.R. 1997. Pollution through trace elementals, pp. 429 - 476. *In* J. O. M. Bockris (ed.). **Environmental Chemistry.** Plenum Press, New York.
- Bryan G, Langston WJ, Hummerstone LC and Burt GR. 1985. A guide to the assessment of heavy-metal contamination in estuaries using biological indicators. Marine Biological Assessment UK, **Occ. Publ.** 4: 92.
- Bryan GW, Langston J. 1992. Bioavailability, accumulation and effect of heavy metals in sediment with special reference to United Kingdom estuaries: A review. **Environ Pollut.** 76: 89-131.
- Chaney, R.L. 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland, Cited by H. Kuntz, E. Pluquet, J.H. Stark and S. Coopoia. **Current techniques for evaluation of metal problems d.ue to sludge.** D. Reidal publish Company, Holland.
- Chester, R and H. Vontsinon. 1981. The initial assessment of trace metal pollution In coastal sediments. **Mar. Pollut.** 12: 84-91.

- Chow, T.J. 1978. Lead in natural waters, pp.53-56. *In the Biogeochemistry of Lead in the Environment. Part A.* Elsevir North - Holland Biomedical Press, Amsterdam.
- Committee on Lead in the Human Environment. 1980. **Lead in Human Environment.** **Nation Academy of Science**, Washington, D.C. 525 p.
- Coulston, F. and E. Mrak. 1977. **Water Quality Proceeding of an International Forum.** Academic Press, London. 295 p.
- Dassenakis MI, Kloukiniotou MA, Paulidou AS. 1996. The influence of long existing pollution on trace metal levels in a small tidal Mediterranean Bay. **Mar. pollut. Bull.** 32:275-282.
- Depinto, J.V., T.C. Young and S.C. Matin. 1982. **Aquatic sediments.** J.WPCF. 54(6) : 885-862.
- Dong, A., G. Chesters and G.V. Simsman. 1983. **Metal** composition of soil, Sediments and urban dust and Dirt samples from the memnomnce River ratershed. Wisconsin, U.S.A. **Water, Air, Soil Pollut.** 22(3): 257-275.
- EPA. 1979. Water-Related Environmental Fate of 125 Priority Pollutants: Volum I, United Stated Environmental protection agency, Washing. D.C.
- FAO and WHO. 1972. **Evaluation of Certain Food Additive and Contaminats Mercury, Lead and Cadmium.** Sixteenth Report of Joint FAO/WHO. Expert Committee on Food Additive, New york. 132 p.
- Ferreira MF, Chiu WS, Cheol HK, Cheang F, Sun W. 1996. Accumulation of nutrients and heavy metals in surface sediments near Macao. **Mar. pollut. Bull.** 32: 420-425.

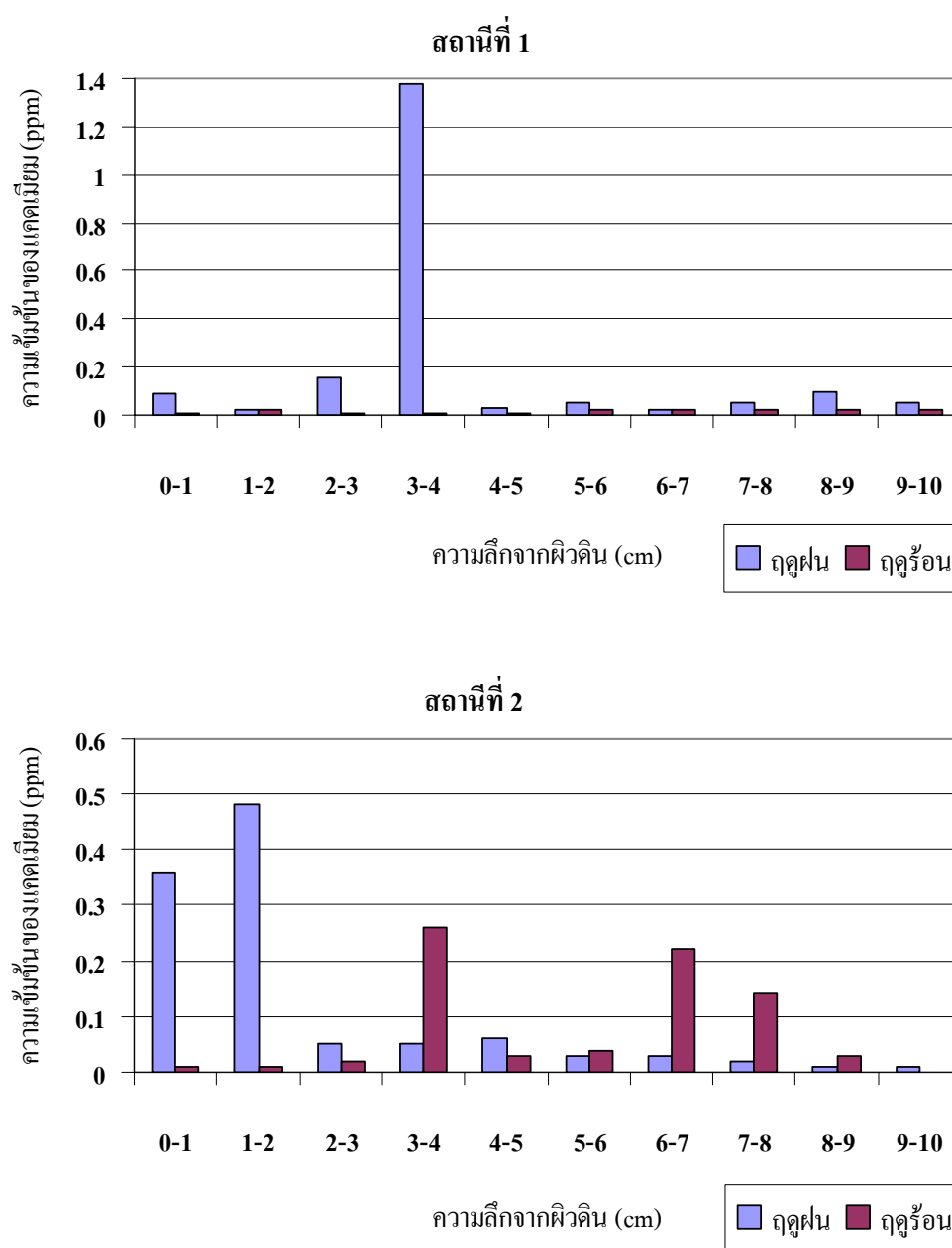
- Francis, A.J. and C.J. Dodge. 1988. Anaerobic micro-bial dissolution of Transition and heavy metal oxides. **Appl. And Environ. Microbial.** 54:1009-1014.
- Fukushima K, Saino T, Kodama Y. 1992. Trace metal contamination in Tokyo Bay, Japan. **Sci Total Environ.** 125: 373-389.
- Gauss, J.D., P.E. Wood, R.W. Winner and J.H. Skillings. 1985. Acute toxicity of Copper to three life stage of chironomous tentans as affected by water Hardness alkalinity. **Environ. Pollut., Ser. A** 37, 149-157.
- Goldberg, E.D. 1975. Marine pollution. *In* Chemical Oceanography (Riley, J.P. and G. Skirrow, eds.). **Academic press**, London. 39-86.
- Hawley, G.G. 1977. **The Condensed Chemical Dictionary 9th ed.**, Van Nostrand Reinhold, Co., London. 957 p.
- Henry JL, McGibbon S, Davis G, Mackay RM, Moldan AGS. 1989. **Heavy metals, carbon and hydrocarbons in the sediment of Table Bay harbour.** Sea Fisheries Research Institute, Dept of Environment Affairs, Republic of South Africa, Special Report 4.
- Hirsch, D. and A. Banin. 1990. Cadmium speciation in soil Solution. **J. Environ. Qual.** 19: 366-427.
- HKGS (Hong Kong Government Secretariat). 1998. Management of dredge/excavated Sediment. *In* **Planning, Environmental Lands Bureau and Works Bureau Joint Technical Circular.** Government Secretariat, Hong Kong.
- Hornung H, Drom MD, Cohen Y. 1989. Trace metal distribution in sediments and benthic fauna of Haifa Bay, Israel. **Estaurine Coastal Shelf Sci.** 29: 43-56.

- Howarth, R.S. and J.B. Sprague. 1978. Copper lethality to rainbow trout in Waters to various hardness and pH. **Wat. Res.** 12 : 455-462.
- Kennish MJ. 1996. **Estuarine and marine pollution**. Boca Raton: CRC Prsee.
- Kureishy, C.W., R.S. Gupta, A. Mesquita and S. Sanzgiry. 1993. Heavy metals in some part of Antractica and the Southern Indian Ocean. **Mar. pollut. Bull.** 26: 651-652.
- Longan, T.J. and R.E. Feltz. 1985. Plant uptake of cadmium from acid extracted Anaerobically digested sewage. **J. Environ. Qual.** 14(4): 495-550.
- Luckey, T.D., B. Venugopak and D. Hutcheson. 1975. Heavy Metal Toxicity Safety **And Hormology (supplement Vol. I of Enviromental Quality and Safety)**. Geory Thieme Publ., Stuttgart. 120 p.
- MacDonald, D.D. 1994. **Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters**. Office of Water Policy, Florida Department of Environmental Protection. Tallhassee, Florida.
- Mahaffey, K.R., J.L. Annest, J. Roberts and R.S. Murphy. 1982. Estimates of blood Lead levels, Association with selected demographic and socis – economic Factors. **Engl J. Med.** 307: 573-579.
- McNeely, R.N., V.P. Neimanis and L. Dwyer. 1979. **Water Quality Source Book A Guide to Water Quality Parameter. Inland Water. Directorate, Water Quality Branch, Ottawa.** 238 p.

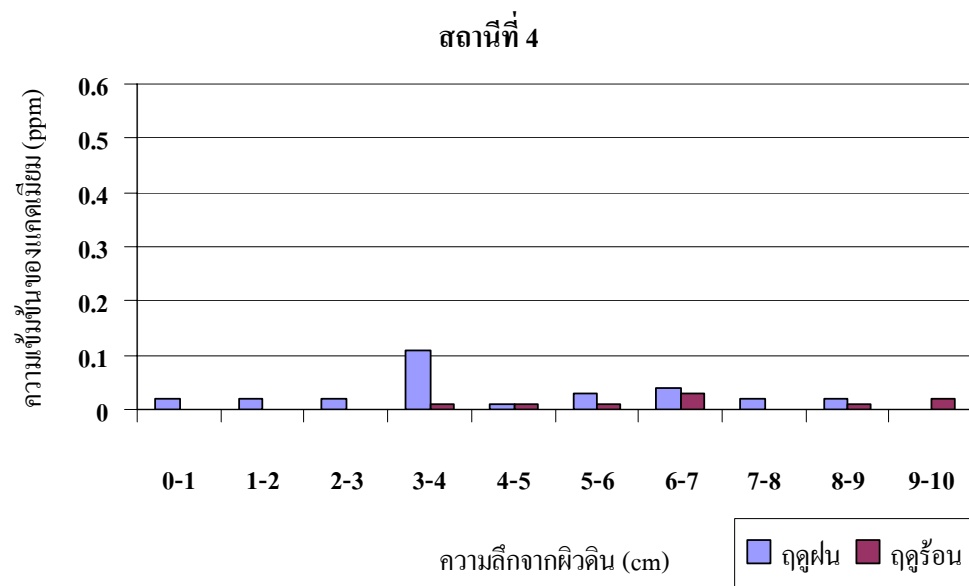
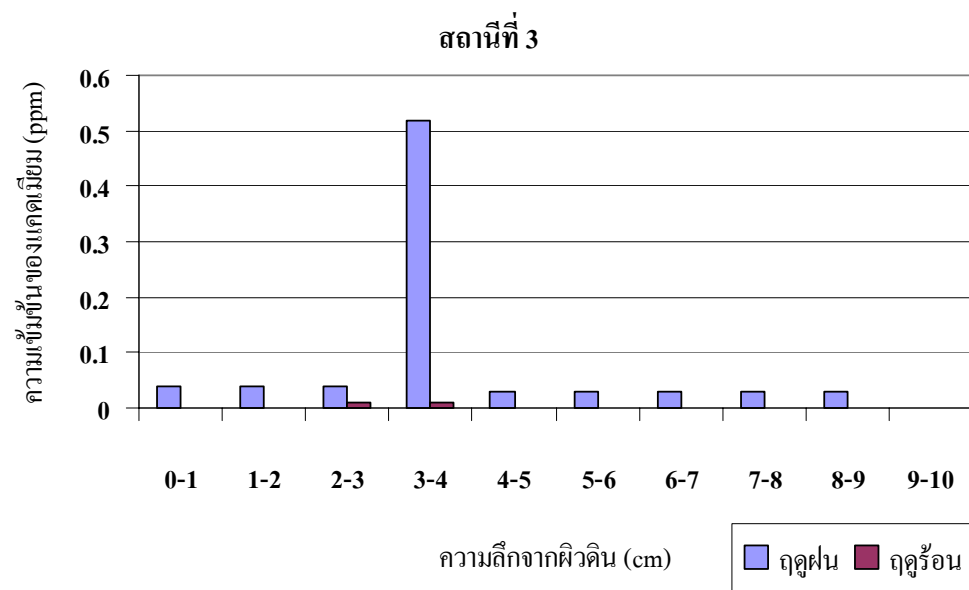
- Mount, D.I. 1968. Chronic Toxicity of copper of fathead minnows (Pimephales promelas Rafinsque). **Marine Pollution**. 11: 93-101.
- Murphy, C.B., J. Stuart and J. Spiegel. 1982. Bioaccumulation and Toxicity Of heavy metals and related trace element. **J. WPCF**. 54(6): 849-854.
- National Academy of Science. 1972. **Airborne Lead in Perspective**. Washington, D.C. 189 p.
- Nriagu, J.O. 1980. Cadmium in the Enviroment, Part I; Ecological Cycling
Enviromental Science and Technology Series. Wiley Interscience Publ., New York. 525 p.
- Onodera, S. 1985. **A Case Study on Water Quality Evaluation of the Lower Chao Phraya River and Klong along the River**. Laboratory and Research Section Enviromental Quality Atandard Division, Bangkok. 275 p.
- Polprasert, C. 1982. Heavy metal pollution in the Chao Phraya river eastuary.
Water Res. 16: 775-784.
- Prince, N.B., S.J. Malcolm and J. Hamilton-Taylor. 1976. Evironmental impact of lead and zinc in recent sediments, pp 207-215. *In* **Biogeochemistry of Estuarine Sediment**. Imprimerice Floch, Mayene.
- Reilly, C. 1980. **Metal Contamination of Food Analysis**. Cambridge Univ. Press, London. 235 p.

- Sfriso A, Marcomini A, Zanette M. 1995. Heavy metals in sediments, SPM and phytozoobenthos of the Lagoon of Venice. **Mar. pollut. Bull.** 30:116-124.
- Stell JH, MacIntyre AD, Hohnson IR, Baxter IG, Topping G, Dooley HD. 1973. Pollution studies in the Clyde Sea area. **Mar. Pollut. Bull.** 4: 153-157.
- Suen - Zone, L., C. Lizone, C. Chien - Min, Y. Hsiao - Hsiang and H. Po – Yu. 2001. The Effect of Hydration on Adsorption and Desorption of Heavy metals in Soil. **J. Envi. Sci. Heal.** A36(1): 63-74.
- Turekain, K.K. and K.H. Wedepohl. 1961. Distribution of the Element in Some Major Units of the Earth's Crust Geol. **Soc. Amer. Bull.** 72(2): 175-192.
- WDOE. 1991. **Sediment Management Standards.** Washomgton State Department of Ecology Olympia, Washington.
- Wedepohl, K.H. 1956. Untersuchungen Zue Geochemic des Bleis Geochem. **Cosmochem. Acta.** 10: 69-148.
- Europa Technologies. 2007. Available Source: <http://www.earth.google.com>, April 20, 2007.

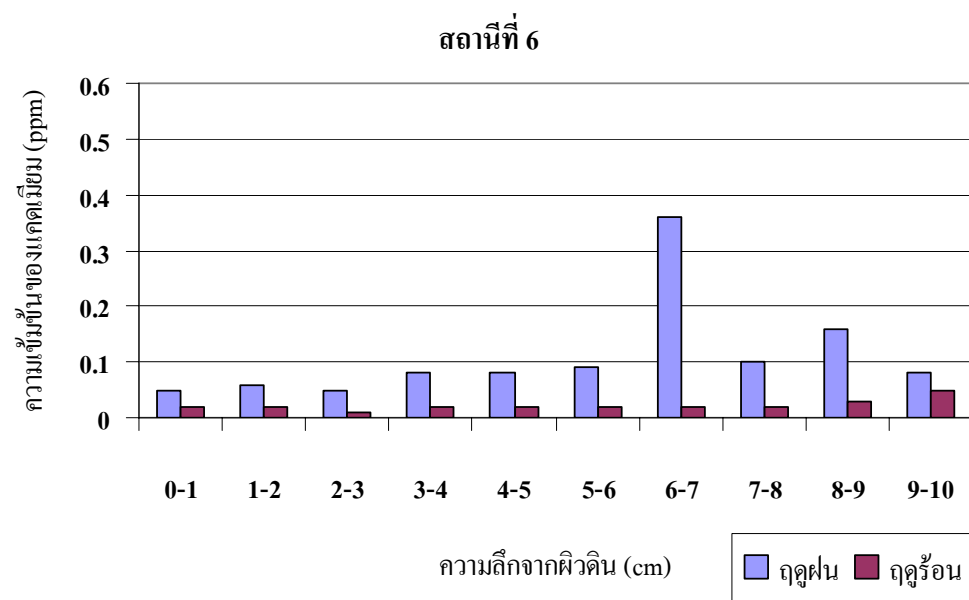
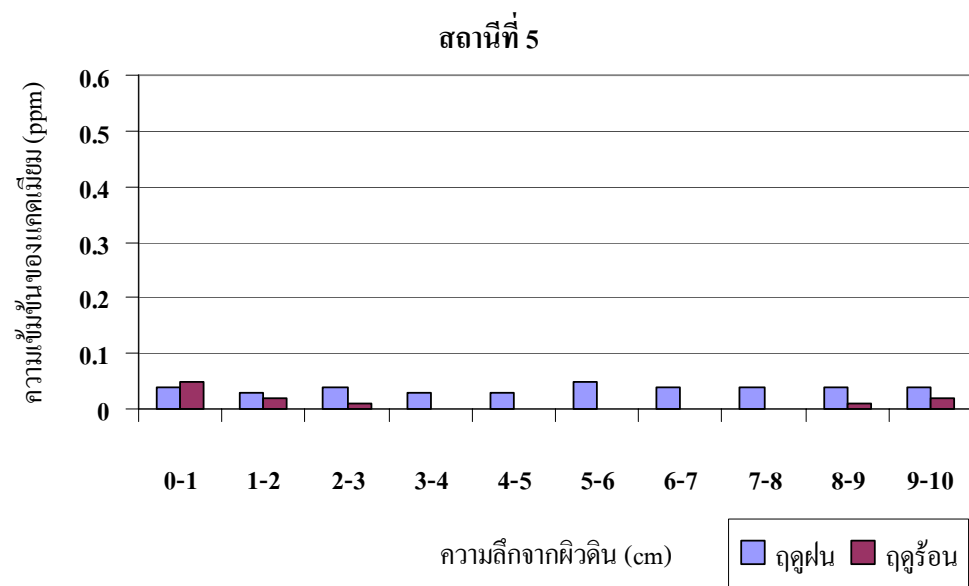
ภาคผนวก



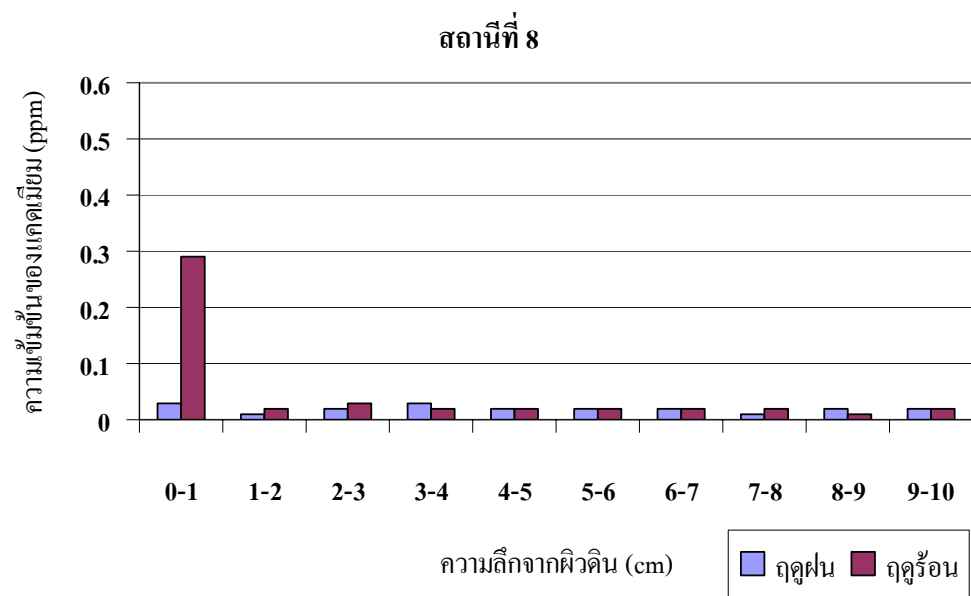
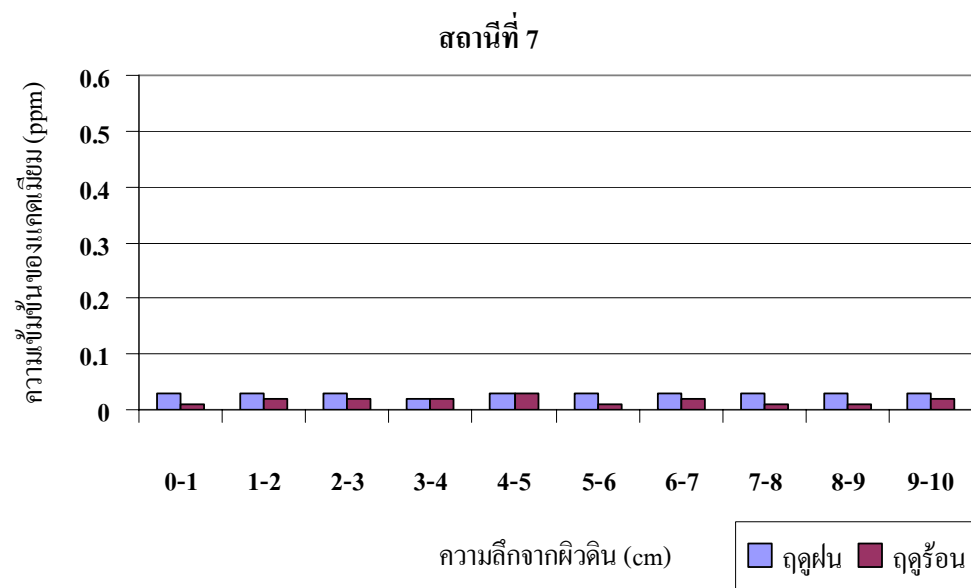
ภาพผนวกที่ 1 ความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



