

รายงานผลการดำเนินงาน

การประเมินคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในหลังสถานการณ์อุทกภัยปี 2554
Assessment of Sediment quality of the inner Gulf of Thailand after the
2011 Thailand floods

โดย

นางพรศรี มิ่งขวัญ

นายมารุต สุขสมจิตร

นายสุภกิจ จิวเจริญ

ส่วนแหล่งน้ำทะเล
สำนักจัดการคุณภาพน้ำ
กรมควบคุมมลพิษ
ธันวาคม 2555

สารบัญ

สารบัญภาพ	ii
สารบัญตาราง	ii
บทคัดย่อ	2
Abstract	3
บทนำ	4
วัตถุประสงค์	5
วิธีการศึกษา	5
การเก็บตัวอย่าง	5
การเตรียมตัวอย่าง	5
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	6
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	7
ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	8
องค์ประกอบตะกอนดิน	8
สารอินทรีย์รวมในตะกอนดิน	8
โลหะหนักในตะกอนดิน	11
สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีน	18
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	19
ปริมาณซัลไฟด์	19
สรุปผลการศึกษา	21
ข้อเสนอแนะ	22
เอกสารอ้างอิง	23

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน	7
ตารางที่ 2	ลักษณะตะกอนดินในอ่าวไทยตอนใน	10
ตารางที่ 3	เกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย	11

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	จุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินในอ่าวไทย (ST1-ST20)	6
ภาพที่ 2	องค์ประกอบดินของ a) ตะกอนดินผิวหน้า และ b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	9
ภาพที่ 3	ปริมาณสารอินทรีย์ (%) ใน a) ตะกอนดินผิวหน้า b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	10
ภาพที่ 4	ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ปะรอท และสารหนู ($\mu\text{g/g dry wt.}$) ในตะกอนดินผิวหน้า	12
ภาพที่ 5	ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ปะรอท และสารหนู ($\mu\text{g/g dry wt.}$) ในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	13
ภาพที่ 6	ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ปะรอท และสารหนู ($\mu\text{g/g dry wt.}$) ในตะกอนดินอ่าวไทยตอนใน	14
ภาพที่ 7	การสะสมตัวของโลหะ (enrichment factor, EF) ใน (a) ตะกอนดินผิวหน้า และ (b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	16
ภาพที่ 8	ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) ใน (a) ตะกอนดินผิวหน้า และ (b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	17
ภาพที่ 9	ปริมาณ Acid Volatile Sulfide (mg/g dry wt.) ใน a) ตะกอนดินผิวหน้า b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร	20

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนสารอินทรีย์ และซัลไฟด์ในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในที่เก็บตัวอย่างเมื่อเดือนกรกฎาคม 2555 ทั้งนี้ได้เก็บตะกอนดินที่ระดับผิวน้ำเพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 และระดับที่ลึกจากตะกอนดินผิวน้ำ 5-9 เซนติเมตร เพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ผลการตรวจวัดพบว่าปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn)ปรอท (Hg) สารหนู (As) และโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับ มีค่าอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนในตะกอนดินมีค่าอยู่ในระดับตรวจไม่พบ ($<10 \mu\text{g/kg dry wt.}$) ปริมาณสารอินทรีย์รวมมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.60 - 4.0 ปริมาณซัลไฟด์ (H_2S) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0004 - 0.4063 mg/g dry wt. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Mann-Whitney U test พบว่าปริมาณโลหะหนัก ปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดินผิวน้ำและระดับที่อยู่ลึกลงไปไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (enrichment factor, EF) แสดงให้เห็นว่าปริมาณตะกั่วในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์ค่อนข้างสูง สำหรับดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) แสดงให้เห็นว่าตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในไม่มีการปนเปื้อนของทองแดง สังกะสี ปรอทและสารหนู แต่มีการปนเปื้อนตะกั่วอยู่ในระดับปานกลาง โดยการปนเปื้อนตะกั่วมีระดับลดลงตามระยะห่างจากปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย การสะสมตัวและดัชนีการสะสมเชิงธรณีของโลหะหนักแต่ละชนิดในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: น้ำท่วม, ตะกอนดิน, โลหะหนัก, ออร์กาโนคลอรีน, โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, อุทกภัยปี 2554

Abstract

This work aims to investigate the potential effects of the 2011 Thailand floods on the marine environment of the inner Gulf of Thailand. Heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, As and Cr⁶⁺), polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs), organochlorine pesticide, organic matter and acid volatile sulfide (AVS) in sediment samples were studied. Surface sediment (i.e 0-1 cm, representing the area influenced by the flood plumes) and subsurface sediment samples (i.e 5-9 cm, representing the area uninfluenced by the flood plumes) were collected in the inner Gulf of Thailand in July 2012. The results demonstrated that heavy metal and PAHs concentrations in sediments were relatively low compared to the proposed marine and coastal sediment quality guidelines for Thailand. Concentrations of organochlorine pesticides in sediments were not detected (<10 µg/kg dry wt.). Total organic matter contents varied between 0.6 and 4.0 %. AVS concentrations ranged from 0.0004 to 0.4063 mg/g dry wt. A Mann-Whitney U test ($p > 0.05$) reveals that mean concentrations of heavy metals, total organic matter and AVS in surface and subsurface sediment were not significantly different. In addition, the sediment quality was assessed according to, enrichment factors (EF) and geo-accumulation index (I_{geo}). Based on EF, the sediments were significantly enriched with Pb by anthropogenic activities. Results of I_{geo} demonstrate that the sediments were not polluted by Cu, Zn, Hg, and As. However, the sediments were moderately polluted with Pb in areas adjacent to the major river mouths. A decrease in the degree of Pb contamination was observed at offshore sampling stations less influenced by the flood plumes. EF and I_{geo} in the surface sediments showed the similar patterns with those in the subsurface sediments.