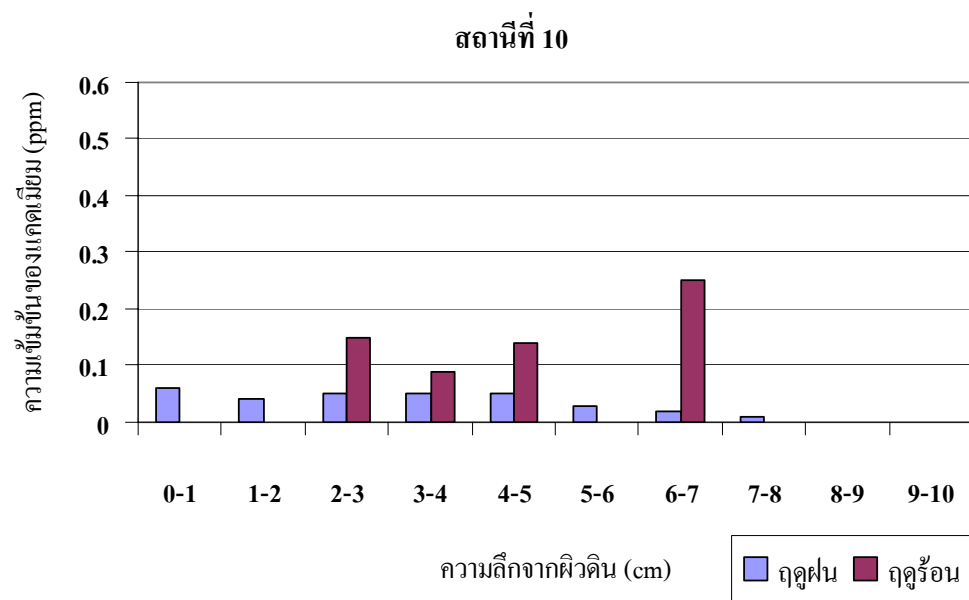
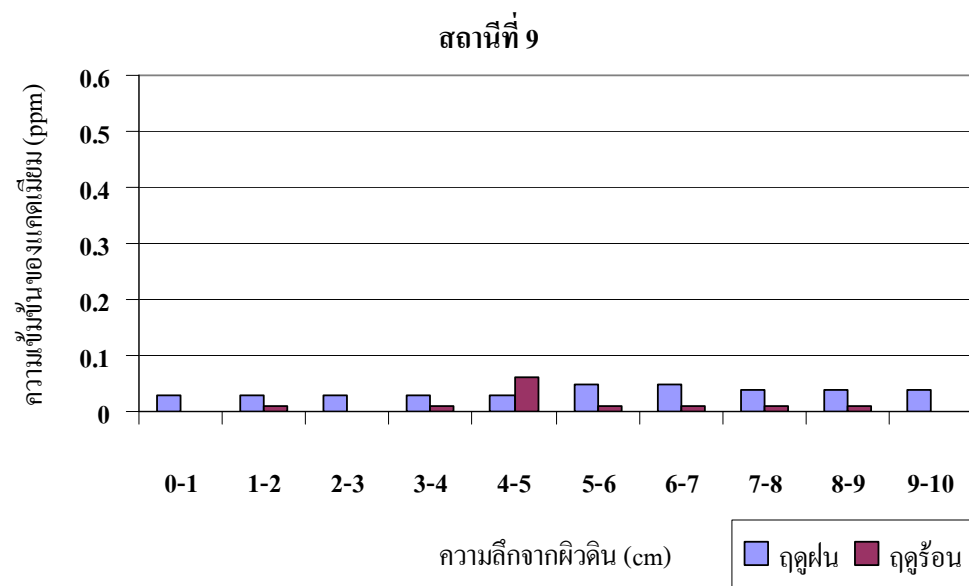
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



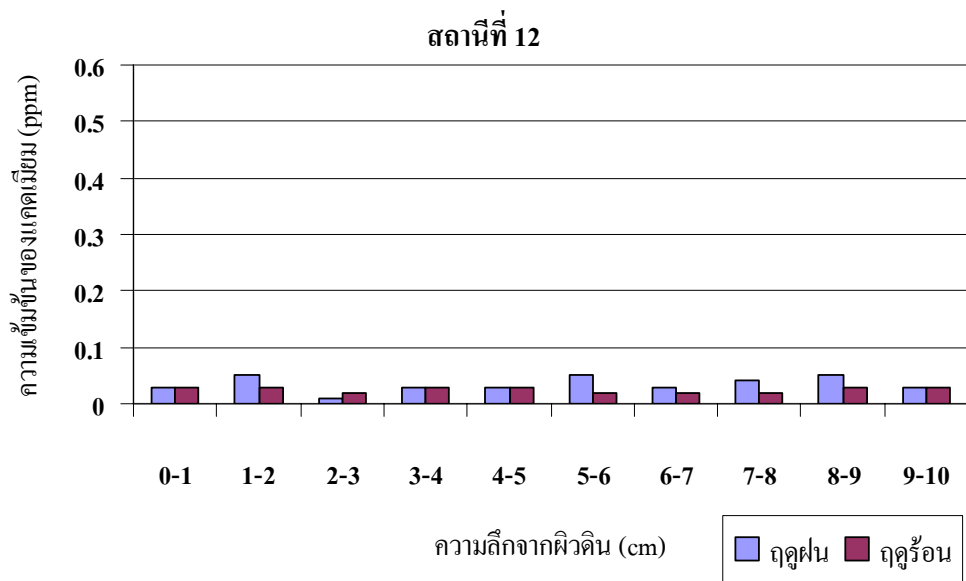
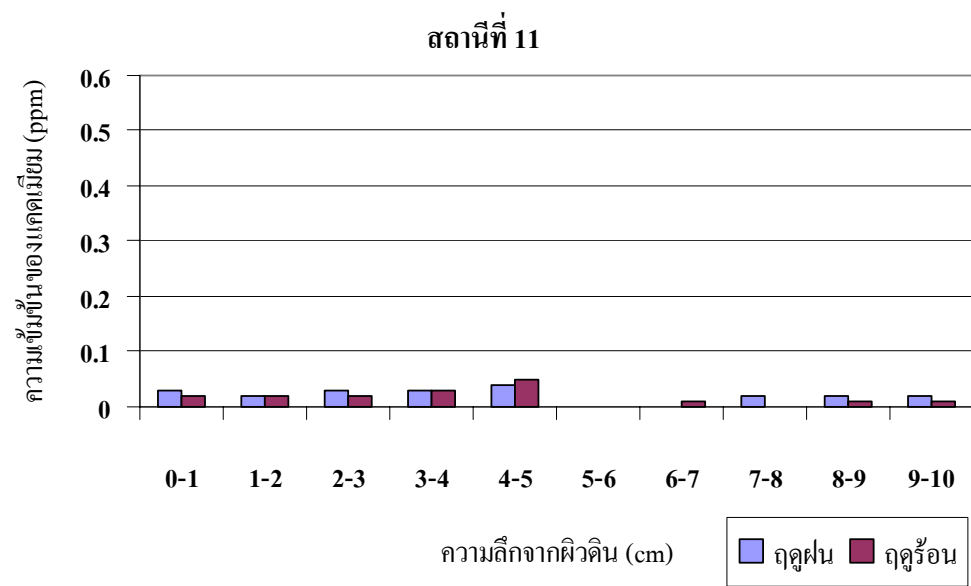
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



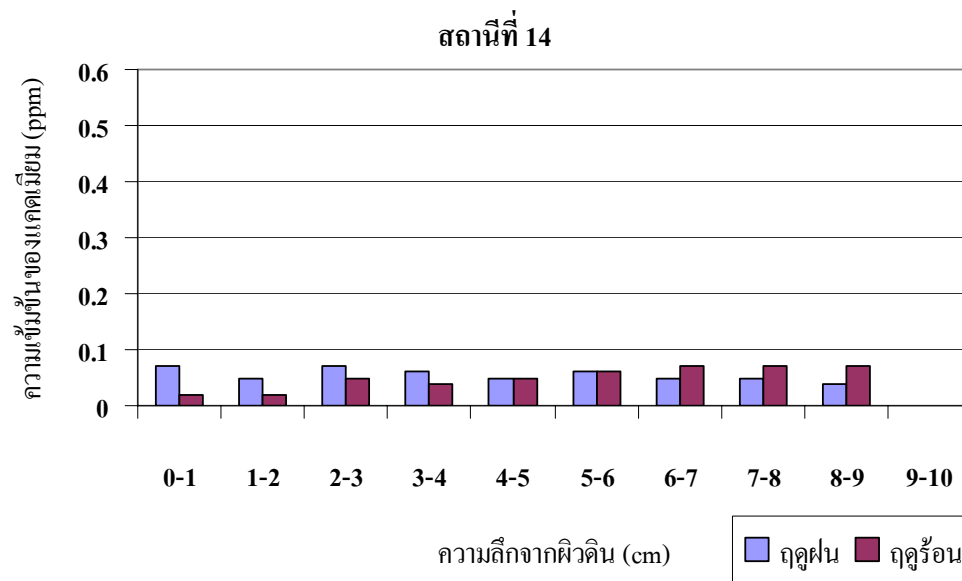
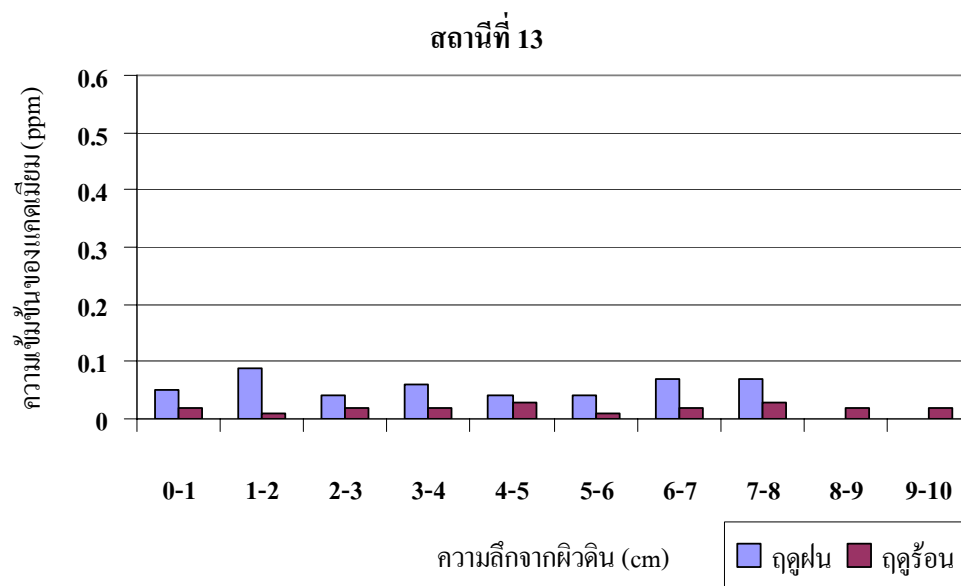
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



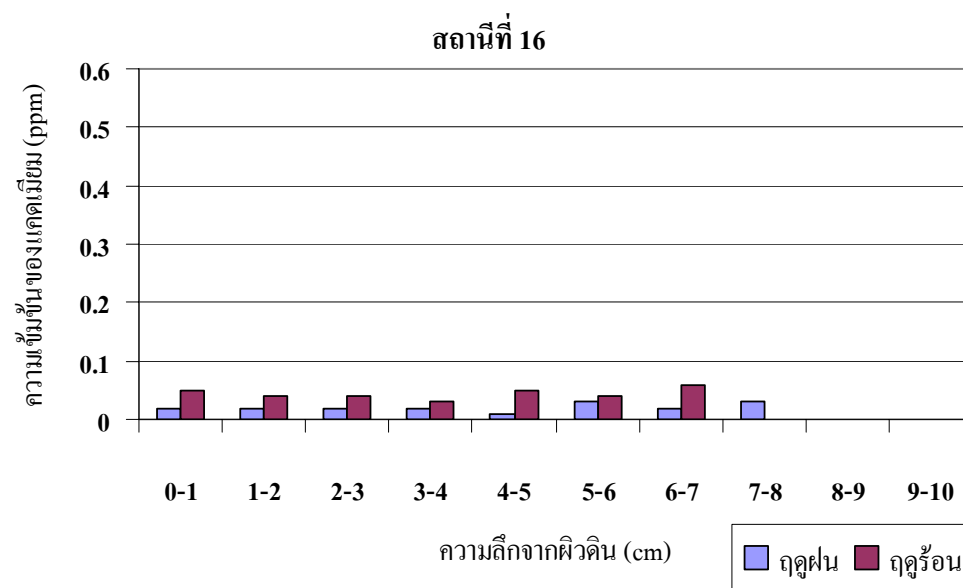
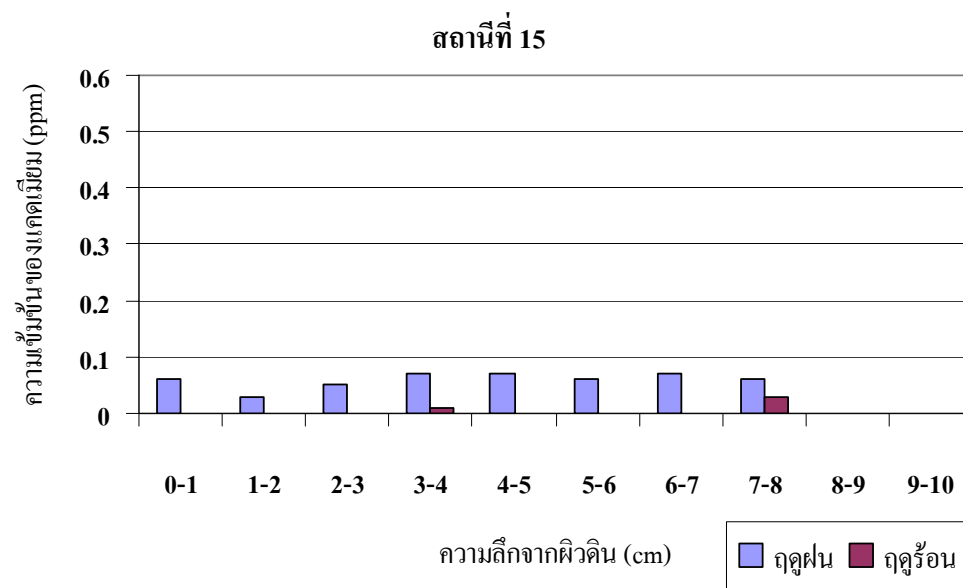
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



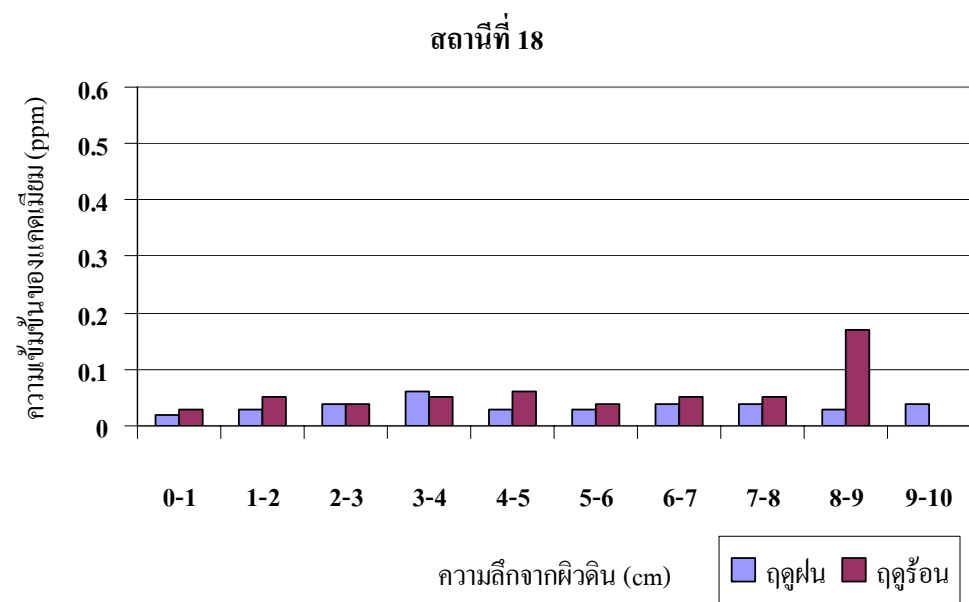
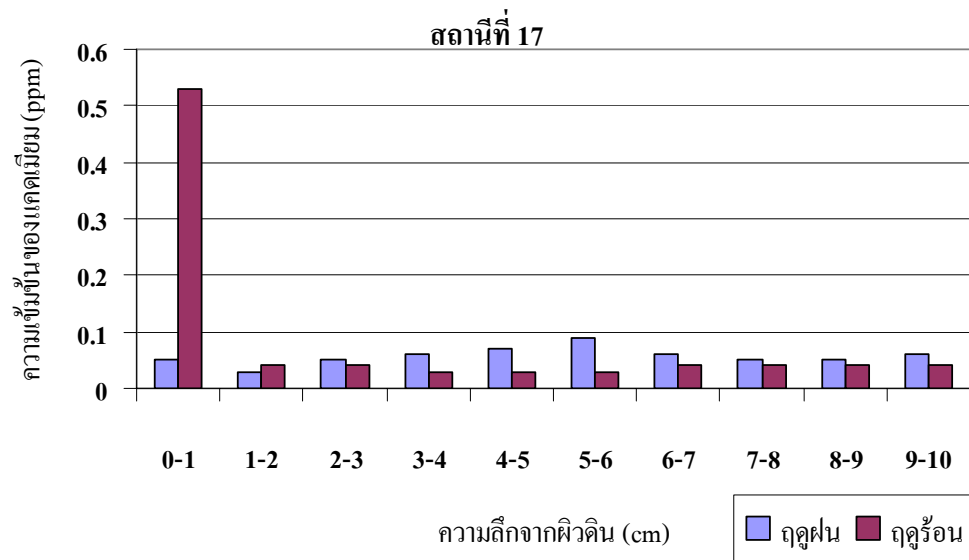
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



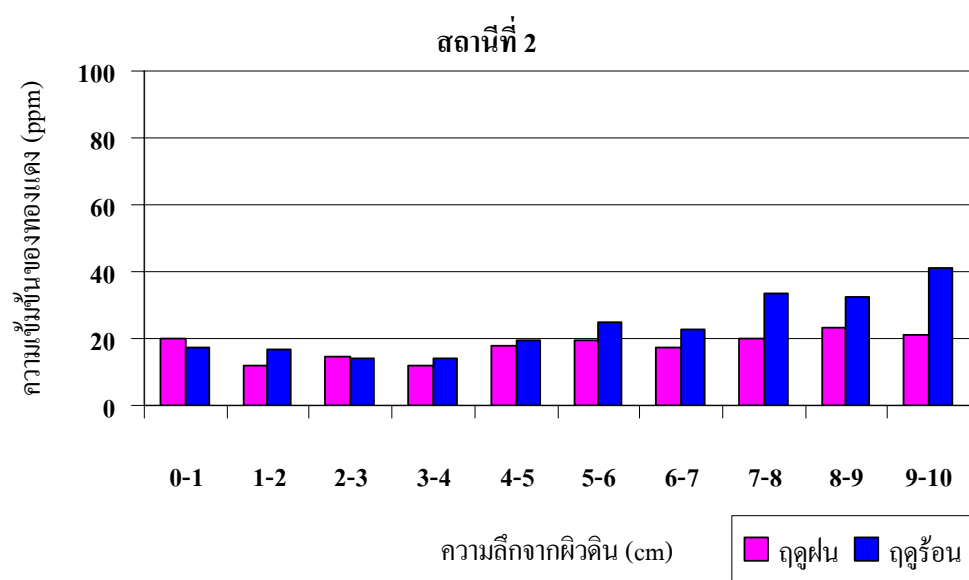
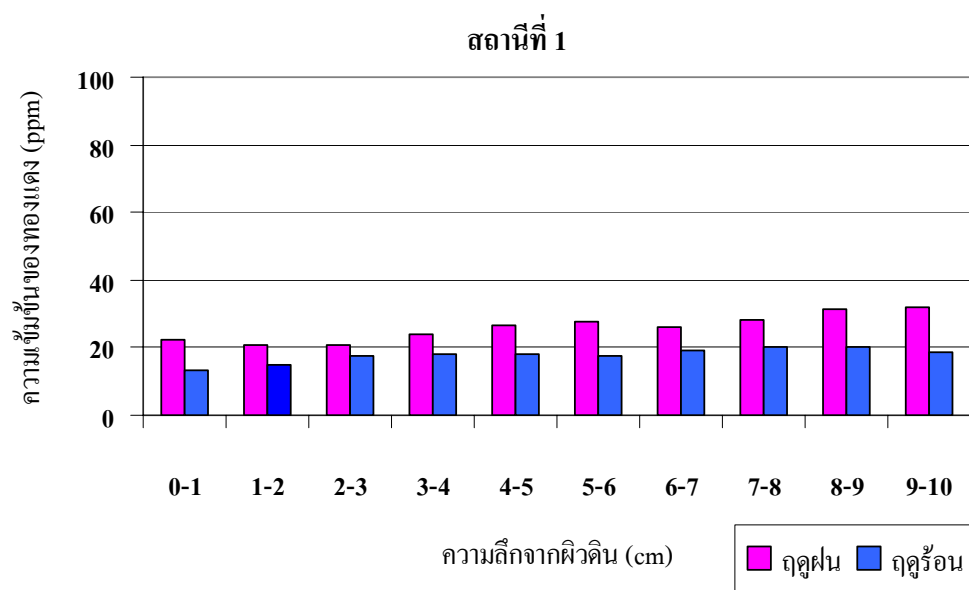
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



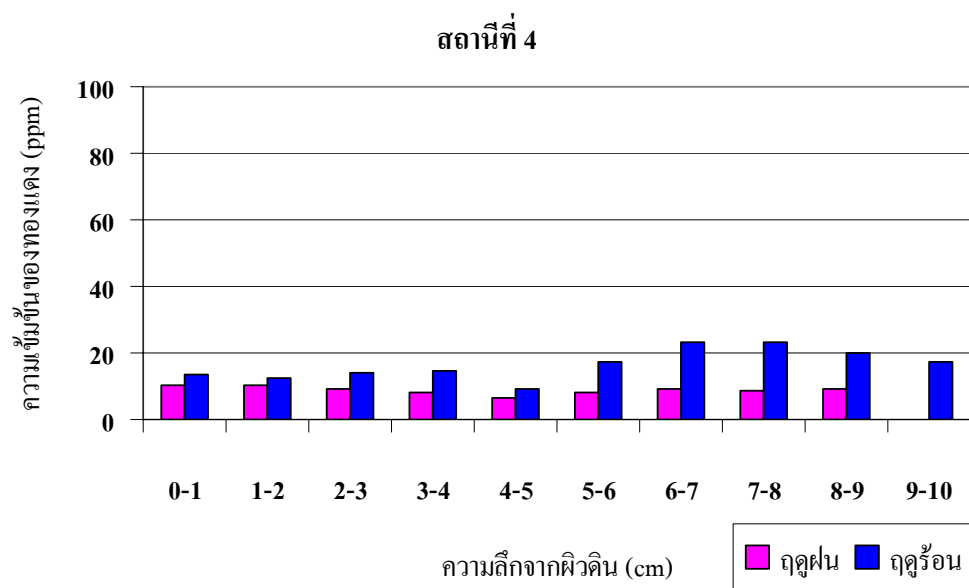
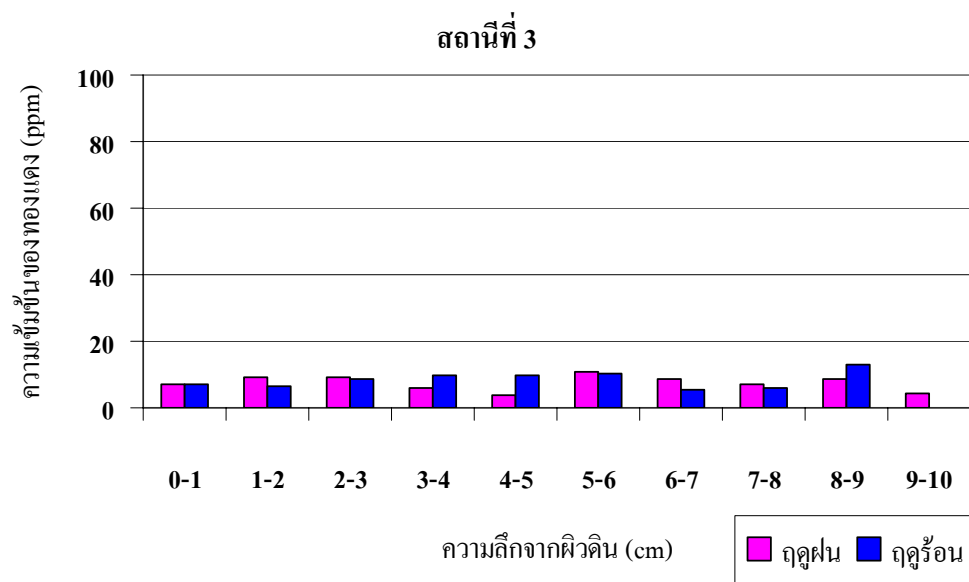
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



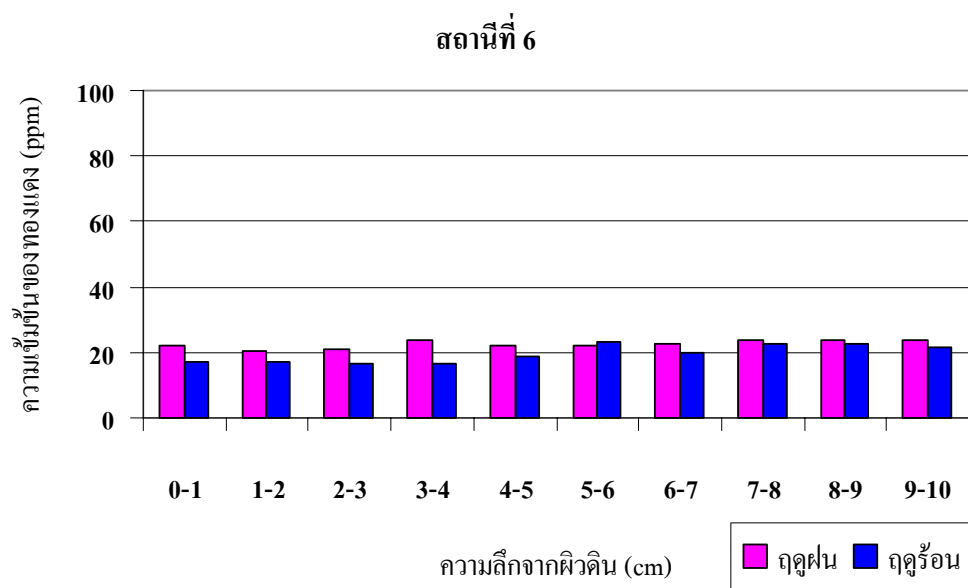
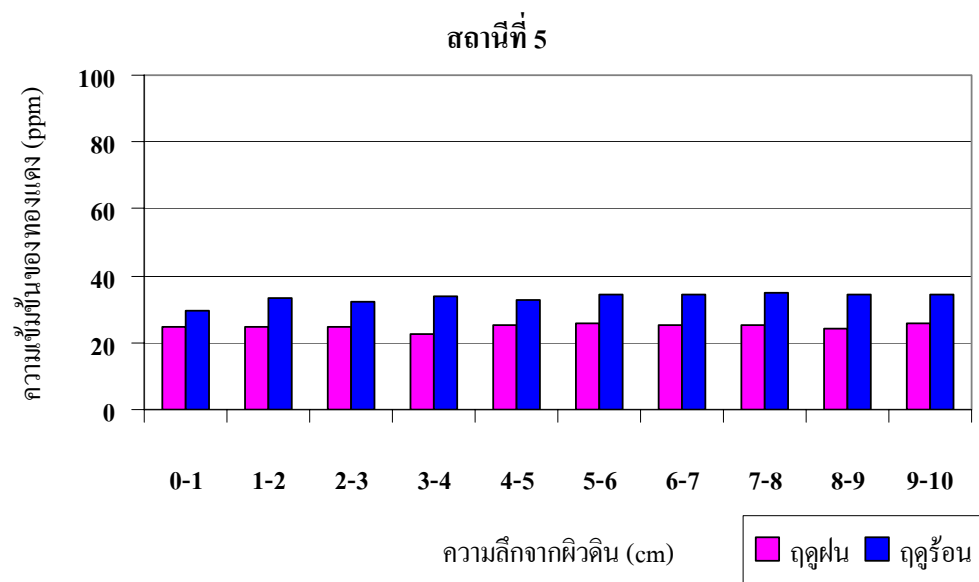
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



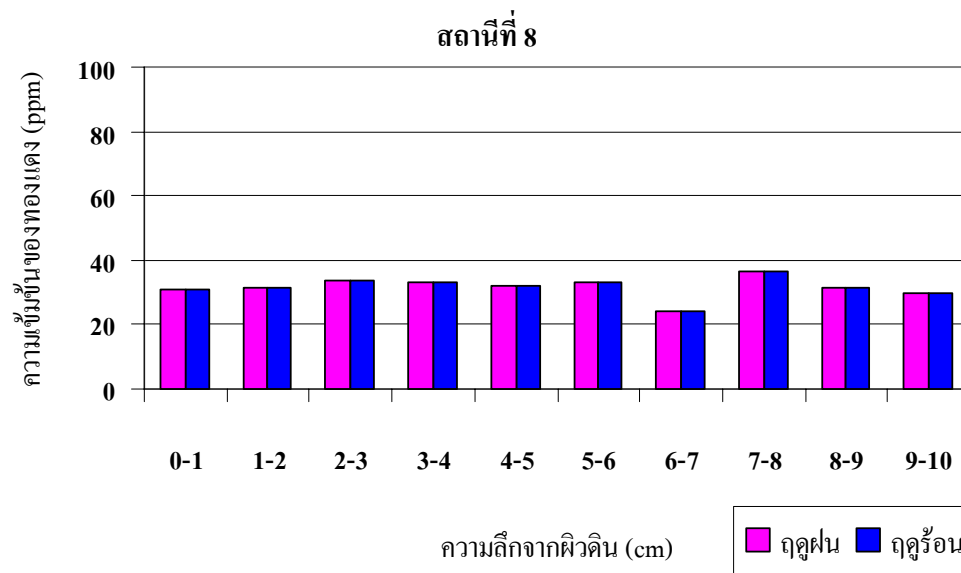
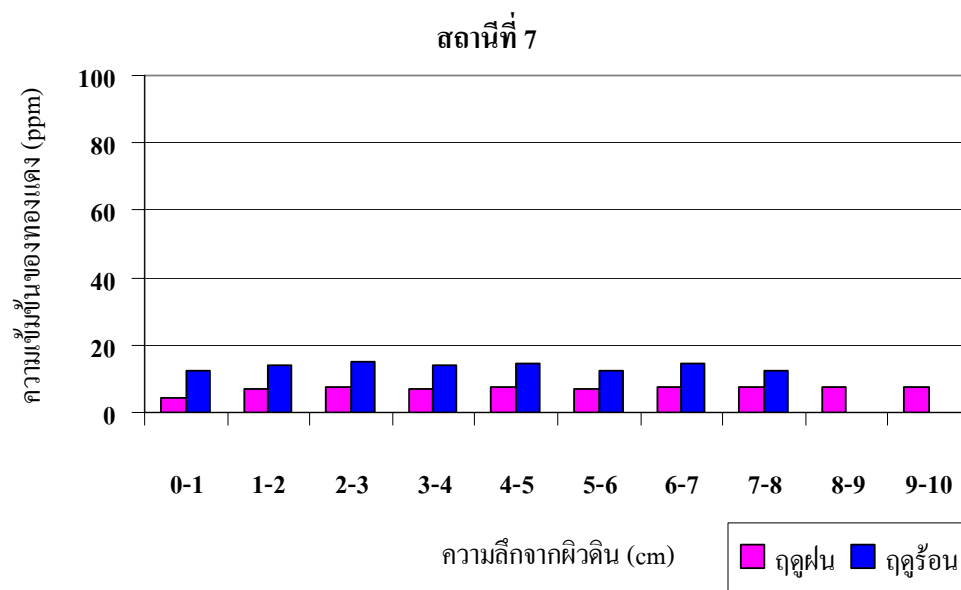
ภาพผนวกที่ 2 ความเข้มข้นของทองแดง (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



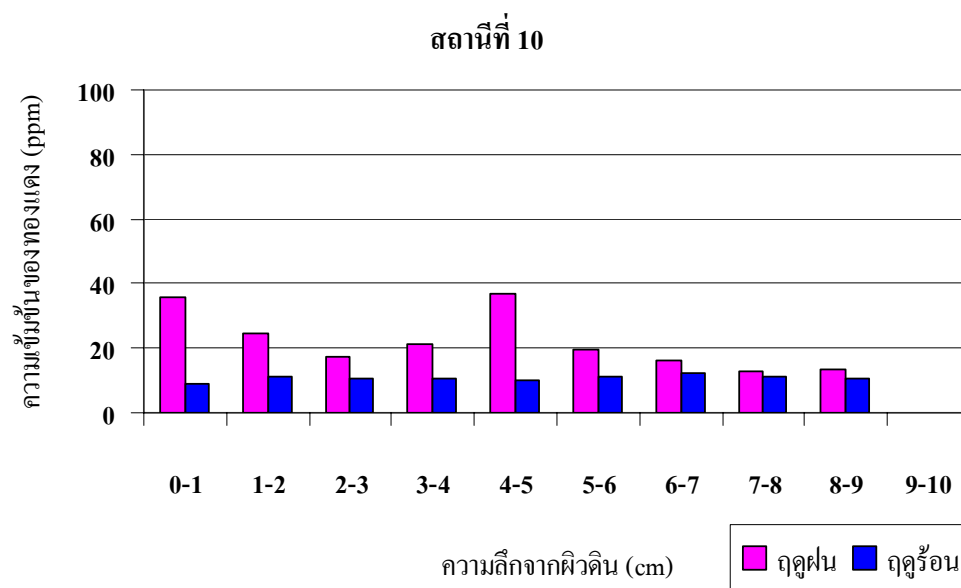
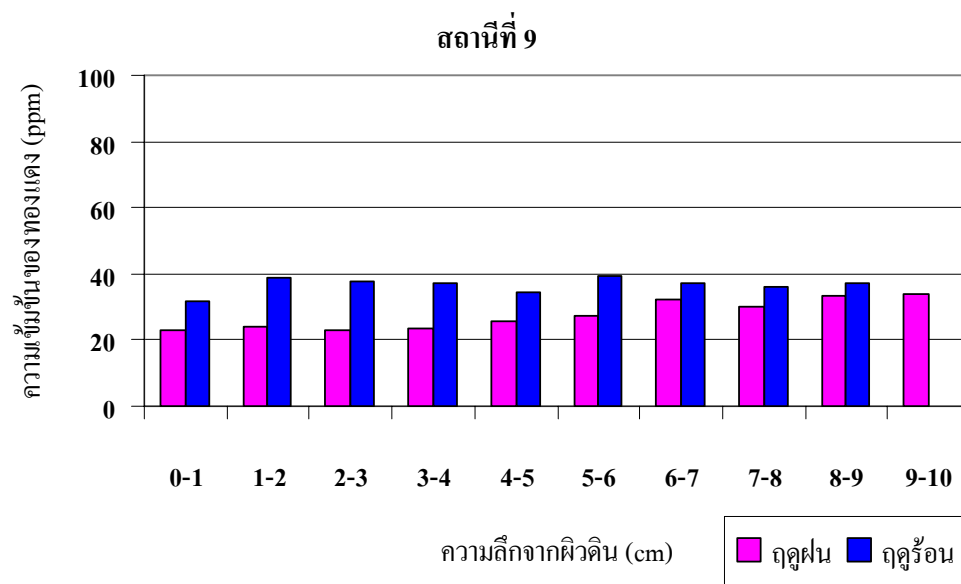
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



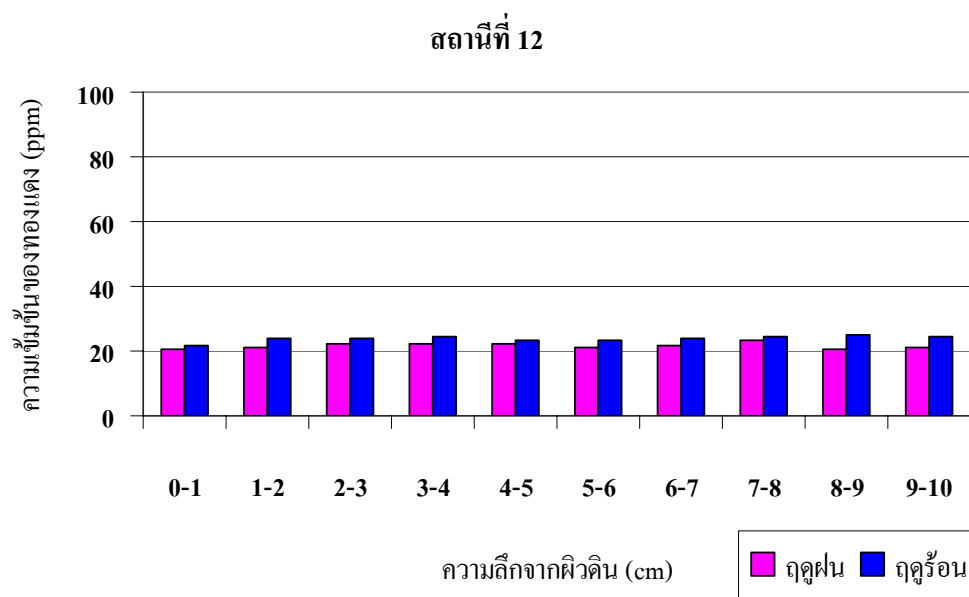
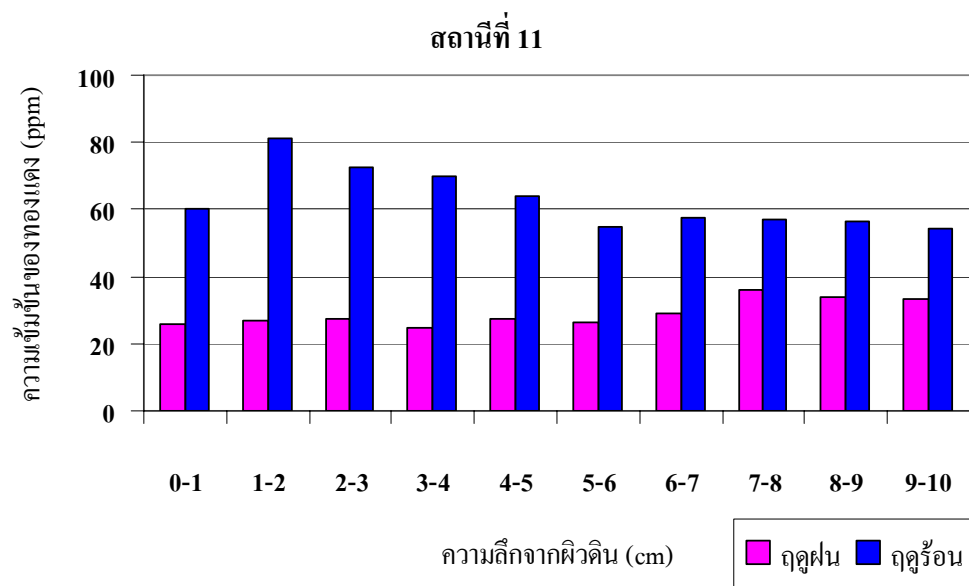
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



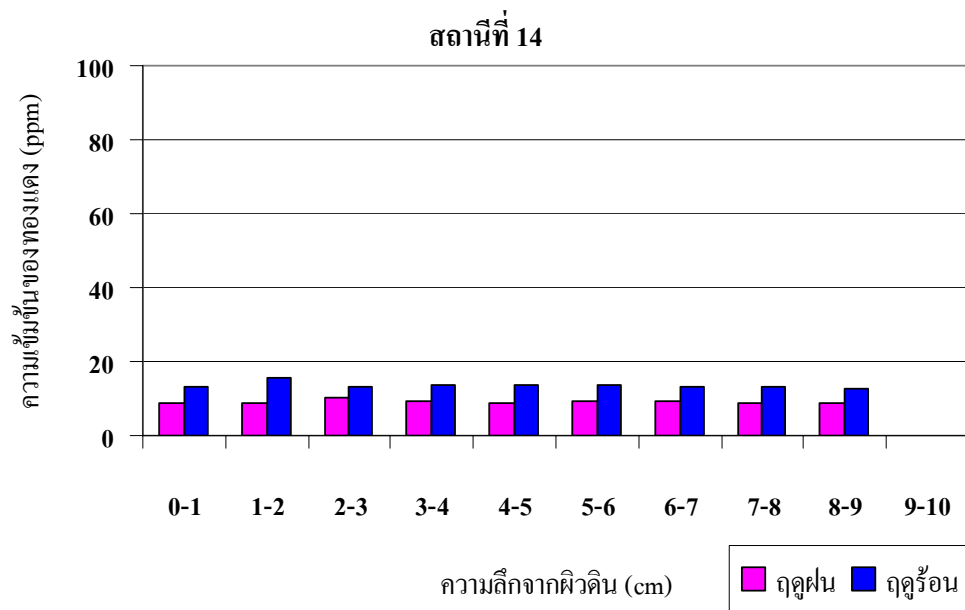
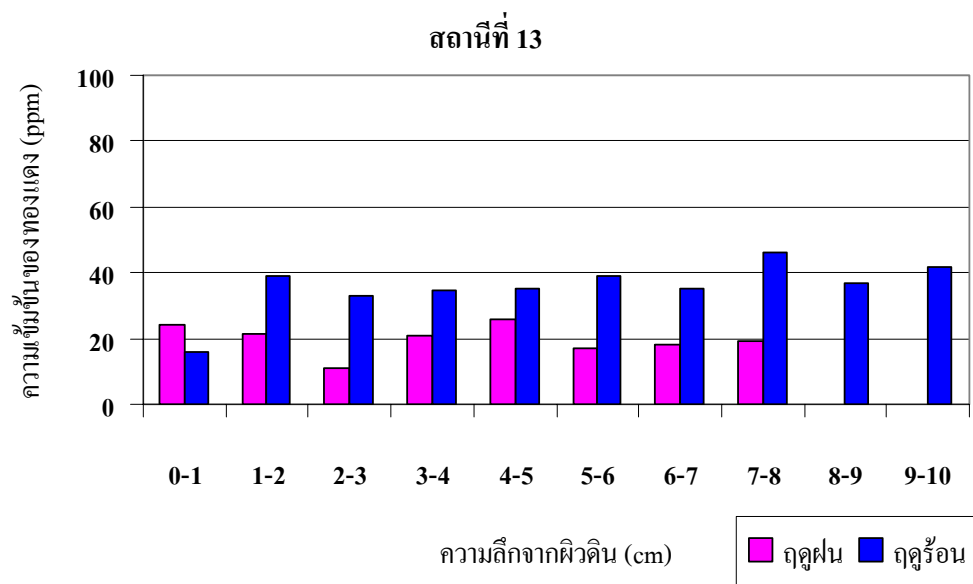
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