Keywords: Floods, Sediment, Heavy metal, Organochlorine Pesticide, PAHs,
2011 Thailand Floods

บทนำ

กิจกรรมบนแผ่นดิน เช่น ชุมชน อุตสาหกรรม เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเกษตรกรรม เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่กระจายมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) ซึ่งมลสารจากแหล่งกำเนิดดังกล่าวสามารถกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง อุทกภัย (flood run off) ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่มีการระบายมวลน้ำจืดที่อาจมีการปนเปื้อนมลสารและสารอาหารจากบริเวณที่มีน้ำท่วมขังสู่ทะเล รวมทั้งมีการพัดพาตะกอนดินจำนวนมากมาทับถมปกคลุมพื้นท้องทะเลในที่สุด ทำให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล จากการรายงานของ Department of Environment and Heritage Protection ประเทศออสเตรเลีย พบว่าสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นที่รัฐ Queensland เมื่อเดือนมกราคม 2554 ทำให้มีการระบายมวลน้ำจืดที่มีการปนเปื้อนของมลพิษผ่านทางแม่น้ำ Fitzroy และกระจายตัวเป็นระยะทาง 45 กิโลเมตรจากชายฝั่ง (Department of Environment and Heritage Protection, 2011) ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลอย่างมาก

ผลกระทบของมวลน้ำจืดที่มีต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลอาจแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ ผลกระทบระยะสั้นซึ่งจะเป็นผลกระทบที่เห็นได้ค่อนข้างชัดเจนในระยะเวลาไม่นานหลังจากเกิดการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล ซึ่งทำให้มีระบายมวลน้ำที่มีสารอาหารและมลสารปริมาณลงสู่ทะเล นอกจากนี้ตะกอนดินที่พัดพามากับมวลน้ำจืดยังบดบังการส่องผ่านของแสงสู่ชั้นน้ำและจำกัดการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำ แต่เมื่อเวลาผ่านไปตะกอนเริ่มมีการทับถมปกคลุมพื้นท้องน้ำ แพลงก์ตอนจะเริ่มมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเนื่องจากสามารถสังเคราะห์แสงได้ตามปกติ ประกอบกับสารอาหารปริมาณมากที่มากับมวลน้ำจืดจึงเกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในบางพื้นที่ได้ ส่วนตะกอนที่ทับถมพื้นท้องน้ำก็อาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้ นั่นคือการสะสมของมลสารที่ปนเปื้อนมากับตะกอนดินในพื้นที่ท้องทะเล และอาจจะส่งผลกระทบต่อประชากรสัตว์น้ำและที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำหากมีการปนเปื้อนหรือสะสมในระดับที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Thongra-ar et al., 2008)

สถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ครอบคลุมพื้นที่ในภาคกลางของประเทศไทยเป็นบริเวณกว้าง โดยมีนิคมอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบรวมทั้งสิ้น 7 แห่ง รวมทั้งพื้นที่เกษตรกรรมได้รับผลกระทบ 11.4 ล้านไร่ (ทีมิวิเคราะห์สนเทศธุรกิจ, 2554) มวลน้ำที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ดังกล่าวอาจมีการนำพามลสาร หรือตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนมลสารมาสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลในอ่าวไทยตอนใน ซึ่งเป็นทำนองน้ำที่รองรับมวลน้ำที่ระบายออกมาจากพื้นที่น้ำท่วมขังโดยในเบื้องต้น กรมควบคุมมลพิษได้ตรวจสอบผลกระทบระยะสั้นพบว่าความเค็มและปริมาณออกซิเจนละลายของน้ำทะเลมีค่าต่ำในบางพื้นที่ อย่างไรก็ตามปริมาณมลสารในน้ำทะเล เช่น โลหะหนัก ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ถึงแม้ว่าสถานการณ์คุณภาพน้ำจะเข้าสู่ภาวะปกติ แต่เนื่องจากตะกอนดินในอ่าวไทยมีอัตราการตกตะกอนประมาณ 4 – 11 มิลลิเมตรต่อปี

(Shazili et al. , 2003) ดังนั้น จึงควรมีการตรวจวัดคุณภาพตะกอนดินเพื่อเป็นการประเมินผลกระทบระยะยาวจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนใน
2. เพื่อประเมินผลกระทบระยะยาวที่เกิดจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554

วิธีการศึกษา

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในด้วยเรือจุฬาริวิจัย 1 จำนวน 20 สถานี (ภาพที่ 1) ในเดือนกรกฎาคม 2555 โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างดินแบบ Gravity corer จำนวน 2 ระดับ คือผิวหน้า 0 - 1 เซนติเมตร เพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยปี 2554 และระดับที่ลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 8 - 9 เซนติเมตรเพื่อเป็นตัวแทนของตะกอนดินที่ไม่ได้รับผลกระทบ ในกรณีที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินด้วย Gravity corer ก็จะใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินแบบ Peterson grab นอกจากนี้หากสภาพตะกอนดินและคลื่นลมในบางสถานีไม่เอื้ออำนวยให้เก็บตัวอย่างที่ระดับที่ลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 8 - 9 เซนติเมตรได้ ก็จะเก็บระดับอื่นโดยให้อยู่ในช่วงระดับ 5 - 9 เซนติเมตร ตัวอย่างตะกอนดินจะถูกเก็บในถุงพลาสติก (polyethylene) ที่มีซิปรูดปิด แช่ในตู้แช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการวิเคราะห์ดำเนินการโดยอบตัวอย่างดินให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกว่าตัวอย่างดินจะแห้งสนิท จากนั้นจึงนำไปบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ตัวอย่างดินที่ร่อนแล้วจะถูกเก็บไว้ในถุงพลาสติก (polyethylene) ที่มีซิปรูดปิด ณ อุณหภูมิห้อง จนถึงขั้นตอนการวิเคราะห์นอกจากนี้ได้ทำการบันทึกระดับความชื้นของตะกอนดิน (moisture content) โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$M = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

โดย M = ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

W_1 = น้ำหนักตะกอนดินก่อนอบ

W_2 = น้ำหนักตะกอนดินก่อนอบ

ตัวอย่างดินที่ผ่านการอบแห้งในขบวนการเตรียมดินจะถูกนำไปจำแนกประเภทของดิน และวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์รวม ปริมาณโลหะหนัก ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีน และปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) โดยมีรายละเอียดของแต่ละพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	อ้างอิง	ค่า detection limit (µg/g dry wt.)
Texture	Wet sieving	ASA,SSSA 1982	-
Organic matter	Titrate with ferrous sulfide solution	ASA,SSSA 1982	<0.1
Aluminium	Acid Digestion/ Inductivity Coupled Plasma (ICP) Method	US EPA3050 B	<0.5
Cadmium	Acid Digestion/ Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric method	US EPA3050 B	<0.003
Hexavalent Chromium	Alkaline Digestion/Inductivity coupled plasma (ICP) method	US EPA3060 B & 7196	<0.4
Copper	Acid Digestion/ Inductivity Coupled Plasma (ICP) Method	US EPA3050 B	<0.3
Lead	Acid Digestion/ Inductivity Coupled Plasma (ICP) Method	US EPA3050 B	<0.5
Zinc	Acid Digestion/ Inductivity Coupled Plasma (ICP) Method	US EPA3050 B	<0.1
Mercury	Acid Digestion/ Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric method	US EPA7471 B	<0.005
Arsenic	Acid Digestion/ hydride Generation Atomic Absorption Spectrometric method	US EPA3050 B	<0.03
PAHs	Gas Chromatography/Mass Spectrometric -Semivolatile Organic Compounds	US EPA SW 846; Method 8270C	<0.1*
Organochlorine Pesticide	Gas Chromatography/Mass Spectrometric Method	US EPA SW 846; Method 8081C	<0.01