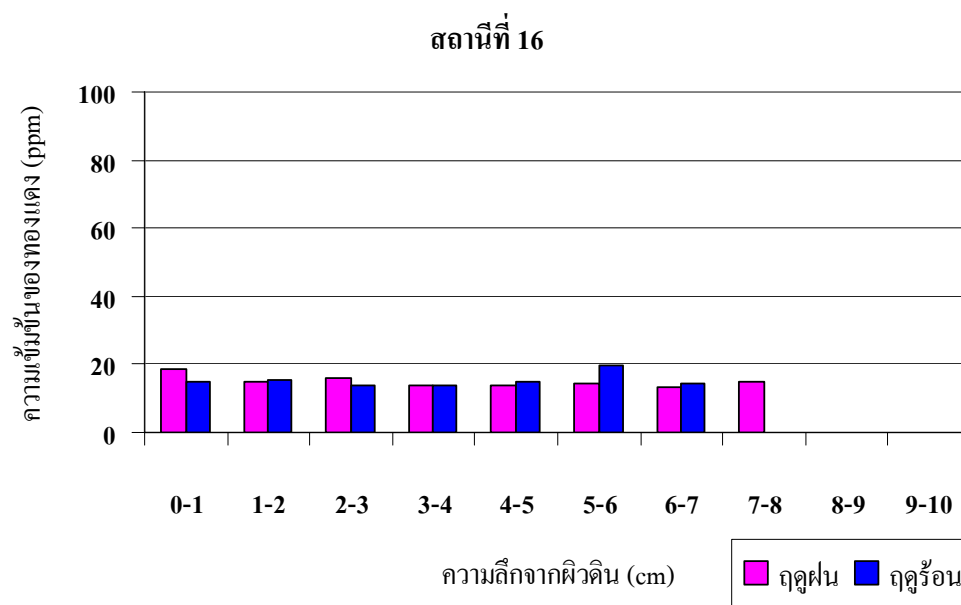
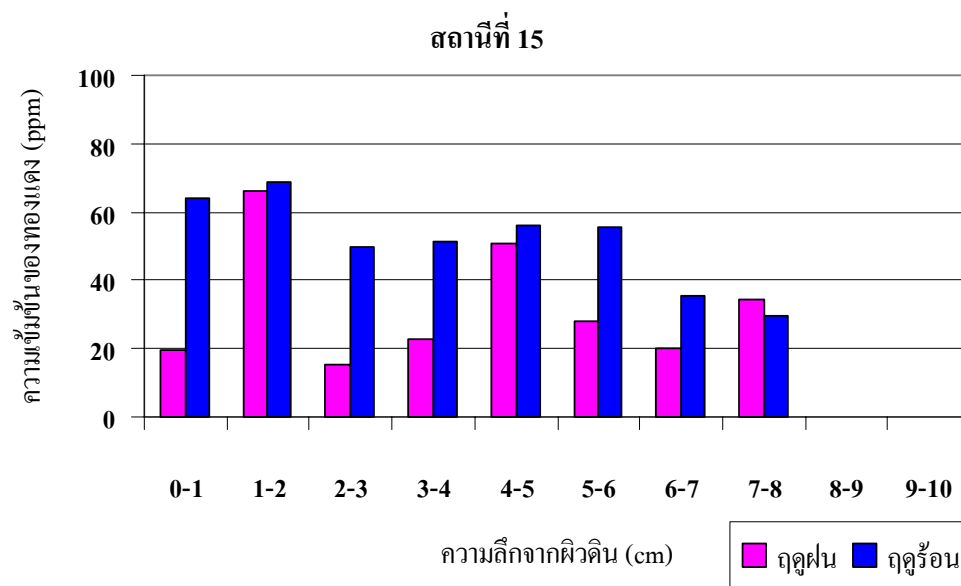
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



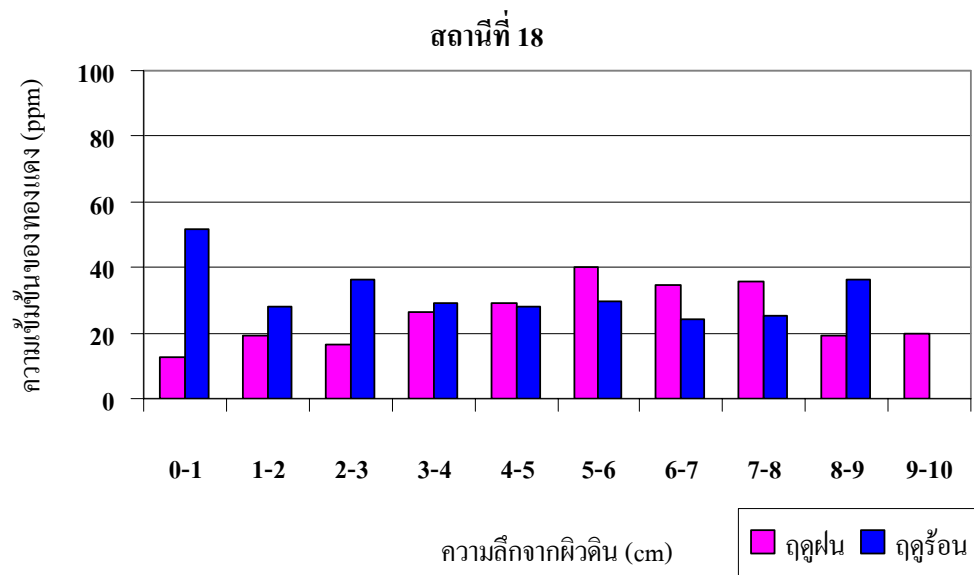
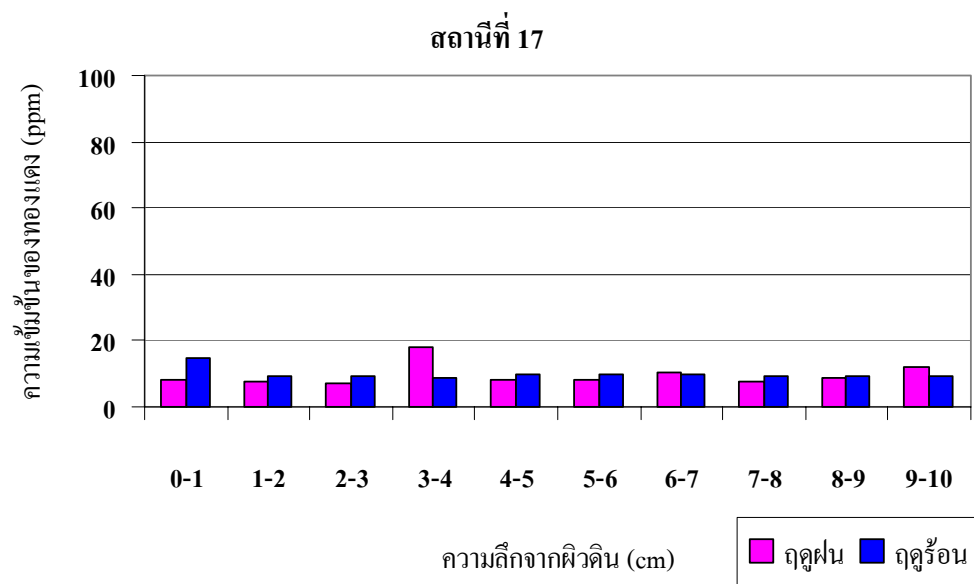
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



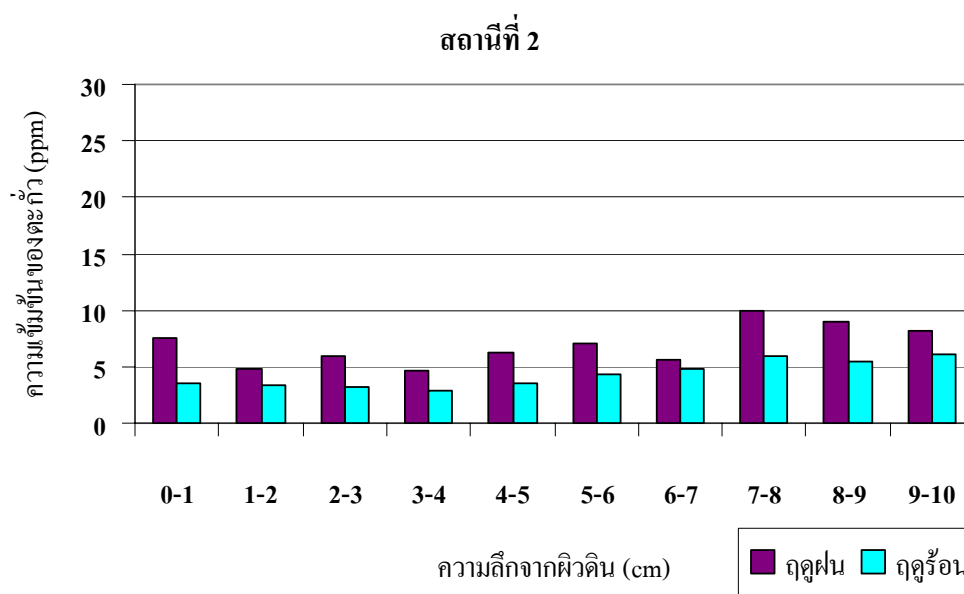
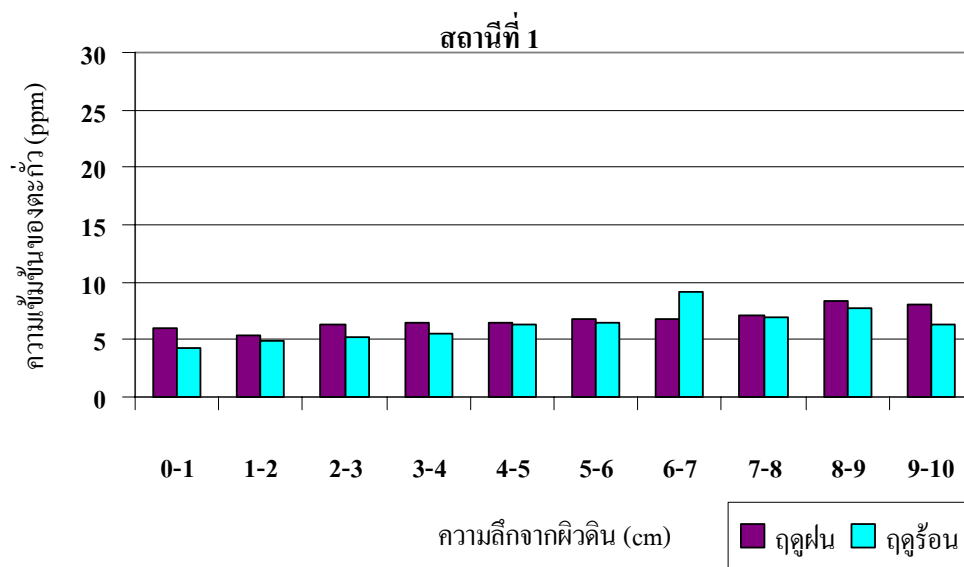
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



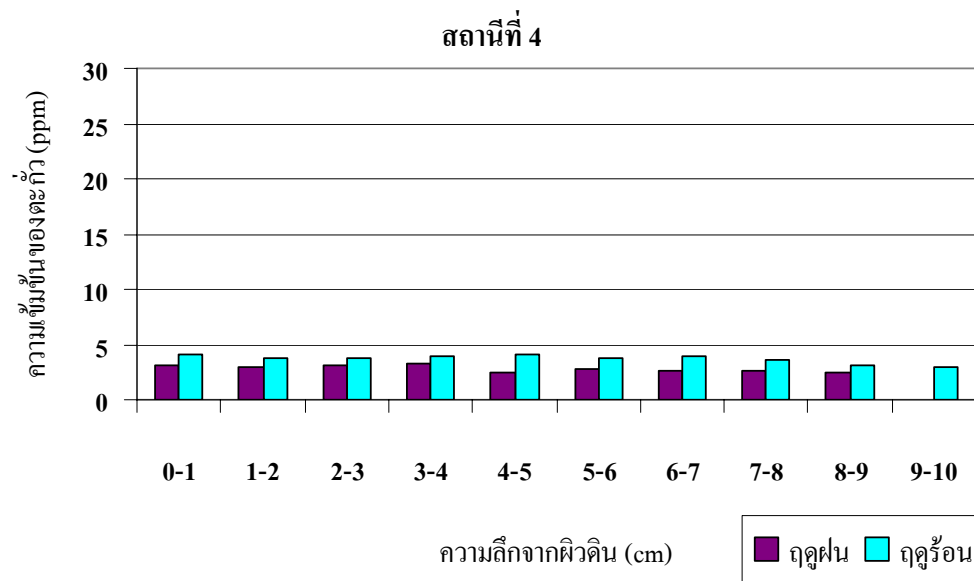
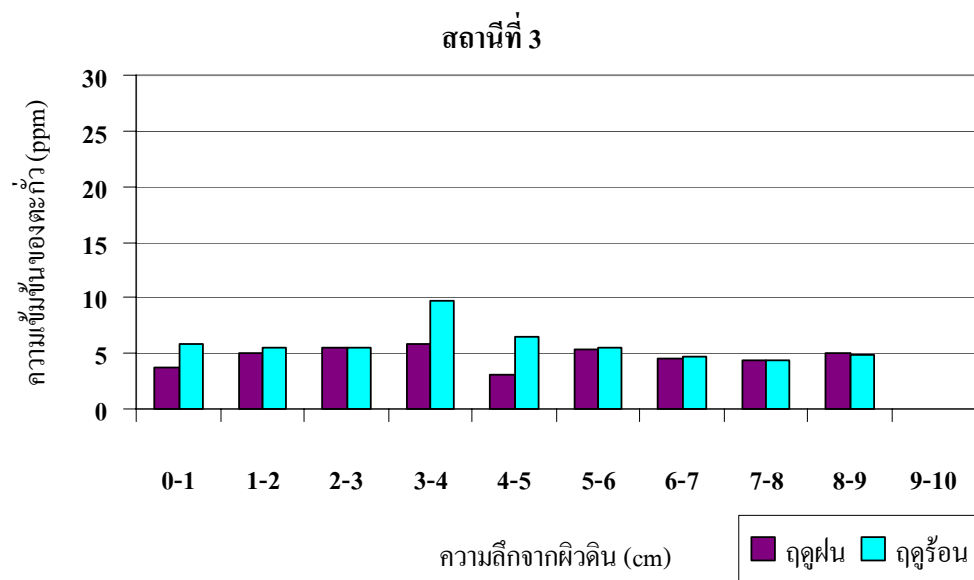
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



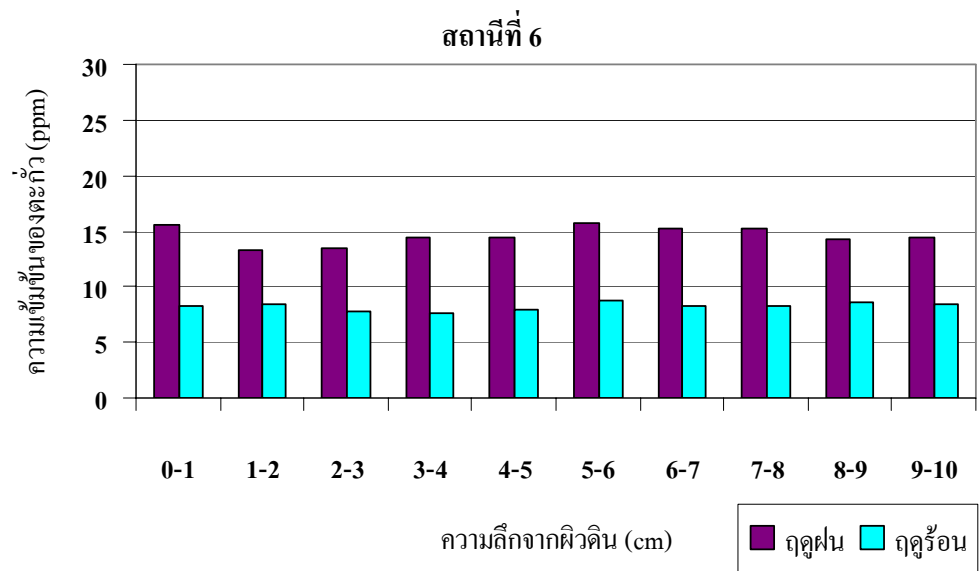
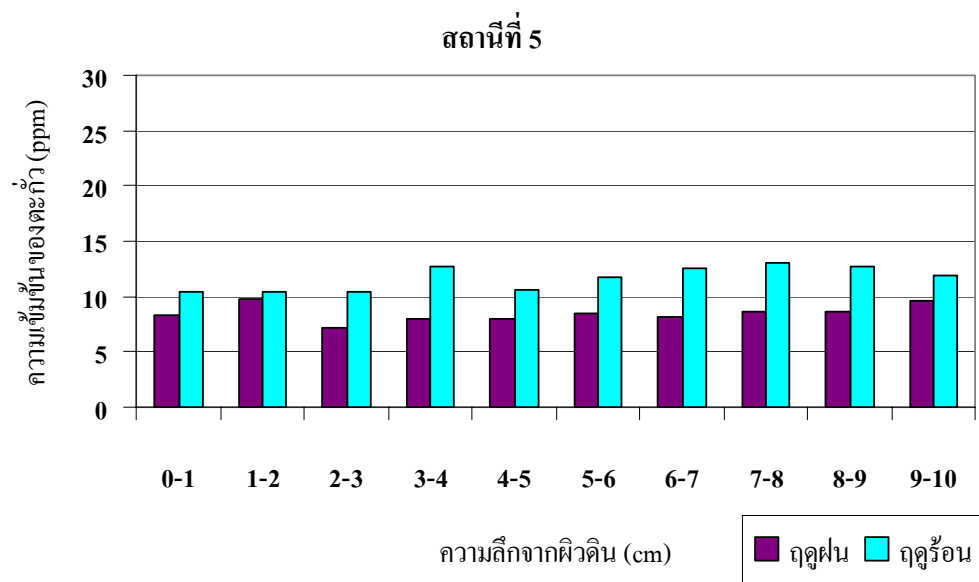
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



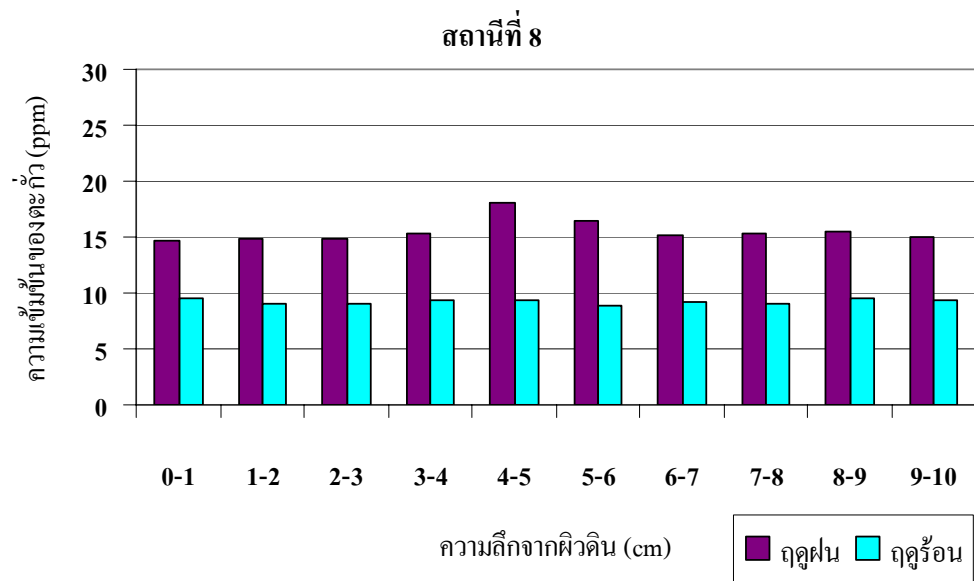
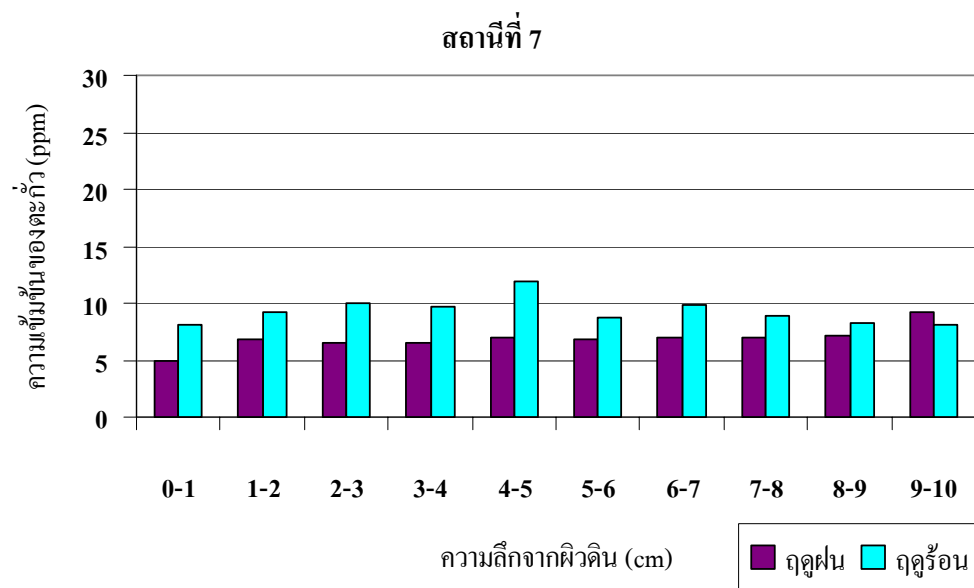
ภาพผนวกที่ 3 ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