*ยกเว้น Methyl Phenanthrene มีค่า detection limit < 0.3 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินระหว่างชั้นผิวหน้าและที่อยู่ลึกลงไปจากตะกอนผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร โดยใช้สถิติแบบ non-parametric 2 sample analysis: Mann-Whitney U test ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 16.0 ข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่าค่า

ต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (detection limit) จะใช้แทนด้วยค่าครึ่งหนึ่งของ detection limit ตามหลัก simple substitution methods (Herut and Sandler, 2006)

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

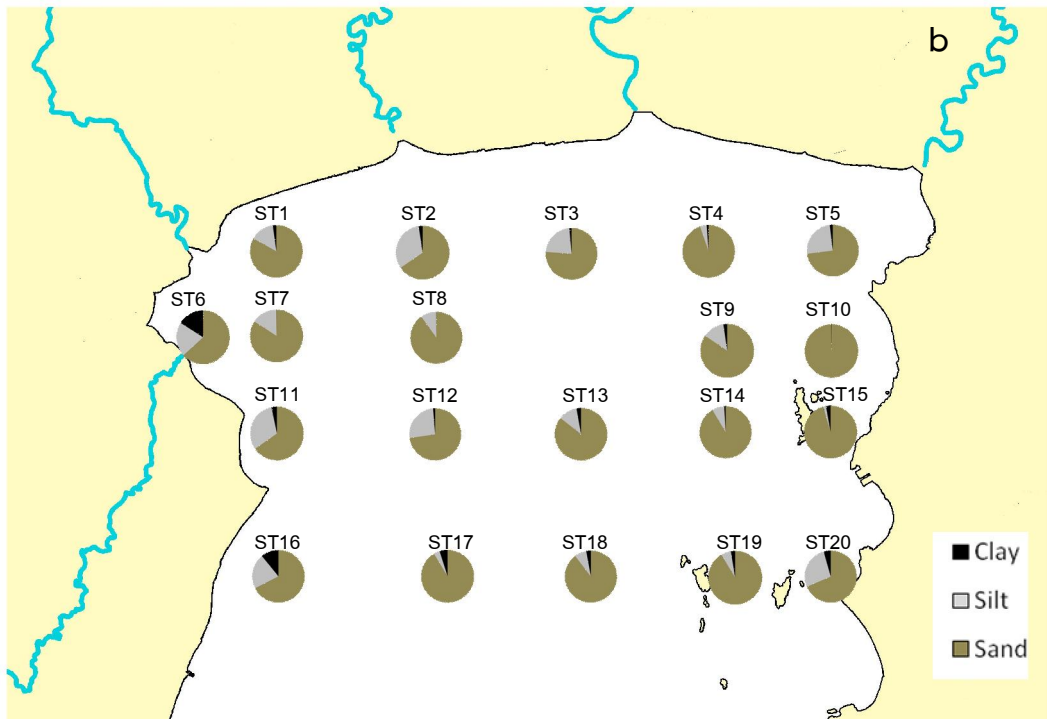
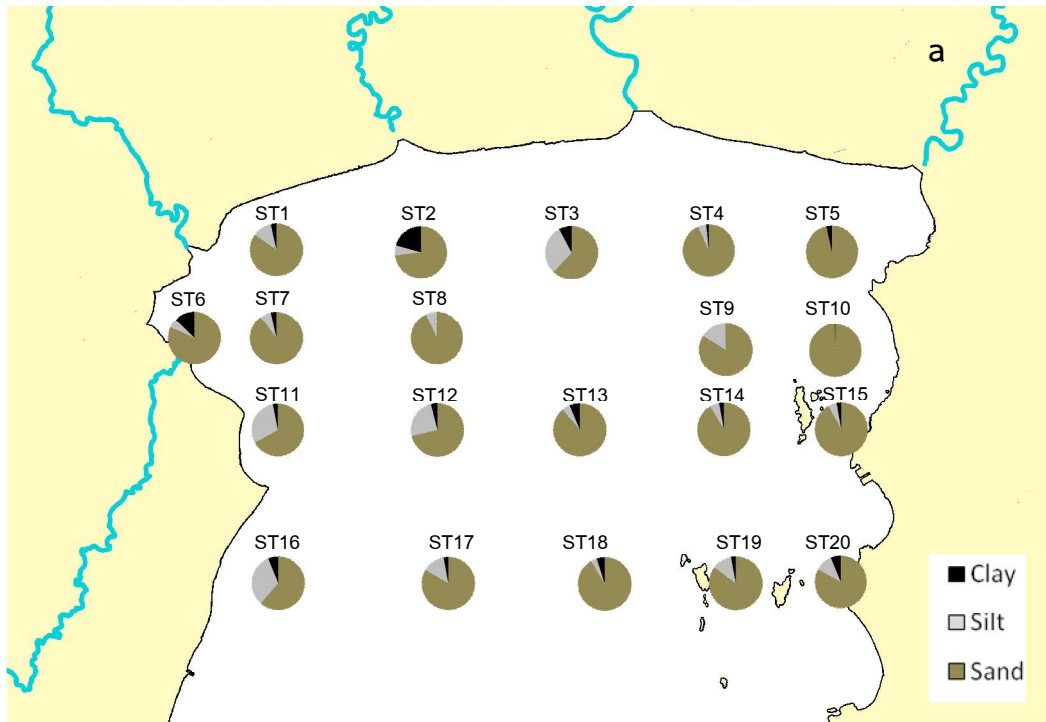
องค์ประกอบตะกอนดิน

องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่า ตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในมีองค์ประกอบของอนุภาคทราย (sand; 63 - 2,000 ไมครอน) มากที่สุด โดยในตะกอนดินผิวหน้ามีสัดส่วนร้อยละ 61.4 - 99.7 สำหรับตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร มีสัดส่วนร้อยละ 63.3 - 99.8 รองลงมาเป็นอนุภาคทรายแป้ง (silt; 4 - 63 ไมครอน) ซึ่งมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 0 - 32 ทั้ง 2 ระดับ โดยมีอนุภาคดินเหนียว (clay; < 4 ไมครอน) น้อยที่สุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.1 - 20.7 ในตะกอนดินผิวหน้า และร้อยละ 0.1 - 16 ในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 -9 เซนติเมตรลักษณะตะกอนดินจะเป็นทราย (sand) ดินทรายร่วน (loamy sand) ดินร่วนทราย (sandy loam) และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยสถานีเก็บตัวอย่างด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนในจะพบลักษณะตะกอนดินเป็นทรายและดินทรายร่วน สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนในจะพบลักษณะดินทรายร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย โดยลักษณะตะกอนดินในแต่ละสถานีดังแสดงในตารางที่ 2

สารอินทรีย์รวมในตะกอนดิน

ปริมาณสารอินทรีย์รวมในตะกอนดินผิวหน้ามีค่าอยู่ระดับร้อยละ 0.6 - 4.0 โดยพบปริมาณสูงบริเวณสถานีที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยา (ST3) ท่าจีน (ST2) แม่กลอง (ST1) และเพชรบุรี (ST6) และบริเวณสถานีเก็บตัวอย่างนอกฝั่งบ้านปึกเตียน (ST16) (ภาพที่ 3a) เนื่องจากมีอนุภาคดินเหนียวเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูงกว่าสถานีอื่นๆ ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการสะสมสารอินทรีย์ (อลงกต และคณะ, 2553) นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณนอกฝั่งหาดบางแสนมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ถึงแม้ว่าจะเป็นบริเวณที่ตะกอนดินเป็นทรายอยู่ถึงร้อยละ 99.7 ซึ่งการสะสมตัวของสารอินทรีย์บริเวณตะกอนดินที่เป็นทรายพบบริเวณ Puck bay ทะเลบอลติก เช่นกัน (Kotwicki et al., 2005)

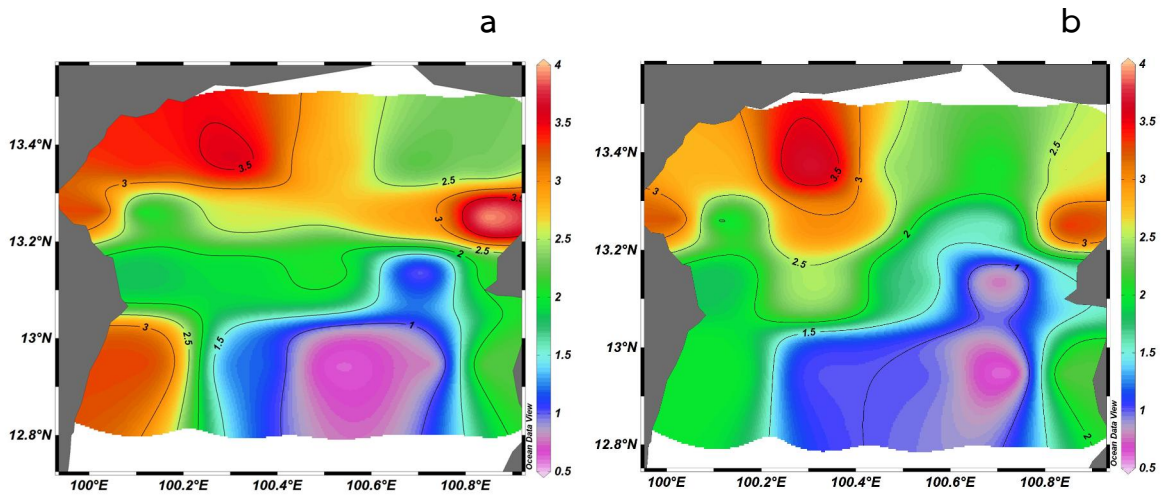
ปริมาณสารอินทรีย์รวมในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร มีค่าอยู่ระดับร้อยละ 0.5 - 3.7 และมีการกระจายตัวใกล้เคียงกับตะกอนดินผิวหน้า ยกเว้นบริเวณนอกฝั่งบ้านปึกเตียนที่มีปริมาณสารอินทรีย์รวมต่ำกว่าในตะกอนดินผิวหน้า (ภาพที่ 3b) อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบปริมาณสารอินทรีย์รวมในตะกอนดินระหว่างระดับผิวหน้าและระดับที่อยู่ลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตรโดยใช้สถิติ Mann-Whitney U test พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์รวมระหว่างตะกอนดินทั้ง 2 ระดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2 องค์ประกอบดินของ a) ตะกอนดินผิวหน้า และ b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจาก ตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 ลักษณะตะกอนดินในอ่าวไทยตอนใน

สถานีเก็บตัวอย่าง	ตะกอนดินผิวหน้า	ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร
ST1	Loamy sand	Loamy sand
ST2	Sandy clay loam	Sandy loam
ST3	Sandy loam	Loamy sand
ST4	Sand	Sand
ST5	Sand	Loamy sand
ST6	Sandy loam	Sandy loam
ST7	Sand	Loamy sand
ST8	Sand	Sand
ST9	Loamy sand	Loamy sand
ST10	Sand	Sand
ST11	Sandy loam	Sandy loam
ST12	Sandy loam	Loamy sand
ST13	Sand	Loamy sand
ST14	Sand	Sand
ST15	Sand	Sand
ST16	Sandy loam	Sandy loam
ST17	Loamy sand	Sand
ST18	Sand	Sand
ST19	Loamy sand	Sand
ST20	Loamy sand	Sandy loam



ภาพที่ 3 ปริมาณสารอินทรีย์ (%) ใน a) ตะกอนดินผิวหน้า b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร

โลหะหนักในตะกอนดิน

ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอทและสารหนูในตะกอนผิวหน้าจำนวน 20 สถานี แสดงในภาพที่ 4 โดยพบว่ามีปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง $<0.003 - 0.07 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง $0.7 - 16 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณตะกั่ว อยู่ในช่วง $2.6 - 38 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณสังกะสีอยู่ในช่วง $1.2 - 25 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณพรอทอยู่ในช่วง $<0.005 - 0.12 \mu\text{g/g dry wt.}$ และปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง $0.09 - 0.27 \mu\text{g/g dry wt.}$ ภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร พบว่าปริมาณแคดเมียมอยู่ในช่วง $<0.003 - 0.05 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณทองแดงอยู่ในช่วง $<0.3 - 14 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง $2.1 - 38 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณสังกะสี อยู่ในช่วง $3.4 - 27 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณพรอทอยู่ในช่วง $<0.005 - 0.07 \mu\text{g/g dry wt.}$ และปริมาณสารหนูอยู่ในช่วง 0.08 ถึง $0.31 \mu\text{g/g dry wt.}$ ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับ มีระดับต่ำกว่าค่า detection limit ($< 0.4 \mu\text{g/g dry wt.}$) เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินกับเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย (ตารางที่ 3) พบว่าในภาพรวมปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินในอ่าวไทยอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง (ภาพที่ 6) นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี พรอท และสารหนูในตะกอนดินระหว่างระดับผิวหน้าและระดับที่อยู่ลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร เพื่อประเมินความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักก่อนและหลังสถานการณ์อุทกภัย โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U test พบว่าไม่มีความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักระหว่างตะกอนดินทั้ง 2 ระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 เกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย