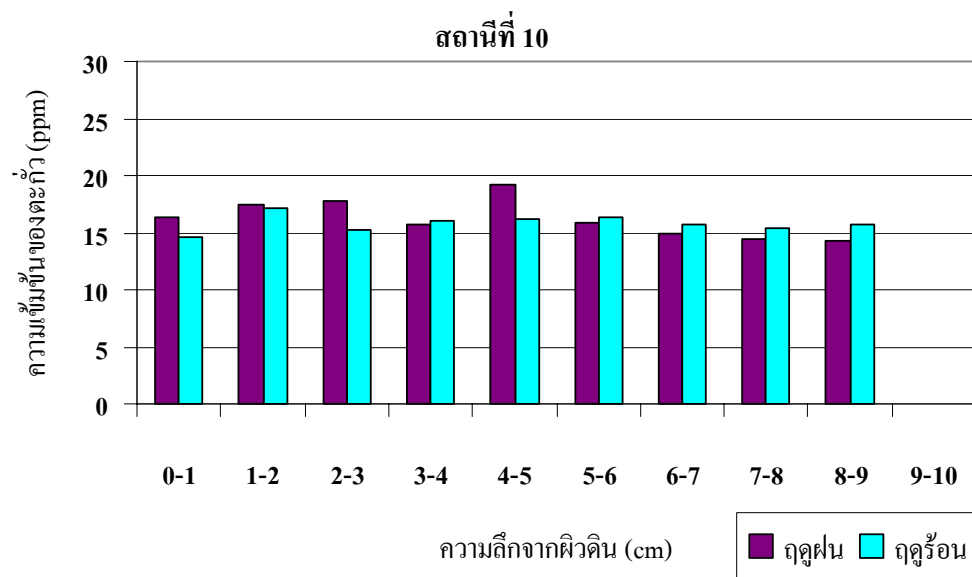
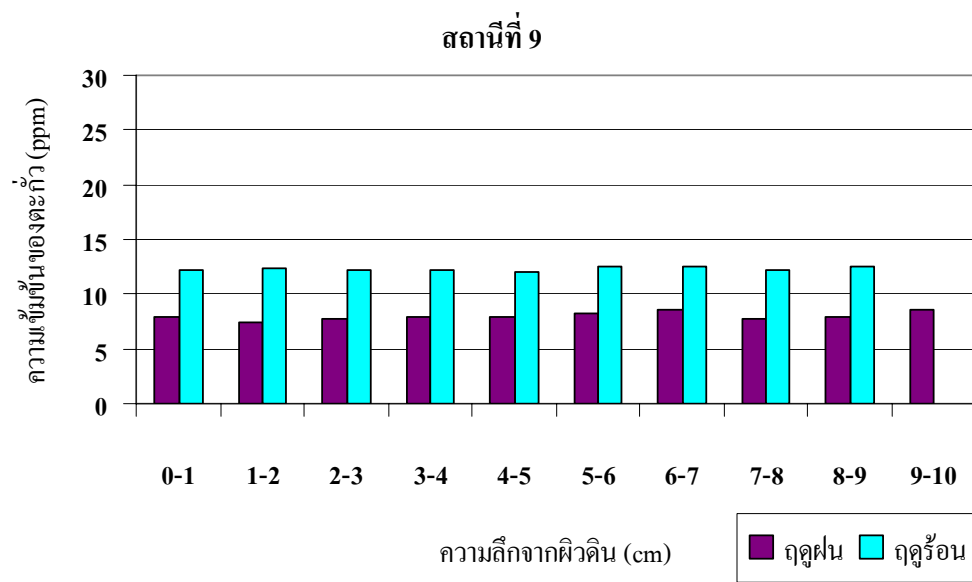
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



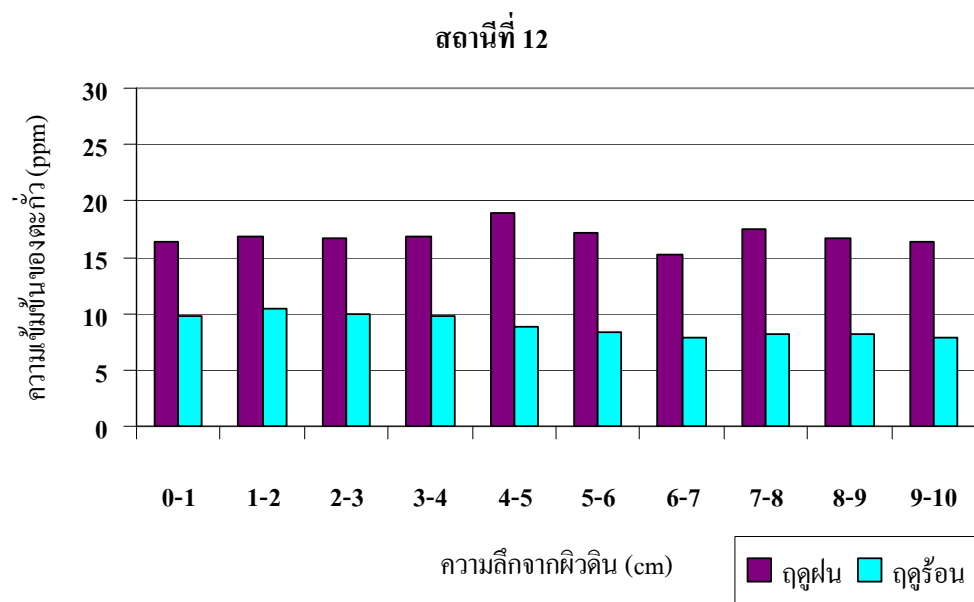
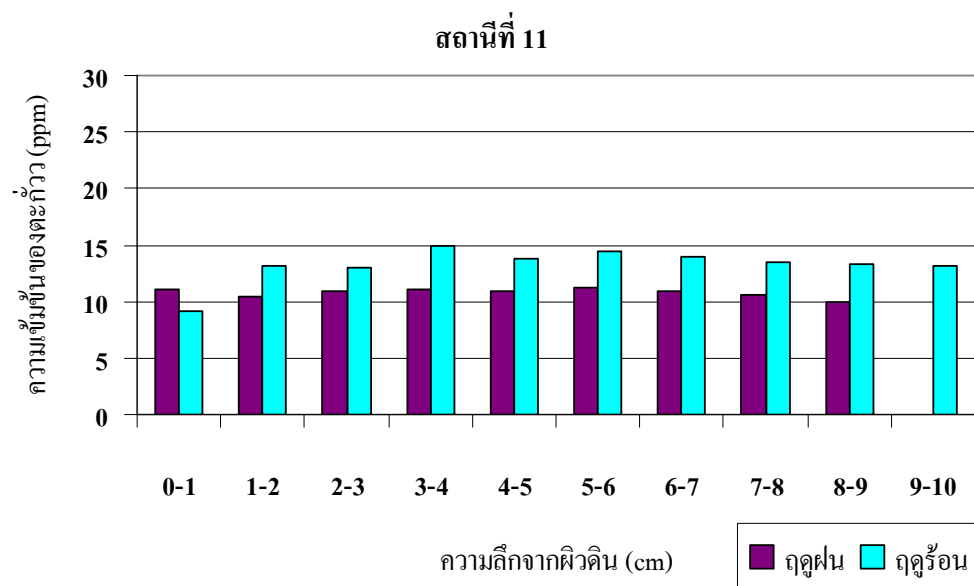
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



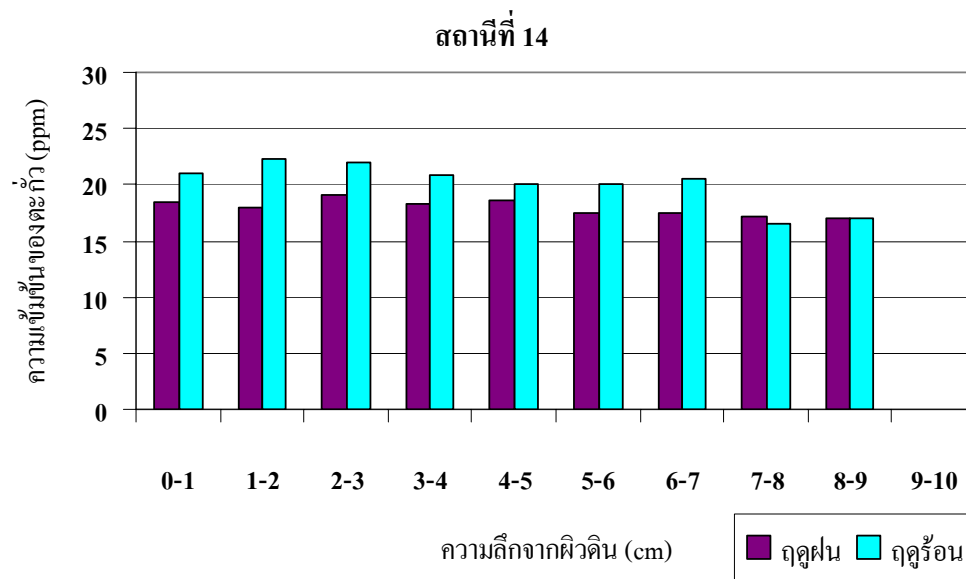
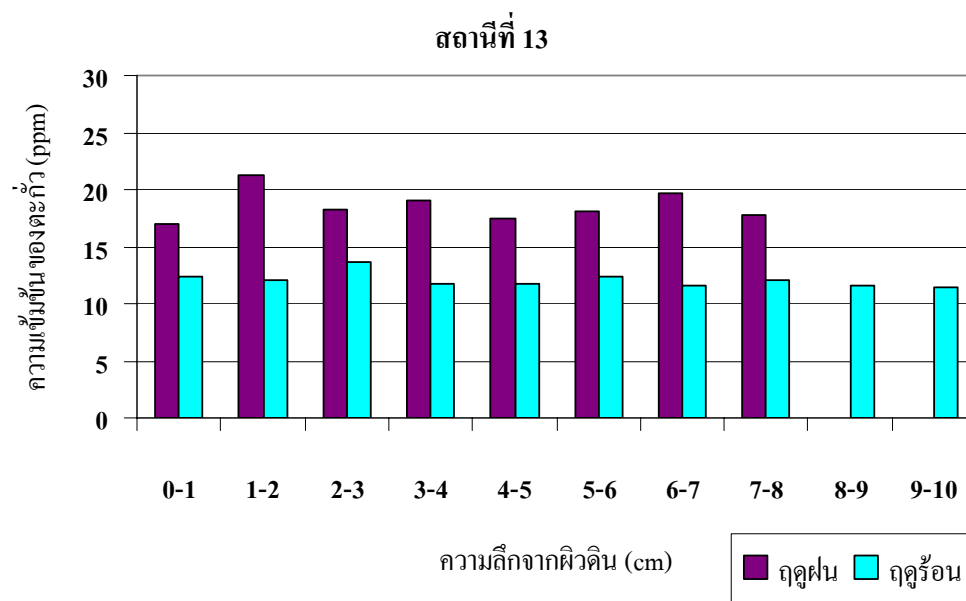
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



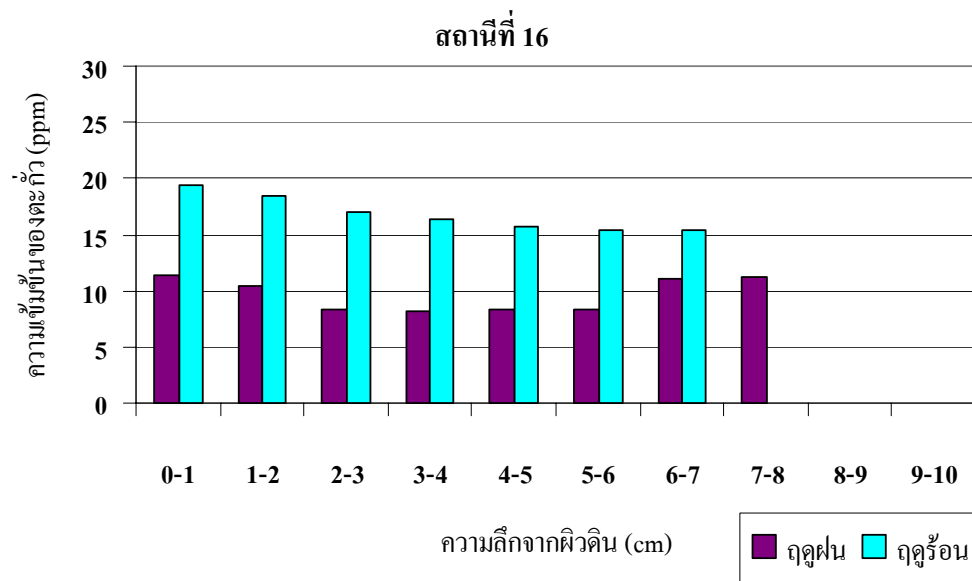
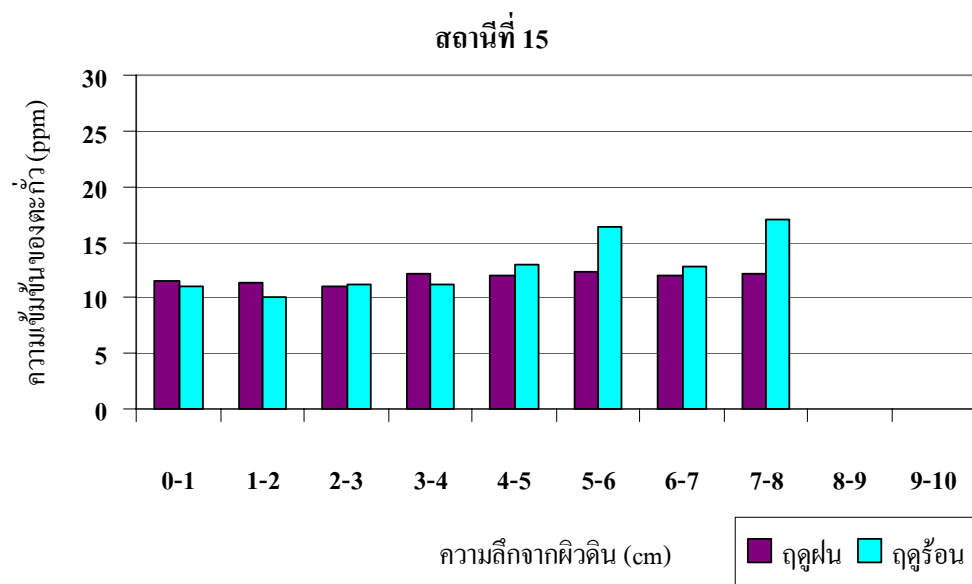
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



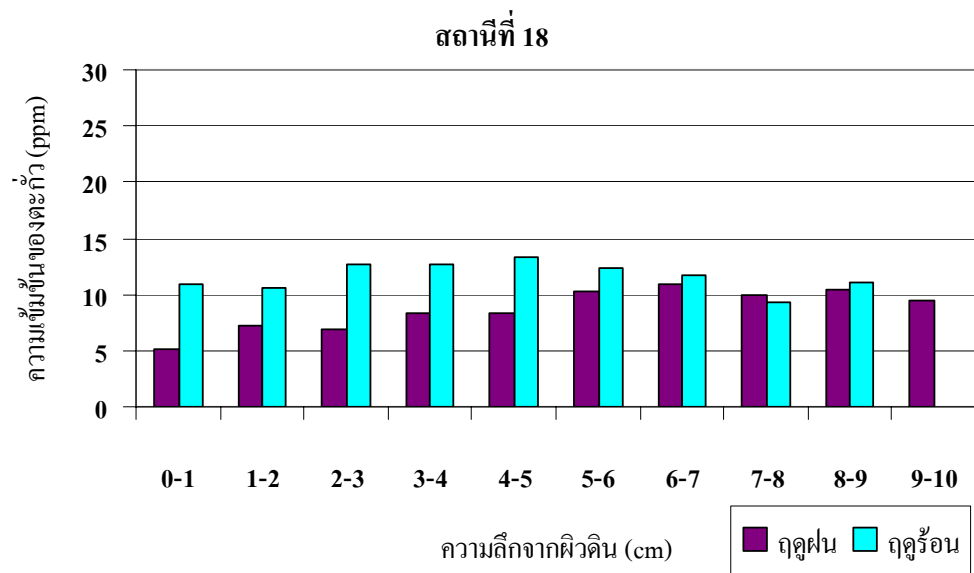
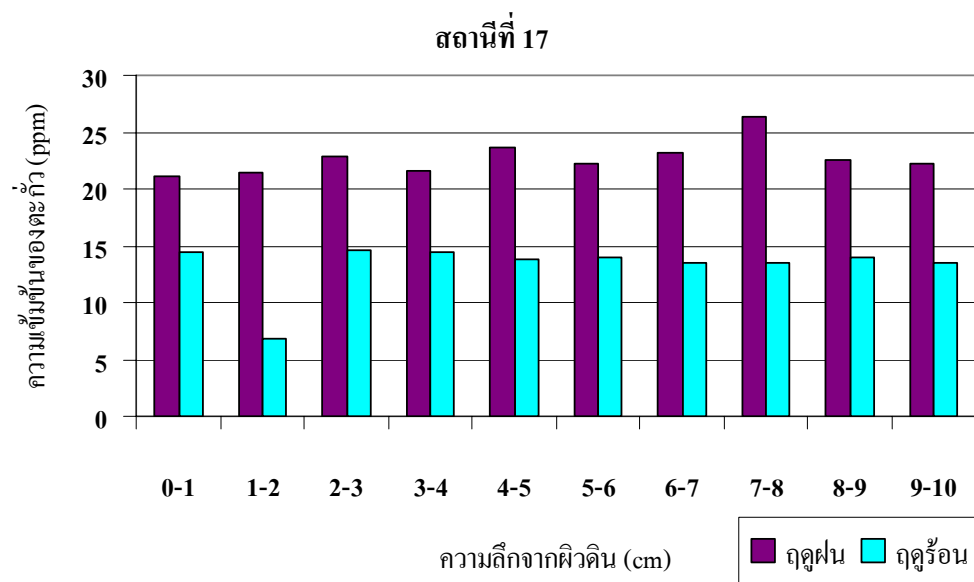
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



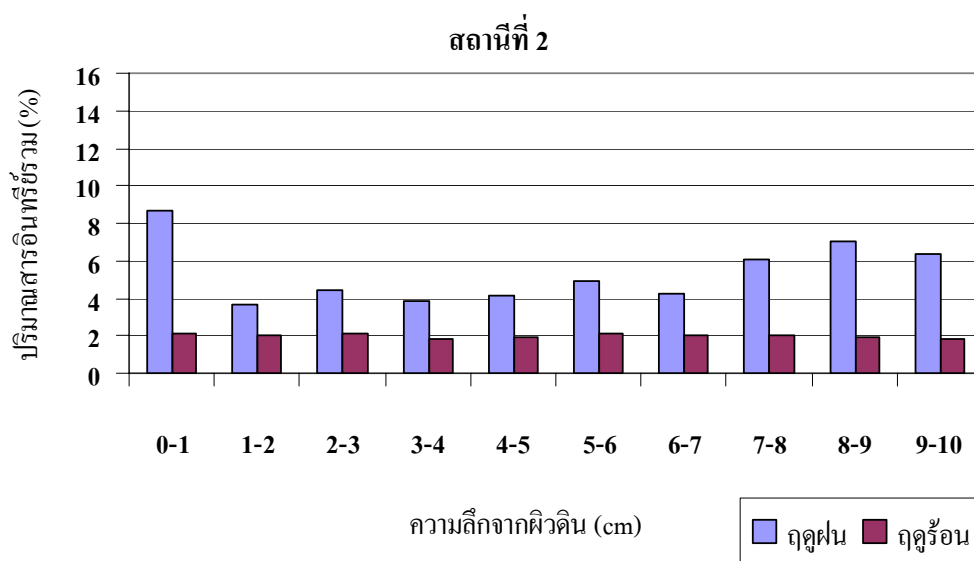
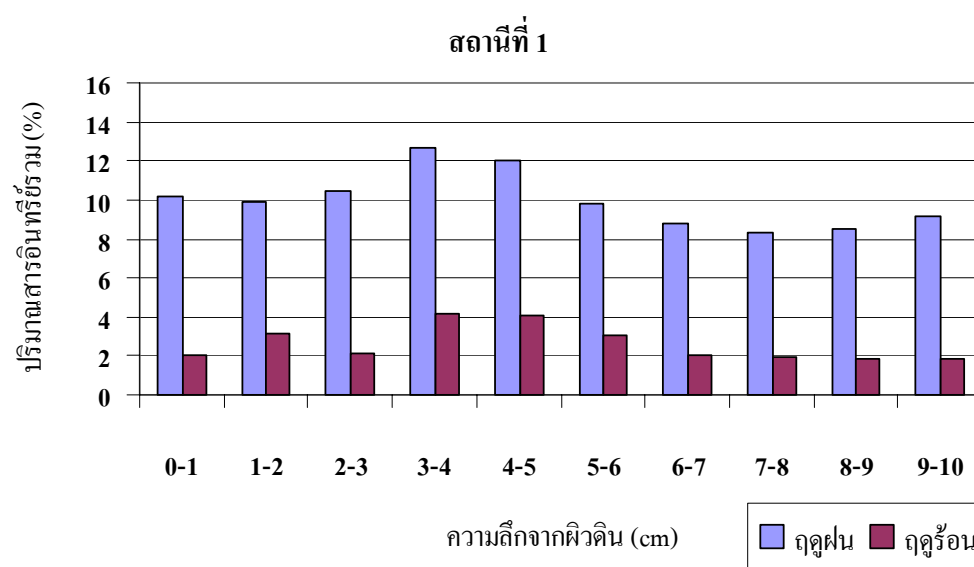
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



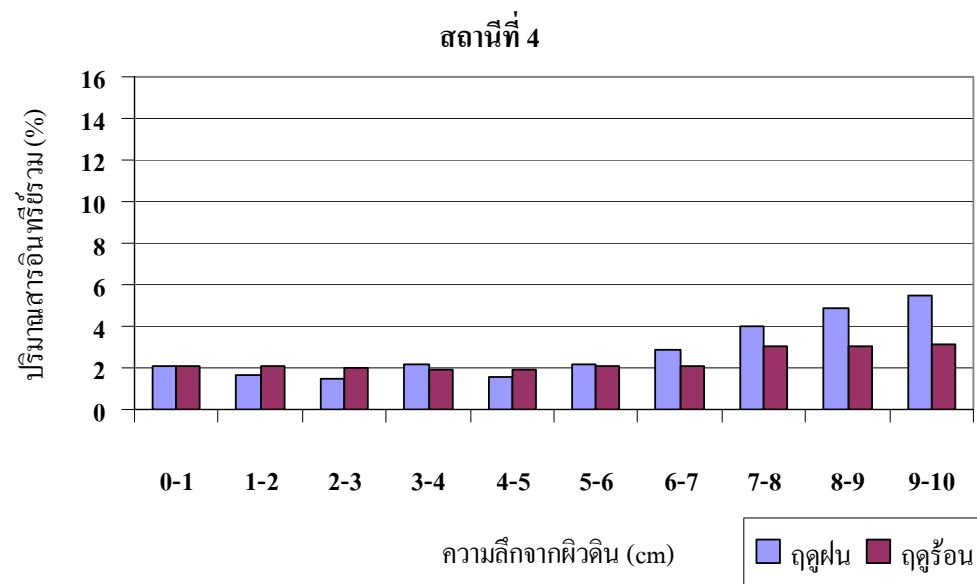
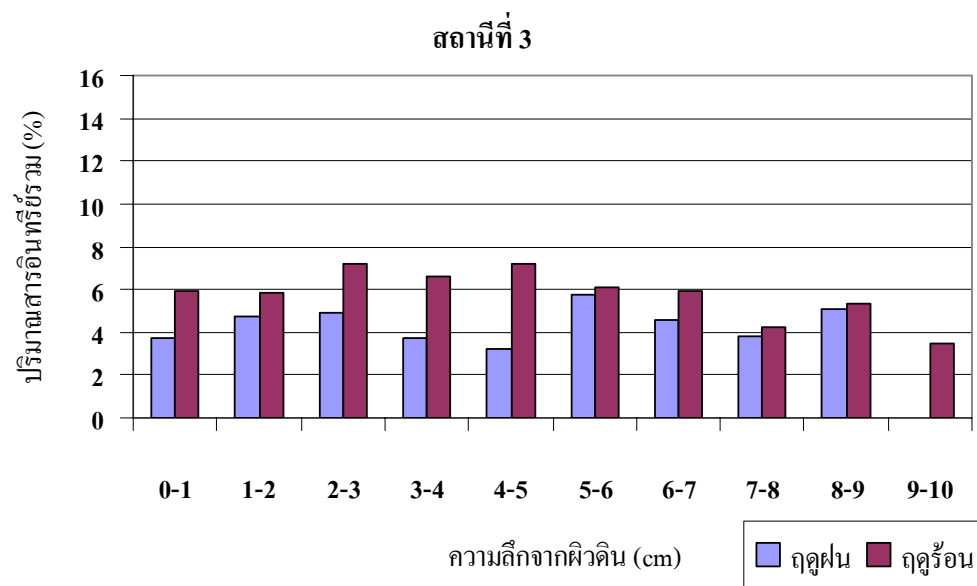
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



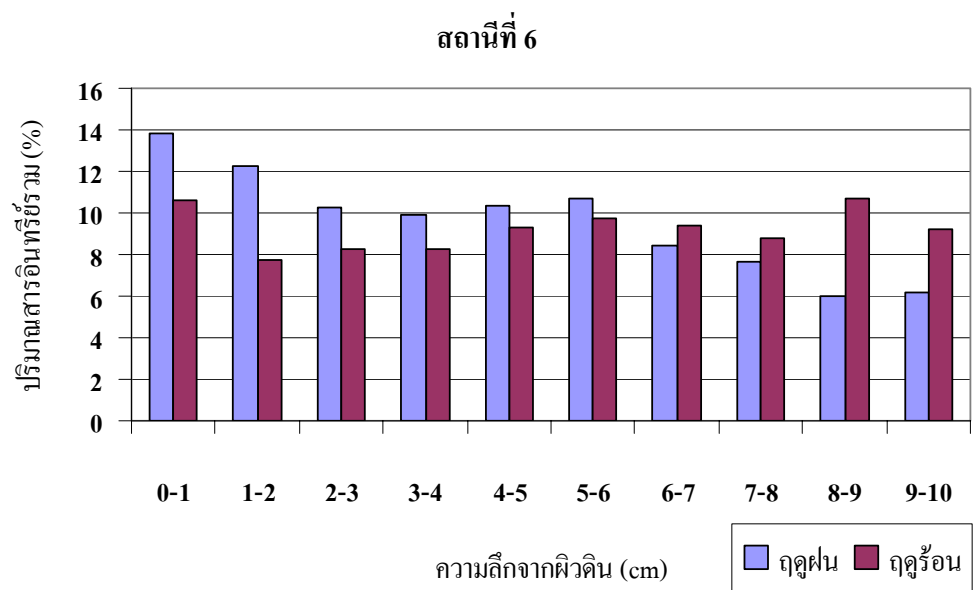
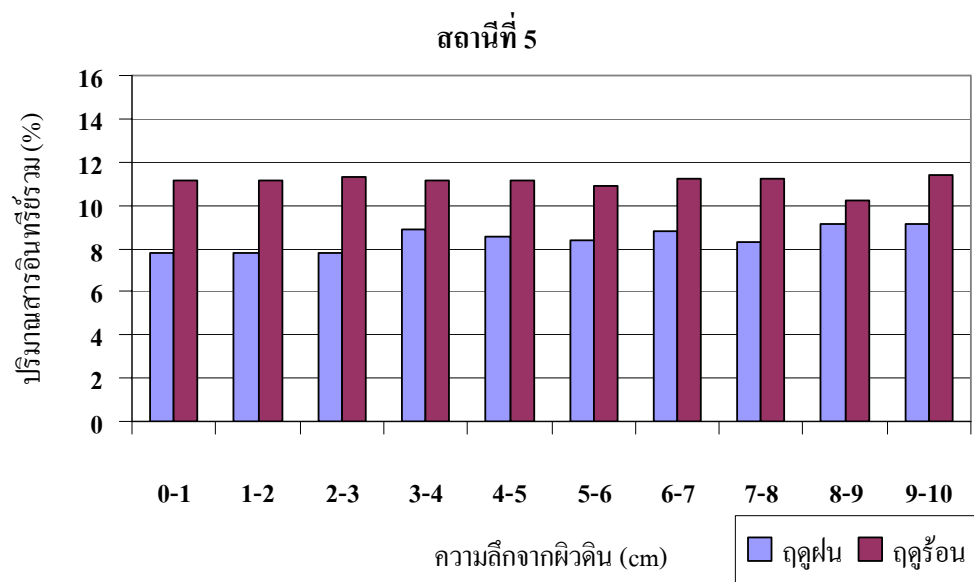
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



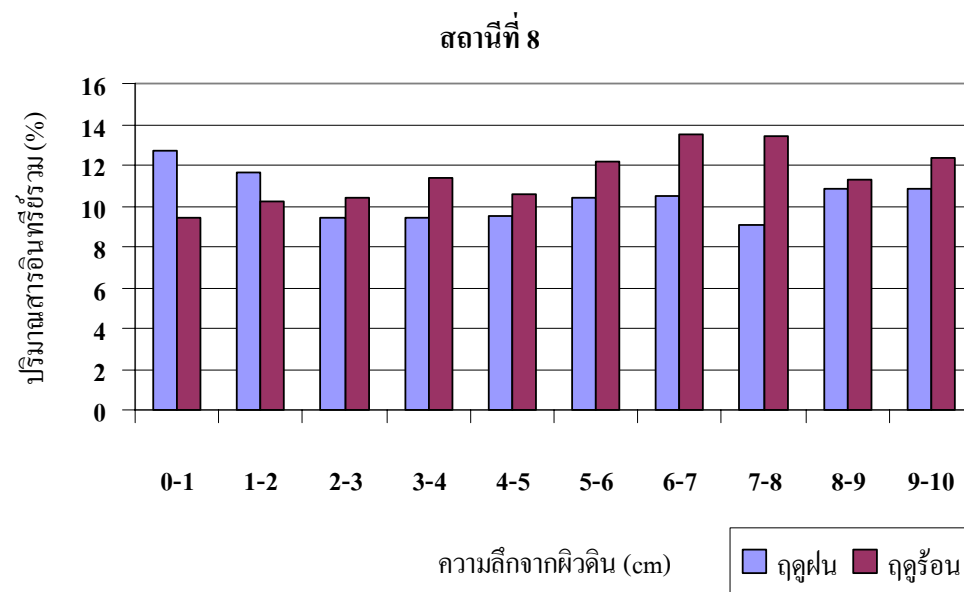
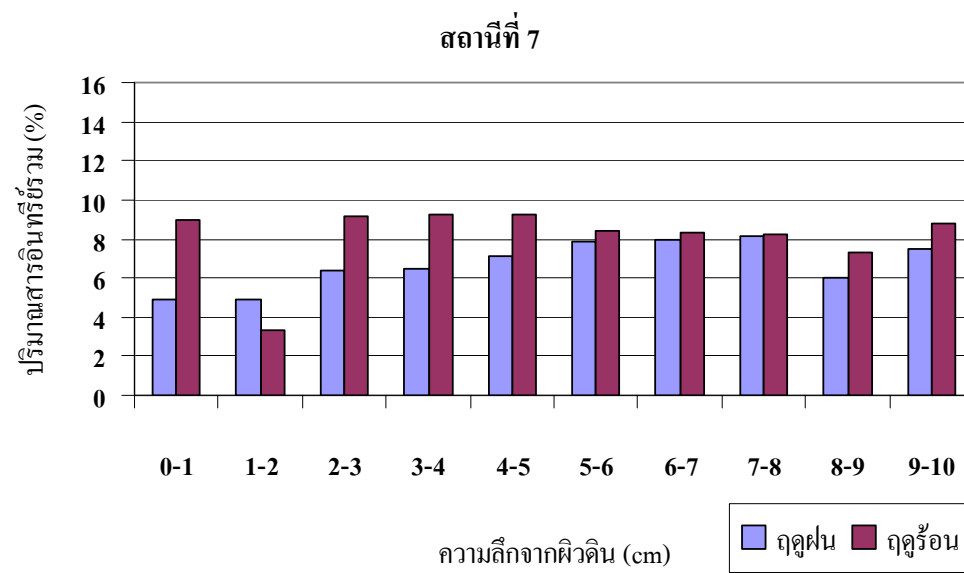
ภาพผนวกที่ 4 ปริมาณสารอินทรีย์รวม (ร้อยละ) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



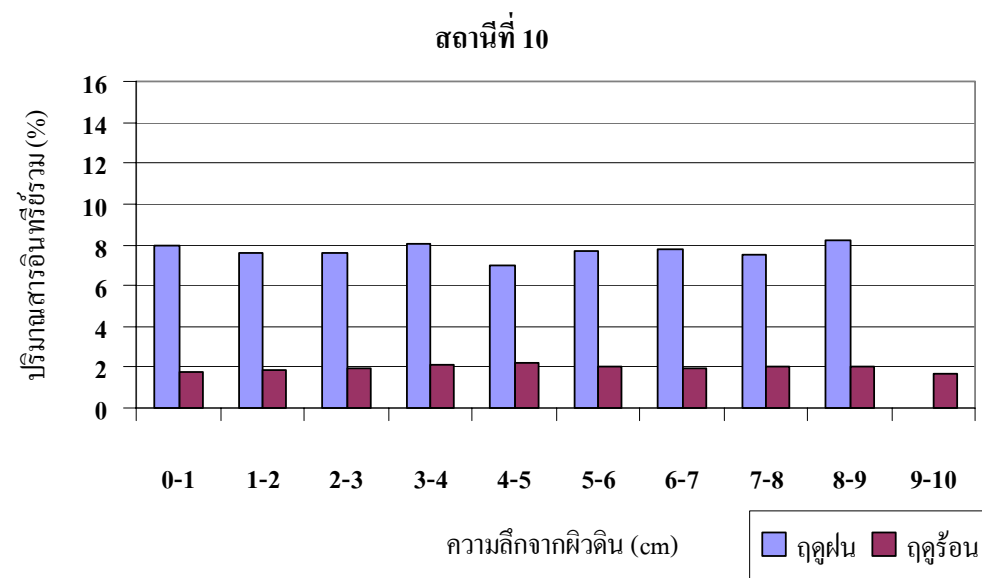
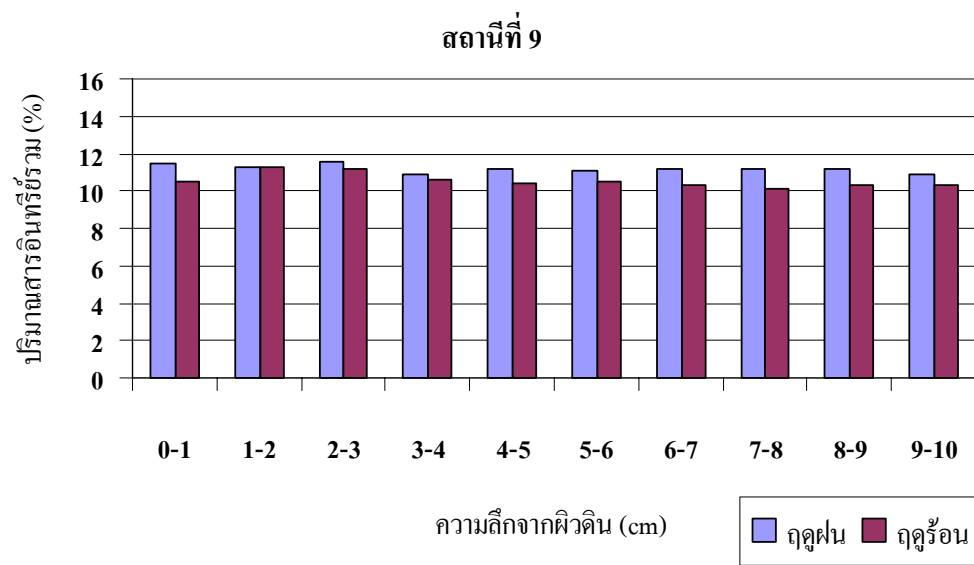
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



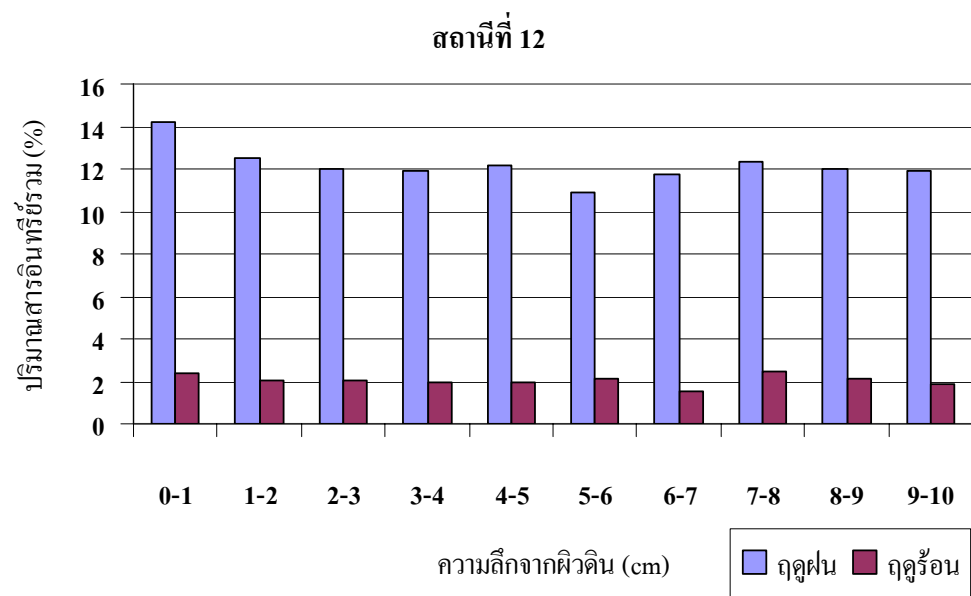
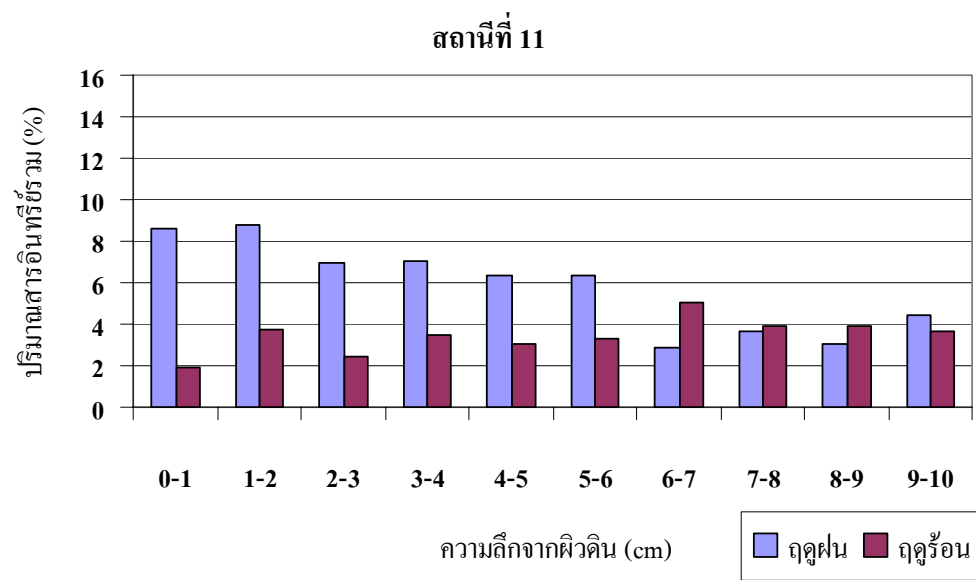
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



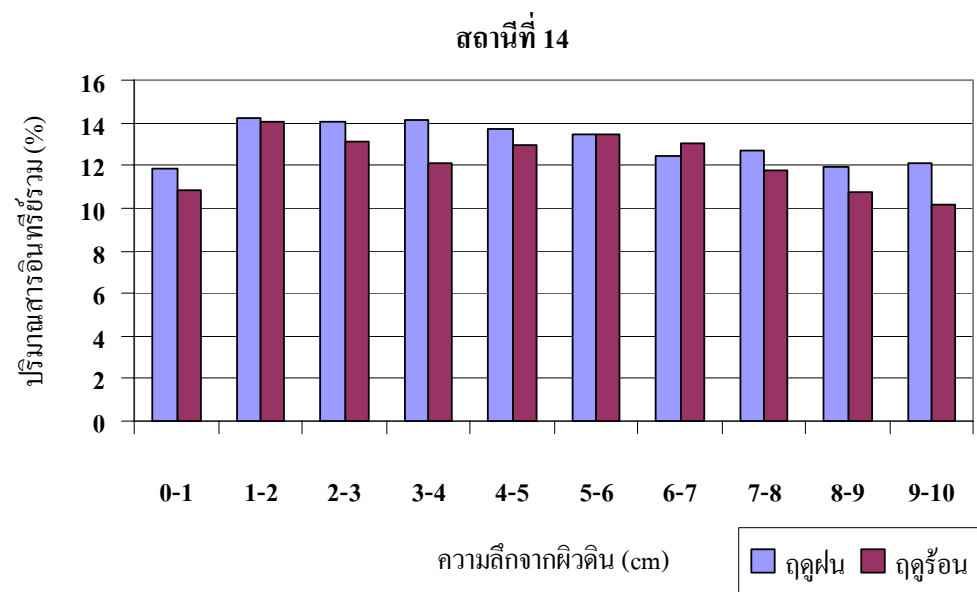
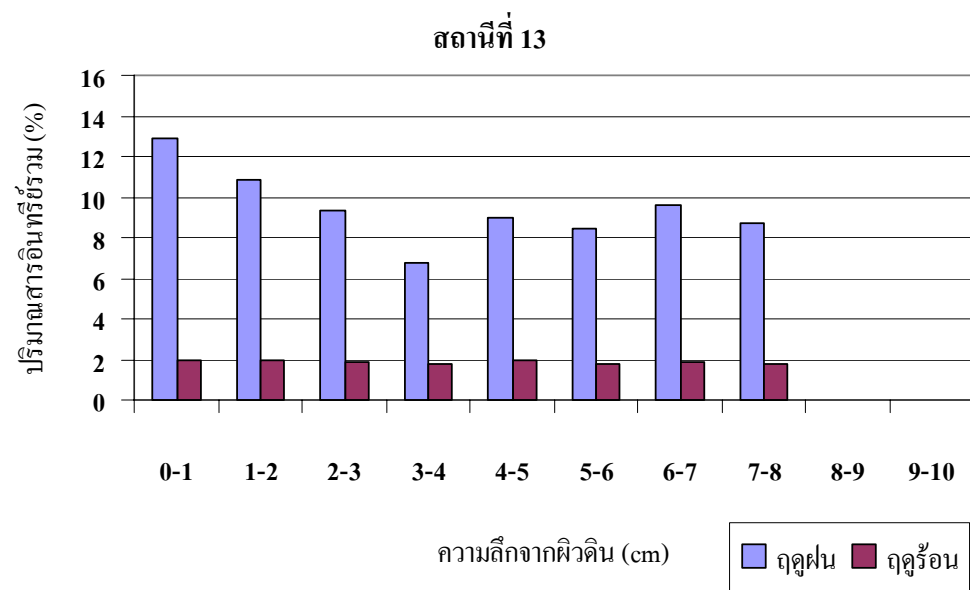
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