Heavy metals	Proposed guidelines ($\mu\text{g/g dry wt.}$)	
	ERL	ERM
Arsenic	8.2	70
Cadmium	1.2	9.6
Chromium	81	370
Copper	34	270
Lead	46.7	218
Mercury	0.15	0.71
Nickel	20.9	51.6
Zinc	150	410
Total PAHs	1.02	44.79
LPAHs	0.55	3.16
HPAHs	1.7	9.6

ERL = Effect range low

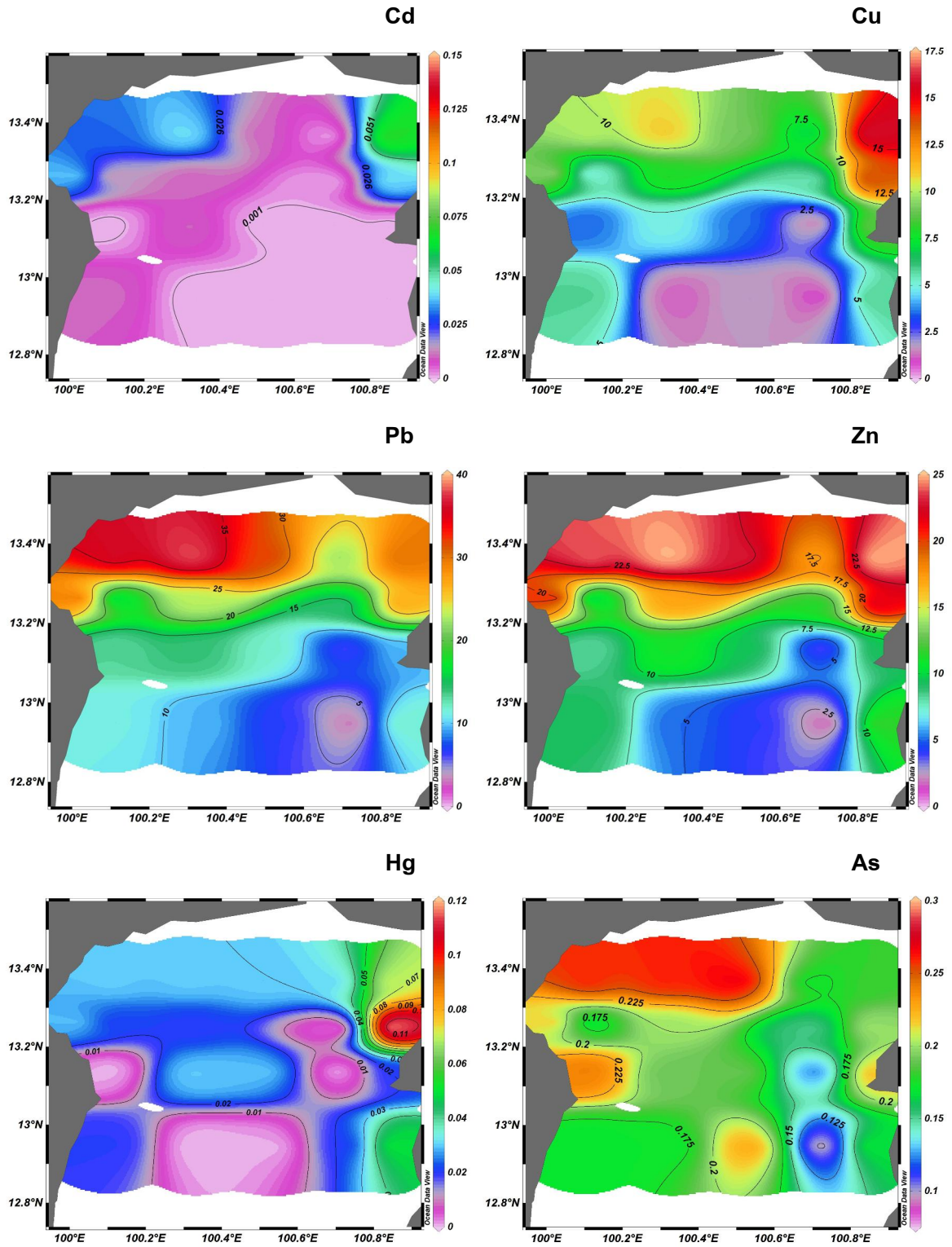
PAHs = Polycyclic aromatic hydrocarbons

ERM = Effect range median

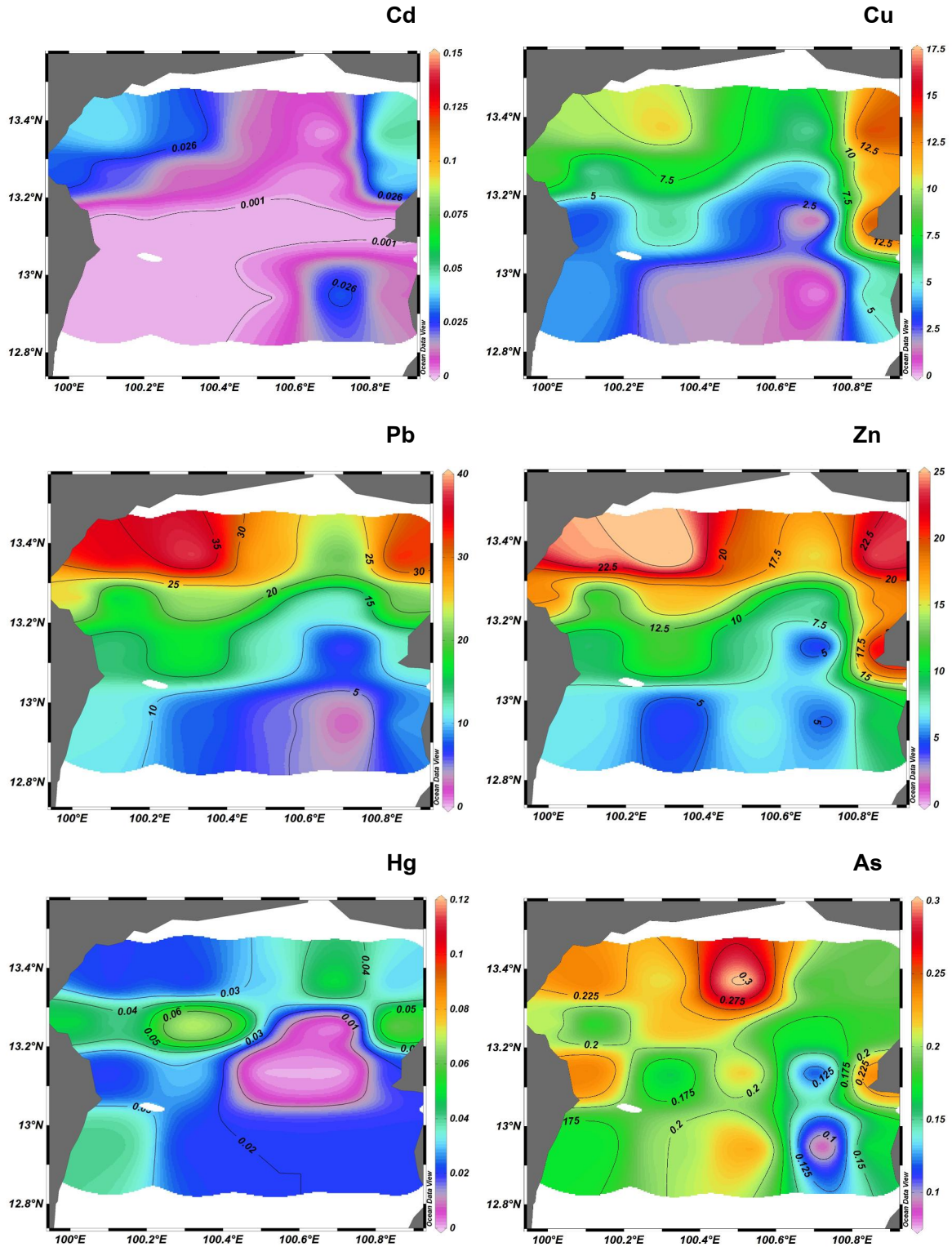
LPAHs = Low molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons

HPAHs = High molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons

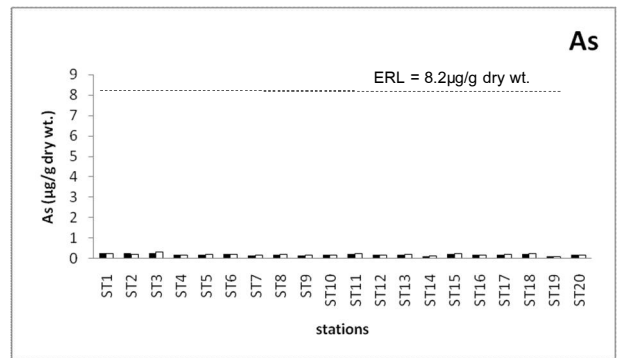
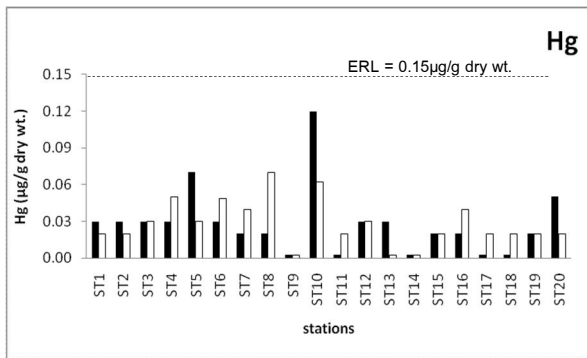
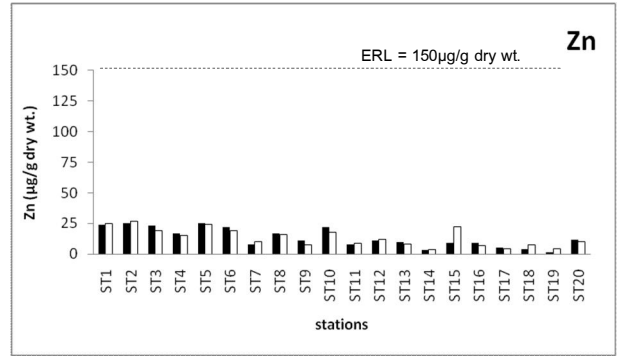
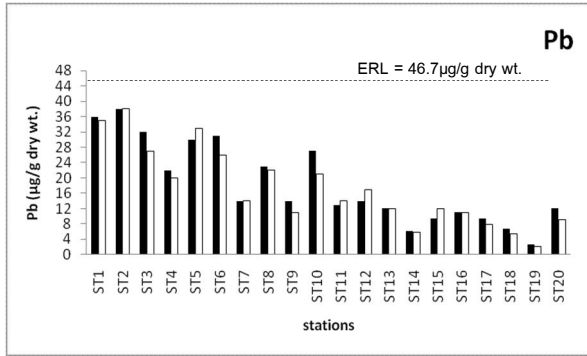
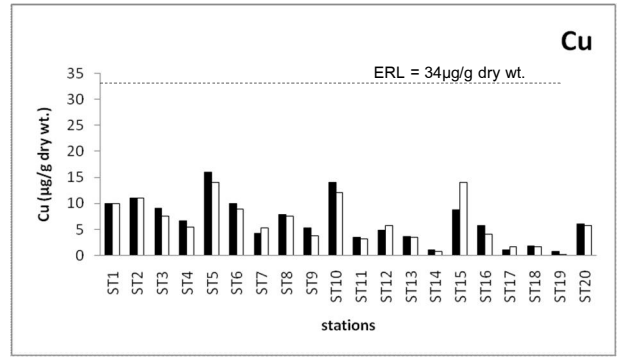
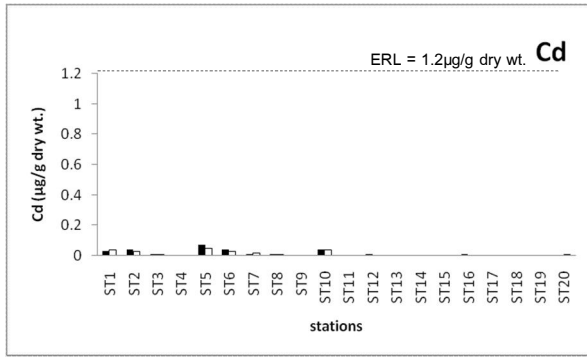
ที่มา : Pollution Control Department (2006)