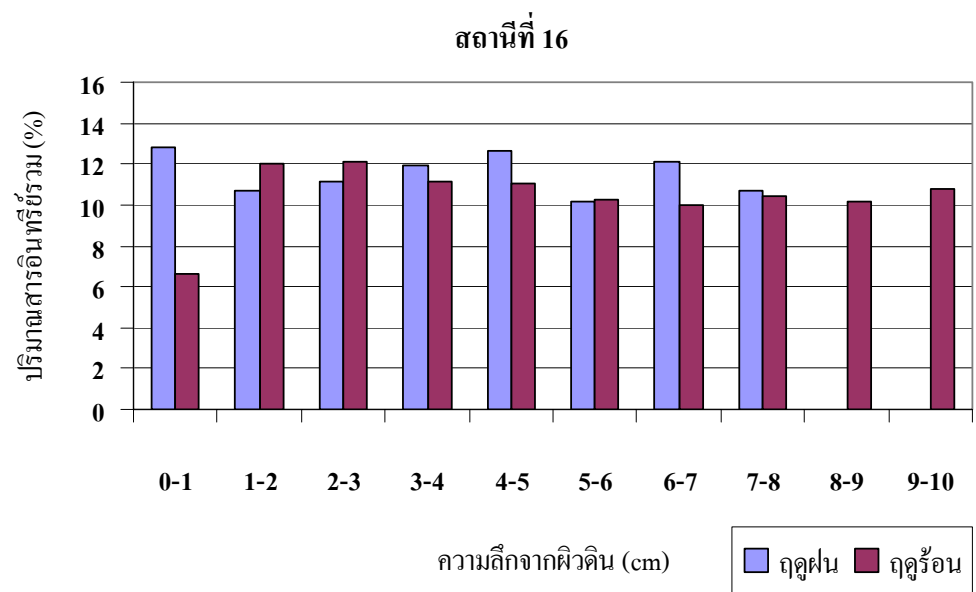
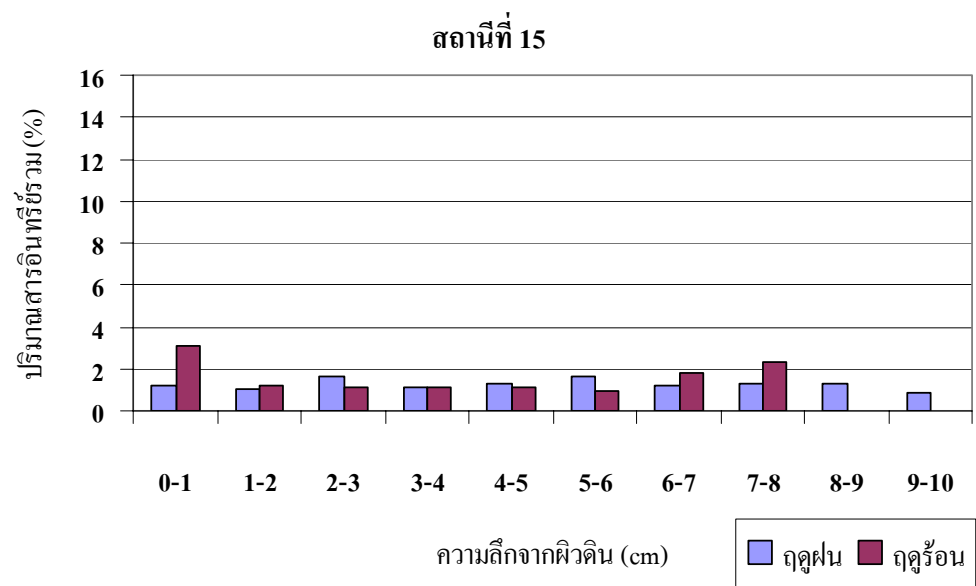
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



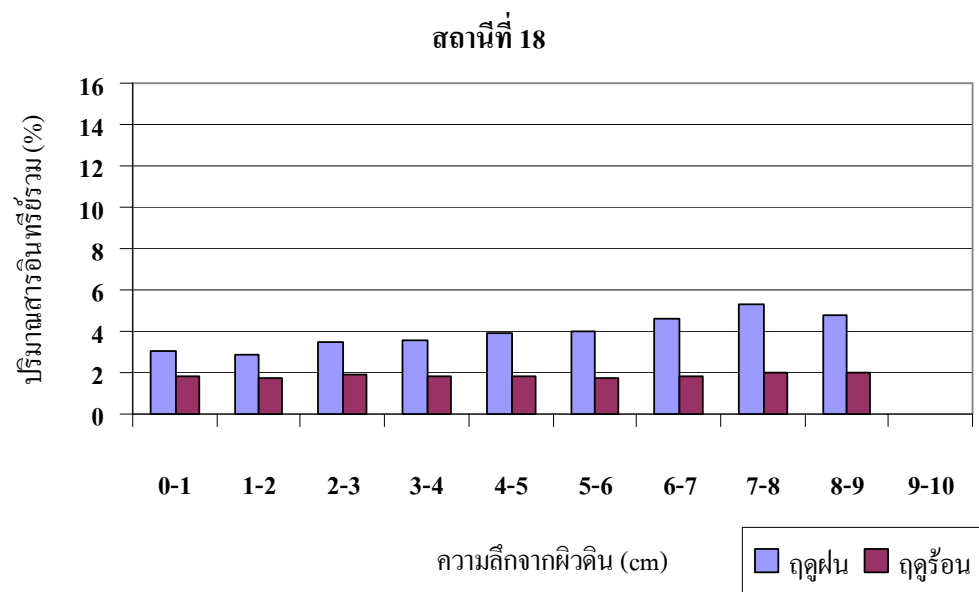
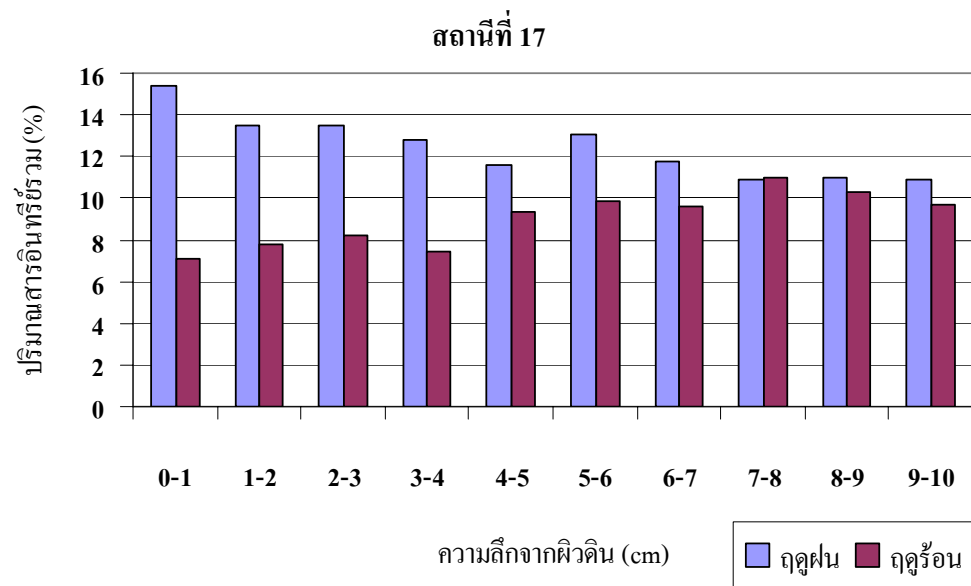
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



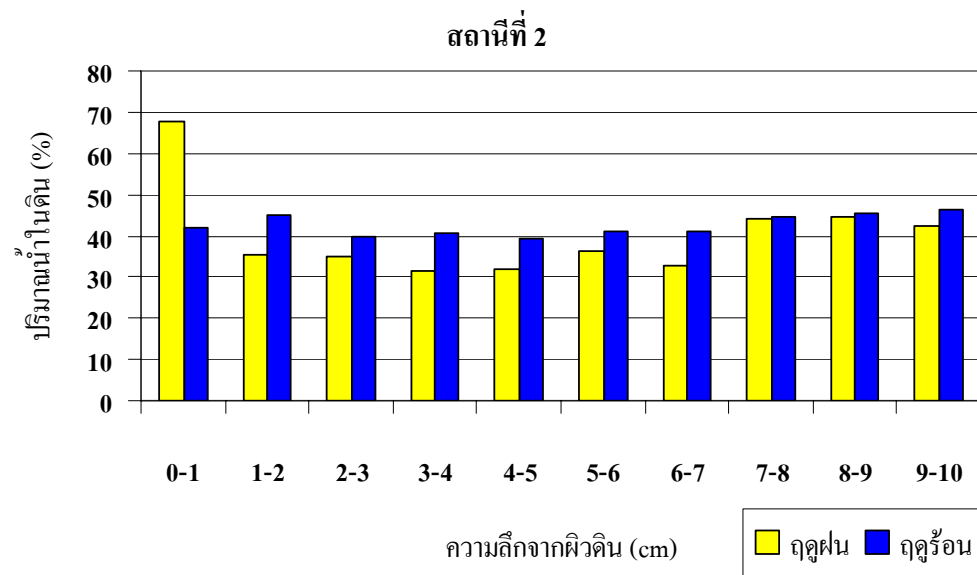
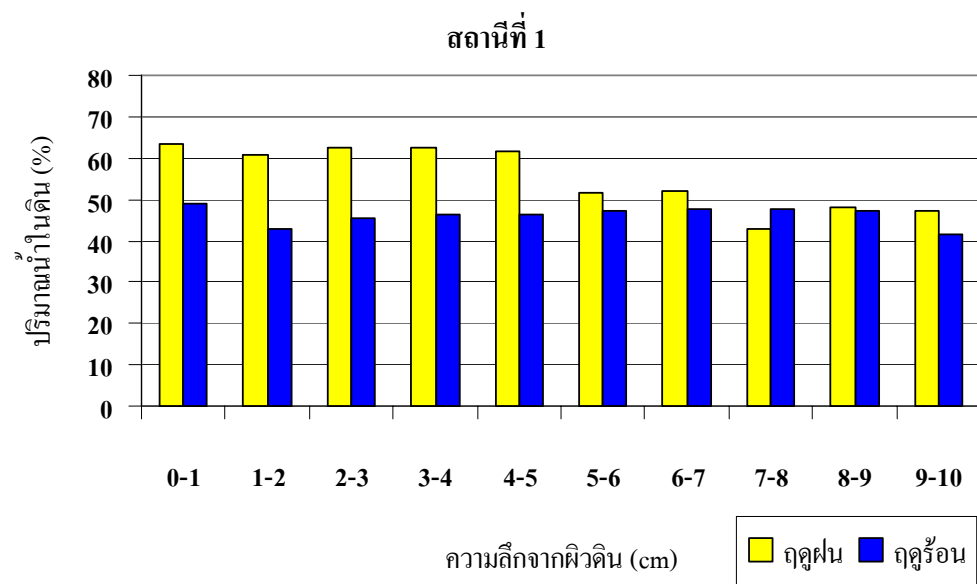
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



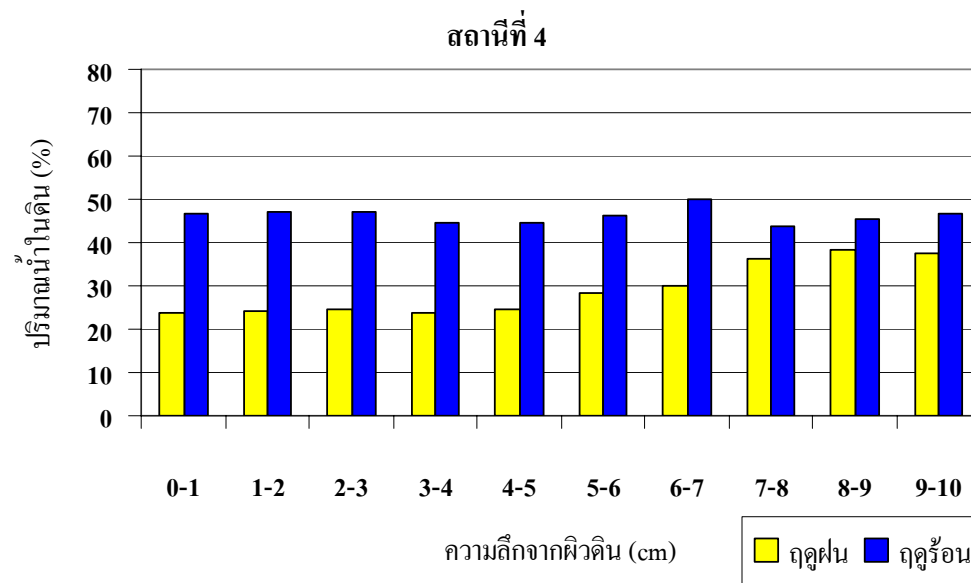
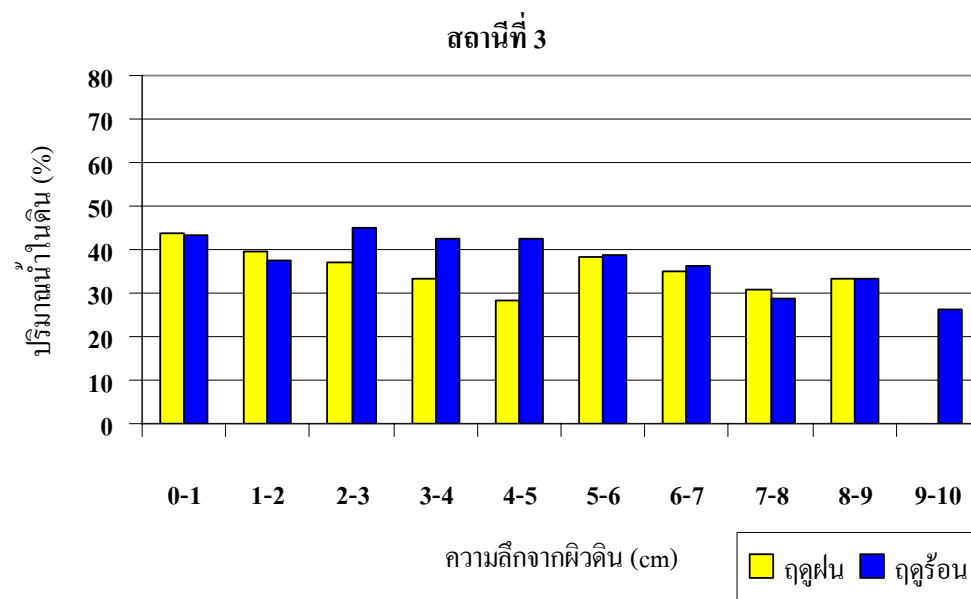
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



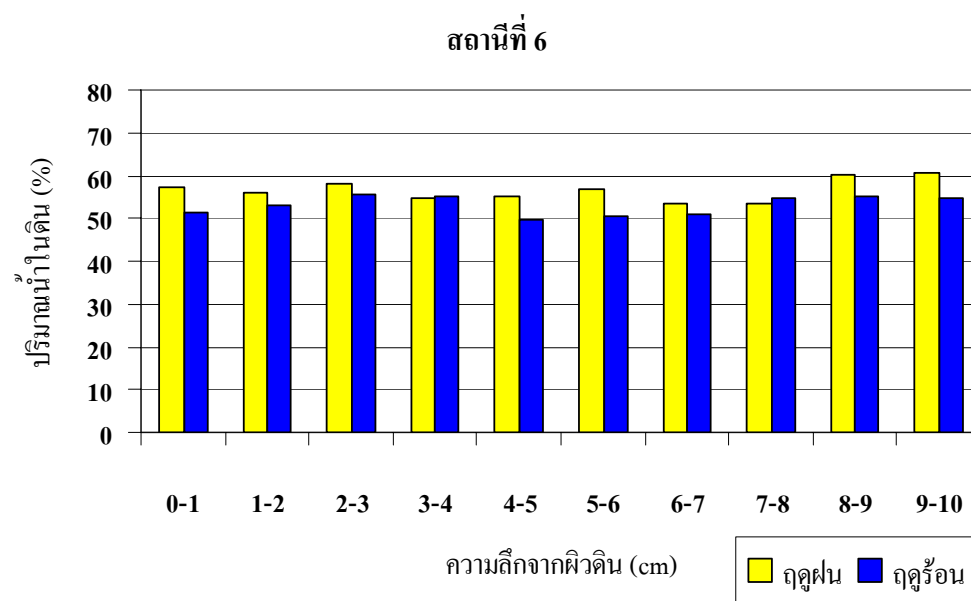
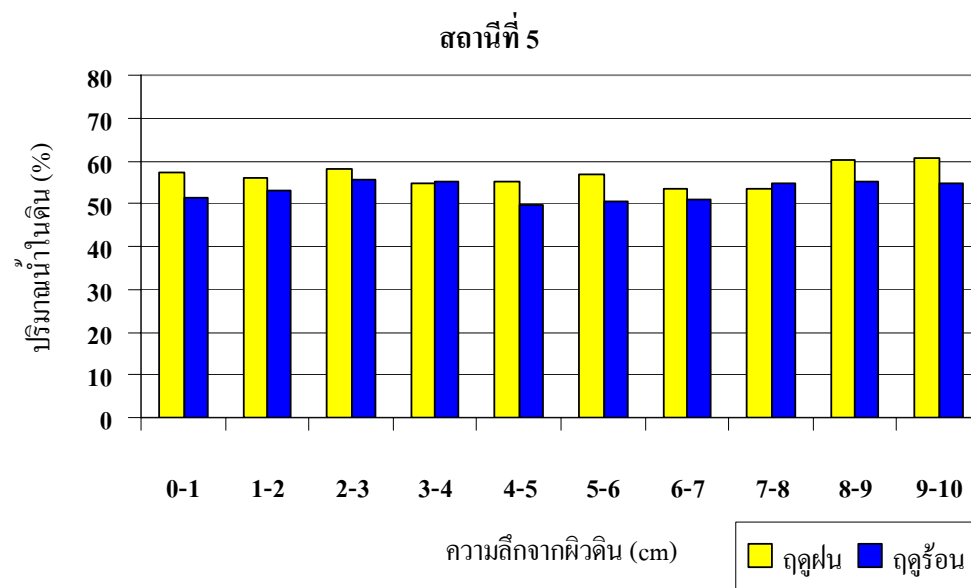
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



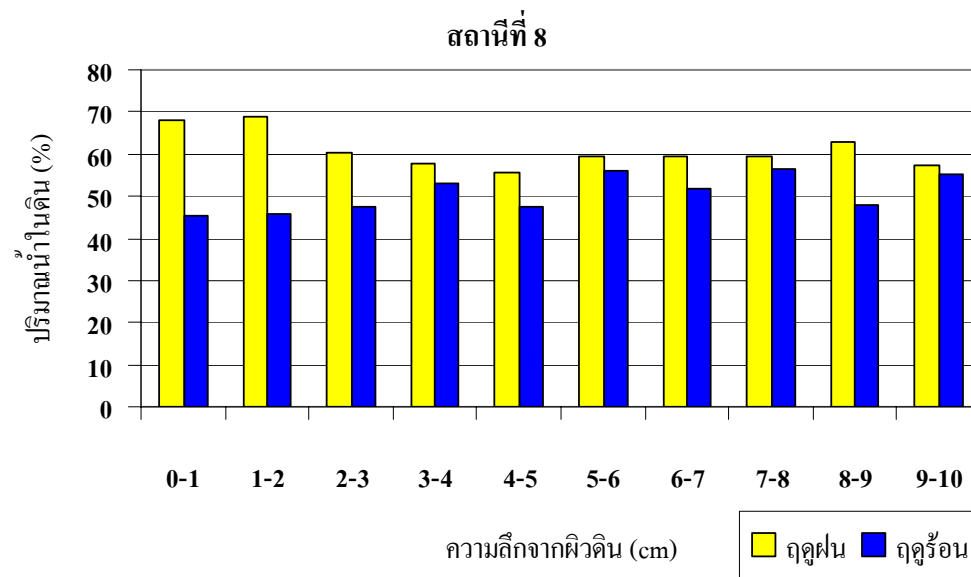
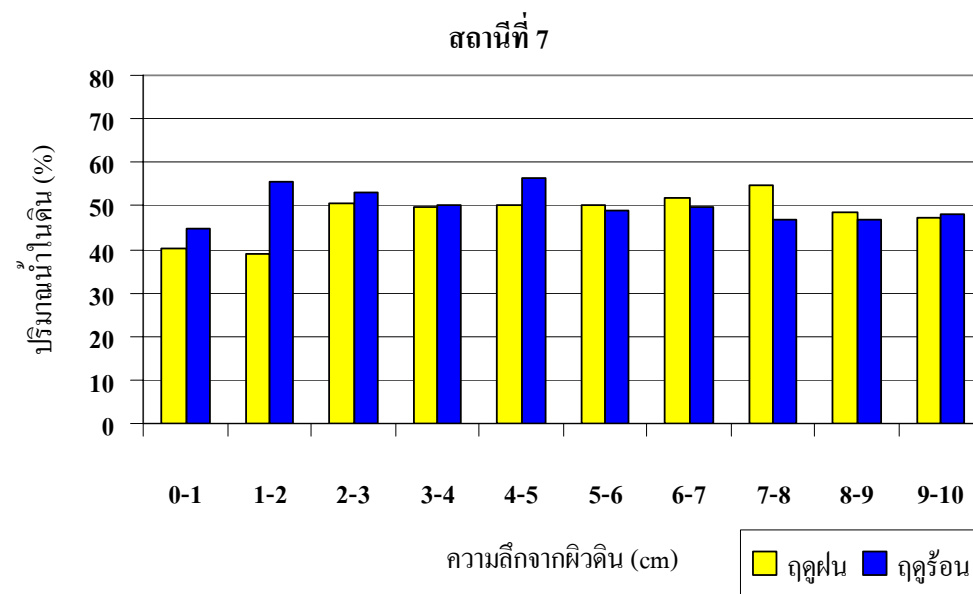
ภาพผนวกที่ 5 ปริมาณน้ำในดิน (ร้อยละ) ในดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด
ในแต่ละสถานี จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ฤดูกาล