ภาพที่ 4 ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท และสารหนู ($\mu\text{g/g}$ dry wt.) ในตะกอนดินผิวหน้า



ภาพที่ 5 ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท และสารหนู ($\mu\text{g/g}$ dry wt.) ในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร



ERL = Effect range low

■ = ตะกอนดินผิวหน้า

□ = ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร

ภาพที่ 6 ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ปรอท และสารหนู (µg/g dry wt.) ในตะกอนดิน
อ่าวไทยตอนใน

เมื่อนำปริมาณโลหะหนักมาคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (enrichment factor, EF) เป็นค่าที่บ่งชี้อิทธิพลของกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic activities) ต่อการสะสมตัวของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมทางทะเล (Olubunmi and Olorunsola, 2010) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี (normalization) กับปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี โดยใช้สูตร

$$EF = [C_{\text{metal}} / C_{\text{normalizer}}]_{\text{sample}} / [C_{\text{metal}} / C_{\text{normalizer}}]_{\text{background}}$$

โดย C_{metal} = ปริมาณโลหะหนัก

$C_{\text{normalizer}}$ = ปริมาณธาตุโลหะอ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมี

$[C_{\text{metal}} / C_{\text{normalizer}}]_{\text{sample}}$ = ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี

$[C_{\text{metal}} / C_{\text{normalizer}}]_{\text{background}}$ = ปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติหลังจากปรับฐานทางธรณีเคมี

Sutherland (2000) ได้แบ่งระดับของอิทธิพลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ไว้ ดังนี้

EF <2 หมายถึงระดับที่ไม่ได้รับอิทธิพลจนถึงได้รับอิทธิพลน้อย (deficiency to minimal enrichment)

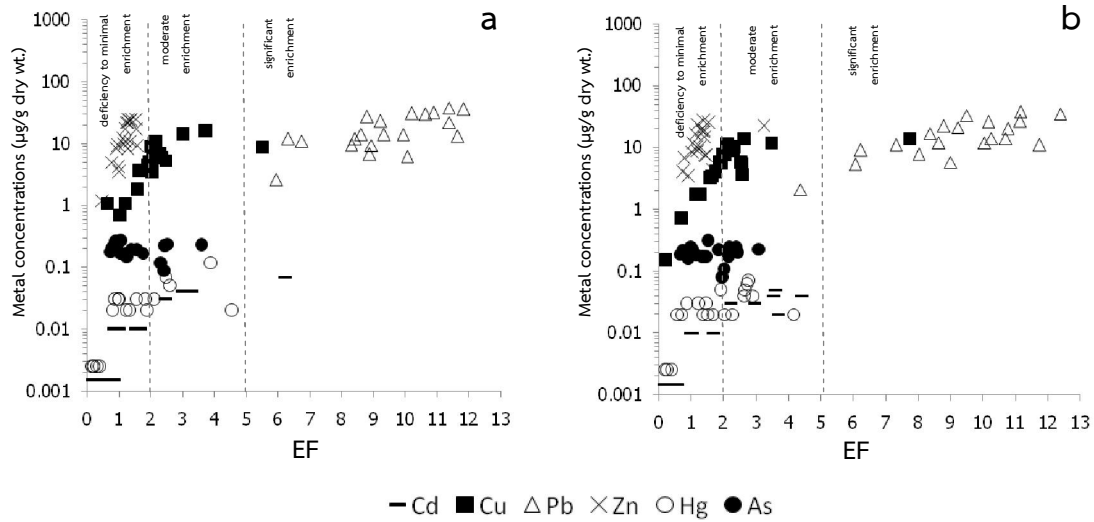
EF 2 - 5 หมายถึง ระดับที่ได้รับอิทธิพลปานกลาง (moderate enrichment)

EF 5 - 20 หมายถึง ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูง (significant enrichment)

EF 20 - 40 หมายถึง ระดับที่ได้รับอิทธิพลสูงมาก (very high enrichment)

EF >40 หมายถึง ระดับที่ได้รับอิทธิพลอย่างรุนแรง (extremely high enrichment)

การคำนวณในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติจากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) โดยใช้ความเข้มข้นเฉลี่ยจากตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในที่มีอายุอยู่ระหว่างปี พ.ศ. 2487 - 2500 ธาตุโลหะที่ใช้อ้างอิงในการปรับฐานทางธรณีเคมี คือ อลูมิเนียม (Cheevaporn and McGlone, 1997) ทั้งนี้จะไม่นำโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์มาคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินเนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่าค่า detection limit ทุกสถานีผลการวิเคราะห์การสะสมตัวของแคดเมียม ทองแดง สังกะสี พรอท และสารหนูในตะกอนดินผิวหน้า และตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร พบว่าโดยส่วนใหญ่ไม่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์จนถึงได้รับอิทธิพลปานกลาง (ค่า EF อยู่ในช่วง 0 - 5) ยกเว้นในบางสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง เช่น ปากแม่น้ำบางปะกง (ST5) และศรีราชา (ST15) จะพบว่าแคดเมียมและทองแดงได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ในระดับค่อนข้างสูง การสะสมตัวของตะกั่วในตะกอนดินทุกสถานีมีค่าอยู่ในช่วง 5 - 12.4 ซึ่งแสดงว่ากิจกรรมของมนุษย์มีอิทธิพลค่อนข้างสูงในอ่าวไทยตอนใน โดยอิทธิพลดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่ห่างจากปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย (เจ้าพระยา บางปะกง ท่าจีน และแม่กลอง) (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การสะสมตัวของโลหะ (enrichment factor, EF) ใน (a) ตะกอนดินผิวน้ำ และ (b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวน้ำ 5 - 9 เซนติเมตร

ระดับการปนเปื้อนที่เกิดจากโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินสามารถประเมินได้จากการคำนวณดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) (Tijini and Onodera, 2009, Olubunmi and Olorunsola, 2010) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$I_{geo} = \text{Log}_2[C_{\text{metal}(\text{sample})} / 1.5C_{\text{metal}(\text{background})}]$$

โดย $C_{\text{metal}(\text{sample})}$ = ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่าง

$C_{\text{metal}(\text{background})}$ = ปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติ

ดัชนีการสะสมเชิงธรณีสามารถแบ่งเป็นระดับ (Huu et al., 2010) ดังนี้

$I_{geo} < 0$ หมายถึง ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน (unpolluted)