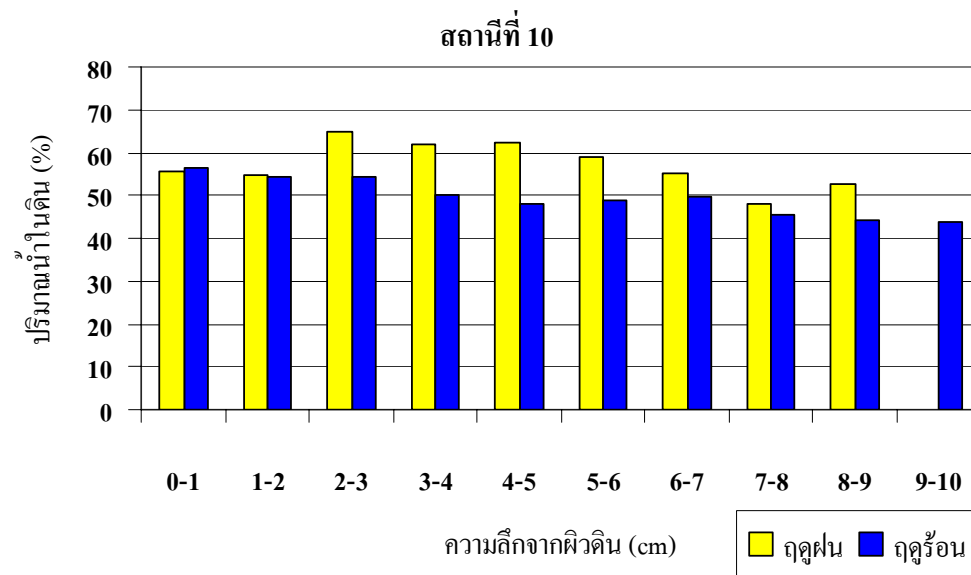
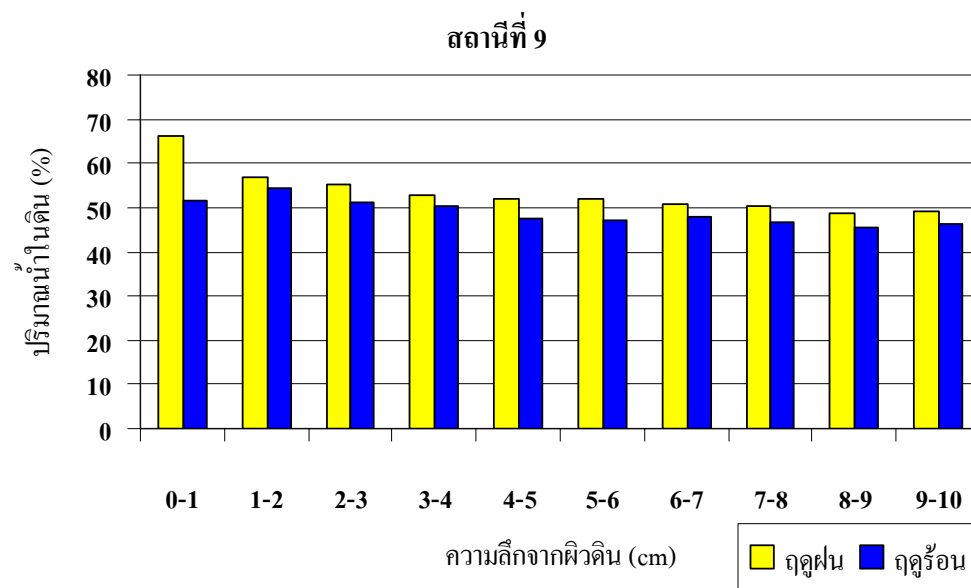
ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



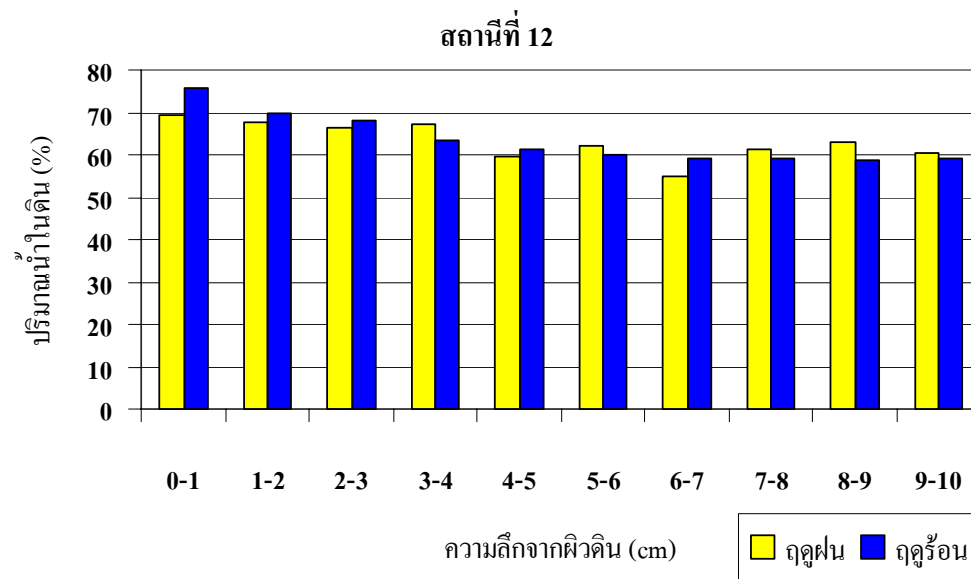
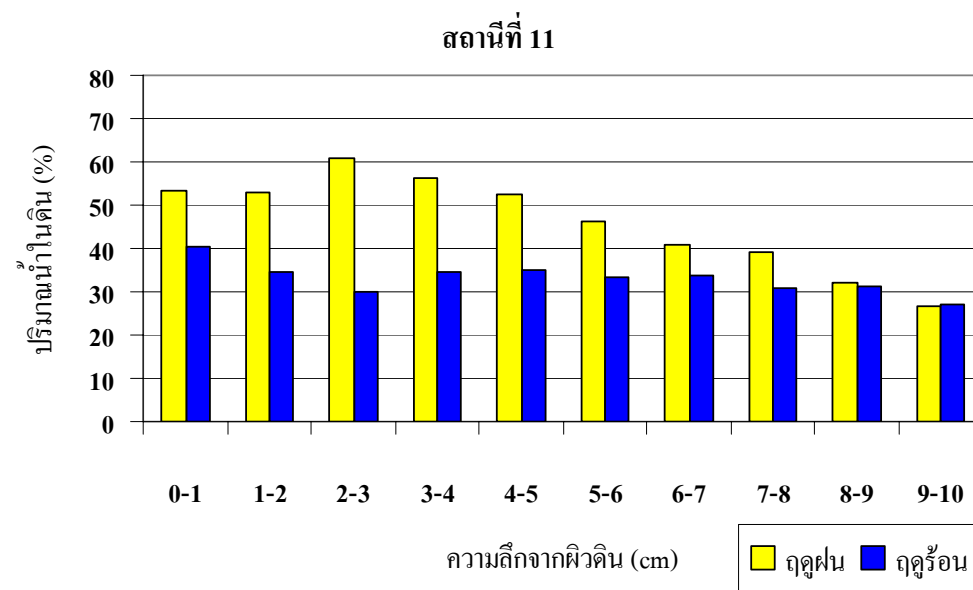
ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



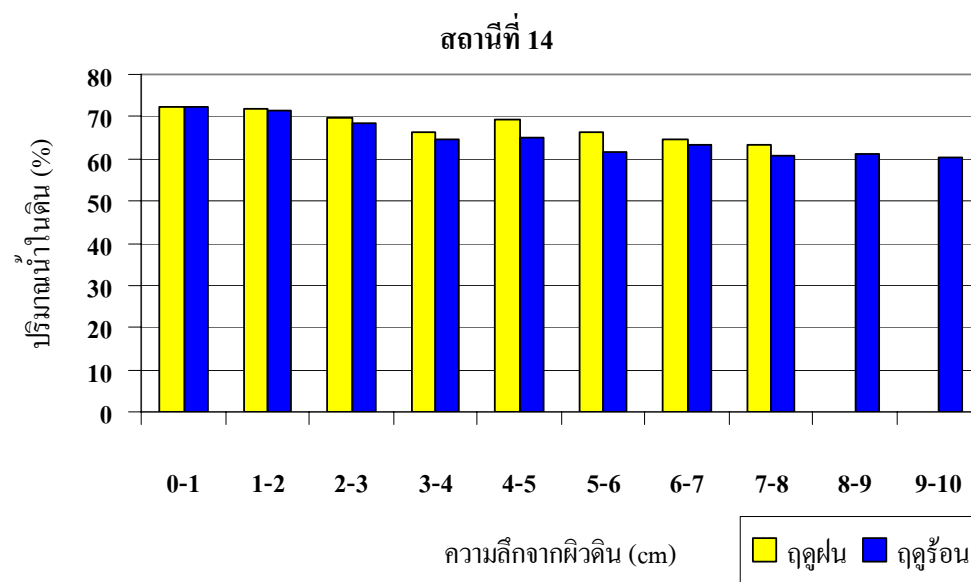
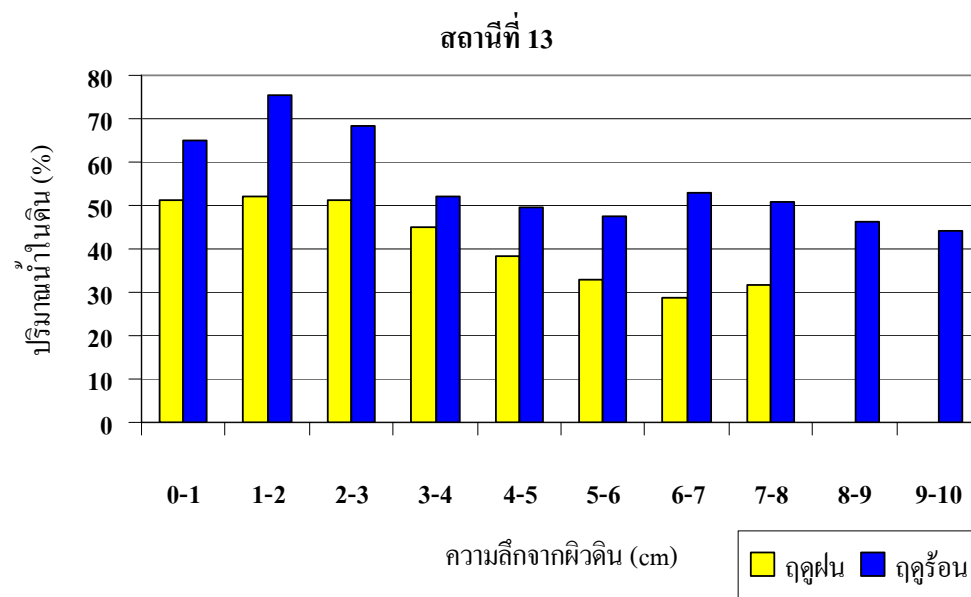
ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



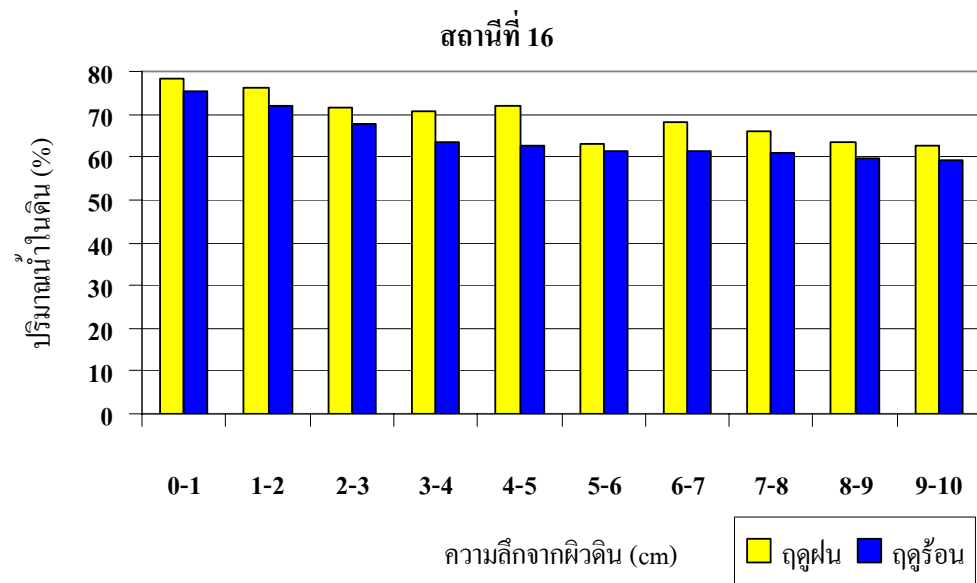
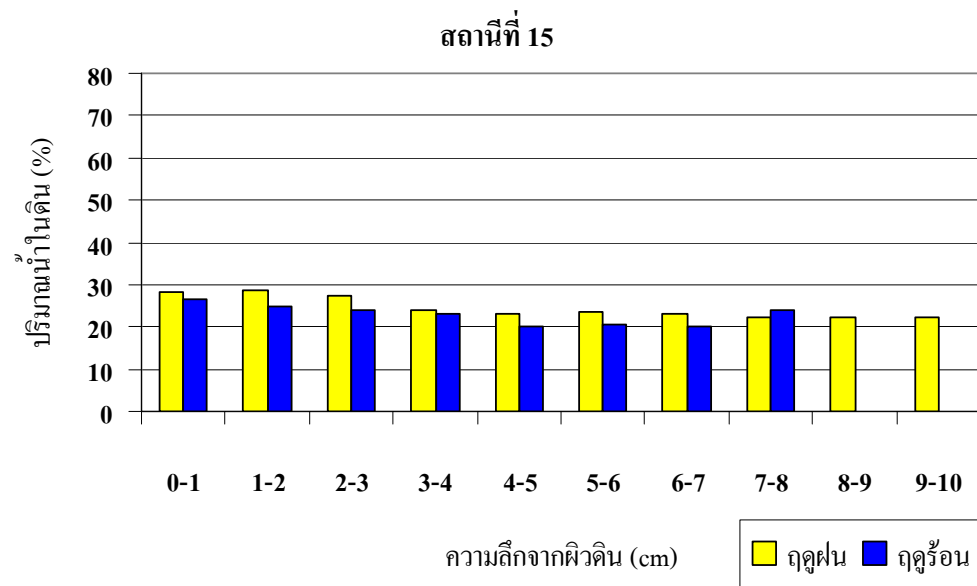
ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



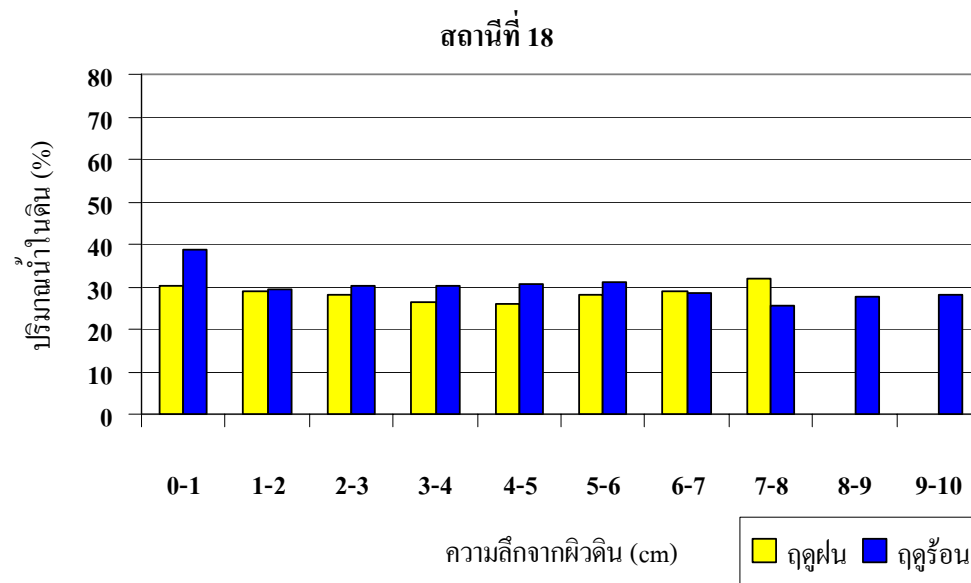
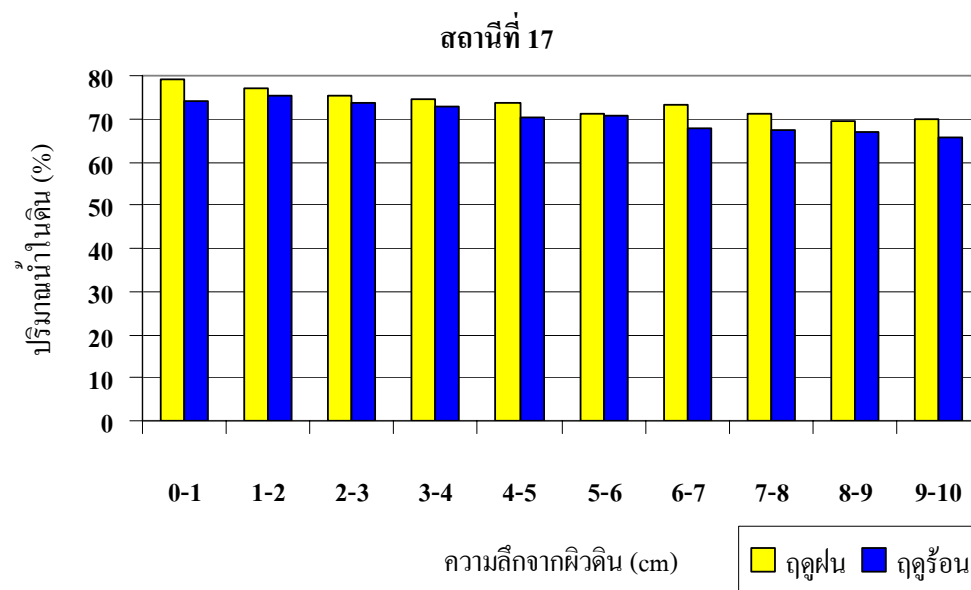
ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 5 (ต่อ)

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของทองแดง

	Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig
ระหว่างสถานี	1.293	17	.076	1.726	.130 ^{ns}
ภายในสถานี	.794	18	.044		
รวม	2.087	35			

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของตะกั่ว

	Sum of squares	Df	Mean Square	F	Sig
ระหว่างสถานี	743.075	17	43.710	4.374	.002 [*]
ภายในสถานี	179.866	18	9.993		
รวม	922.941	35			

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณน้ำในดิน

	Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig
ระหว่างสถานี	7183.361	17	422.551	3.848	.003 [*]
ภายในสถานี	1976.623	18	109.812		
รวม	9159.985	35			

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อปริมาณสารอินทรีย์รวม

	สารอินทรีย์รวม
Chi-Square	19.027
df	17
Asymp. Sig.	.327 ^{ns}

หมายเหตุ* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างต่อความเข้มข้นของแคดเมียม

	แคดเมียม
Chi-Square	10.719
df	17
Asymp. Sig.	.871 ^{ns}

หมายเหตุ* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ
แคดเมียมในดินตะกอนระดับผิวหน้า**

	แคดเมียม
Mann-Whitney U	76.500
Wilcoxon W	247.500
Z	-2.738
Asymp. Sig. (2-tailed)	.006 *

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

**ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยปริมาณสารอินทรีย์รวม
ในดินตะกอนระดับผิวหน้า**

	สารอินทรีย์รวม
Mann-Whitney U	86
Wilcoxon W	257.000
Z	-2.405
Asymp. Sig. (2-tailed)	.016 *

หมายเหตุ * = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่วในดินตะกอนระดับผิวหน้า

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
ตะกั่ว	0.353	34	.726 ^{ns}	0.6128	1.73352

หมายเหตุ* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของทองแดงในดินตะกอนระดับผิวหน้า

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
ทองแดง	-0.427	34	.627 ^{ns}	-0.0352	0.08236

หมายเหตุ* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำในดินตะกอนระดับผิวหน้า

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
ทองแดง	.645	34	.523 ^{ns}	3.5153	- 7.55326

หมายเหตุ* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

^{ns} = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's rho) ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมต่อความเข้มข้นของแคดเมียม และทองแดง

		สารอินทรีย์รวม	แคดเมียม	ทองแดง
สารอินทรีย์รวม	Correlation Coefficient	1.000	.349 [*]	.236
	Sig.(2-tailed)	.	.037	.167
	N	36	36	36
แคดเมียม	Correlation Coefficient	.349 [*]	1.000	.215
	Sig.(2-tailed)	.037	.	.209
	N	36	36	36
ทองแดง	Correlation Coefficient	.236	.215	1.000
	Sig.(2-tailed)	.167	.209	.
	N	36	36	36

หมายเหตุ ^{*} = มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 95 %

^{**} = มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 99 %

ตารางผนวกที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson) ระหว่างปริมาณสารอินทรีย์รวมต่อความเข้มข้นของตะกั่ว

		สารอินทรีย์รวม	ตะกั่ว
สารอินทรีย์รวม	Pearson Correlation	1	.538**
	Sig.(2-tailed)	.	.001
	N	36	36
ตะกั่ว	Pearson Correlation	.538**	1
	Sig.(2-tailed)	.001	.
	N	36	36

หมายเหตุ * = มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 95 %

** = มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 99 %

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นางสาวศิริมาศ สิทธีกรม

วัน เดือน ปี ที่เกิด

25 ธันวาคม 2522

สถานที่เกิด

ประวัติการศึกษา

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ

ทุนการศึกษาที่ได้รับ