$0 \leq I_{geo} < 1$ หมายถึง ระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (unpolluted to moderately polluted)

$1 \leq I_{geo} < 2$ หมายถึง ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง (moderately polluted)

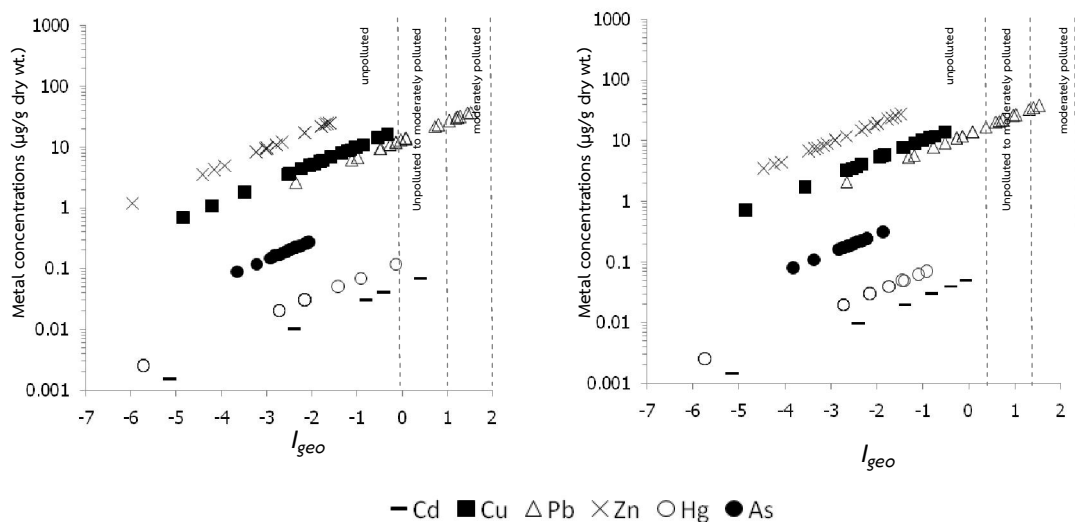
$2 \leq I_{geo} < 3$ หมายถึง ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง (moderately to strongly polluted)

$3 \leq I_{geo} < 4$ หมายถึง ระดับที่มีการปนเปื้อนสูง (strongly polluted)

$4 \leq I_{geo} < 5$ หมายถึง ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก (strongly to very strongly polluted)

$I_{geo} > 5$ หมายถึง ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก (very strongly polluted)

การคำนวณดัชนีการสะสมเชิงธรณีจะใช้ข้อมูลปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติจากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) เช่นเดียวกับการคำนวณการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดินและไม่นำโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์มาคำนวณ เช่นกัน ผลจากการคำนวณดัชนีการสะสมเชิงธรณีแสดงให้เห็นว่าไม่มีการปนเปื้อนทองแดง สังกะสี พรอท และสารหนูทั้งในตะกอนดินผิวหน้าและตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร เมื่อเทียบกับสภาพธรรมชาติ ในขณะที่แคดเมียมในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับ โดยส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน ยกเว้นแคดเมียมในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงที่มีค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงปนเปื้อนปานกลาง ($I_{geo} \sim 0.42$) สำหรับตะกั่วมีการปนเปื้อนในระดับปานกลางบริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย โดยระดับการปนเปื้อนตะกั่วในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับ ลดลงจนถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน ($I_{geo} < 0$) ตามระยะห่างจากปากแม่น้ำ 4 สาย (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) ใน (a) ตะกอนดินผิวหน้า และ (b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร

เนื่องจากการศึกษาการสะสมตัวของโลหะหนักของตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลการประเมินกับการศึกษาที่ผ่านมาได้ สำหรับการประเมินการสะสมเชิงธรณีในตะกอนดินของอ่าวไทยตอนในพบว่าระดับปนเปื้อนของปรอท แคดเมียม และตะกั่ว สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thongra-ar et al. (2008) กล่าวคืออยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงมีการปนเปื้อนระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามระดับการปนเปื้อนของสังกะสีและทองแดงจากการศึกษานี้มีระดับที่ต่ำกว่าที่รายงานโดย Thongra-ar et al. (2008) อาจเนื่องมาจาก Thongra-ar et al. (2008) ประเมินดัชนีการสะสมเชิงธรณีจากค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในตะกอนดินที่ศึกษาเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งภาคตะวันออกตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกงจนถึงปากแม่น้ำตราด นอกจากนี้ยังใช้ค่า crustal average ที่ได้จากการศึกษาของ Taylor (1964) แทนปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติ (natural or background

concentration) ในขณะที่การศึกษานี้เก็บตัวอย่างตะกอนดินห่างจากแนวชายฝั่งในอ่าวไทยตอนใน (ภาพที่ 1) และใช้ข้อมูลปริมาณโลหะหนักในสภาพธรรมชาติจากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) การสะสมตัวของปริมาณทองแดงในตะกอนดินบริเวณจุดเก็บใกล้ชายฝั่งอำเภอศรีราชา (ST15) ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างสูง (ค่า EF อยู่ระหว่าง 5.5 – 7.7) แต่เมื่อประเมินระดับการปนเปื้อนแล้วยังพบว่าอยู่ในระดับที่ไม่มีมีการปนเปื้อนซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปริมาณทองแดงที่มีสะสมอยู่ในตะกอนดินในสภาพธรรมชาติซึ่งมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณทองแดงในตัวอย่างตะกอนดิน

จากการประเมินคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในโดยพิจารณาจากค่าเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย (Pollution Control Department, 2006) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติแบบ non-parametric 2 sample analysis: Mann-Whitney U test ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน และดัชนีการสะสมเชิงธรณีแสดงให้เห็นว่าสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อปริมาณโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในและตะกอนดินบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีคุณภาพที่สามารถเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์หน้าดินตามธรรมชาติได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสุชาติ และคณะ (2555) ซึ่งรายงานว่าองค์ประกอบสัตว์หน้าดินในอ่าวไทยตอนบนมีการฟื้นตัวจาก 657 ตัวต่อตารางเมตรในเดือนธันวาคม 2554 เป็น 4,681 ตัวต่อตารางเมตรในเดือนมีนาคม 2555 และการศึกษาของเพ็ญจันทร์และคณะ (2555) ซึ่งพบว่ามวลน้ำจืดจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ไม่ได้รับผลกระทบที่รุนแรงต่อความหนาแน่นของประชากรหอยหลอดบริเวณดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม

สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีน

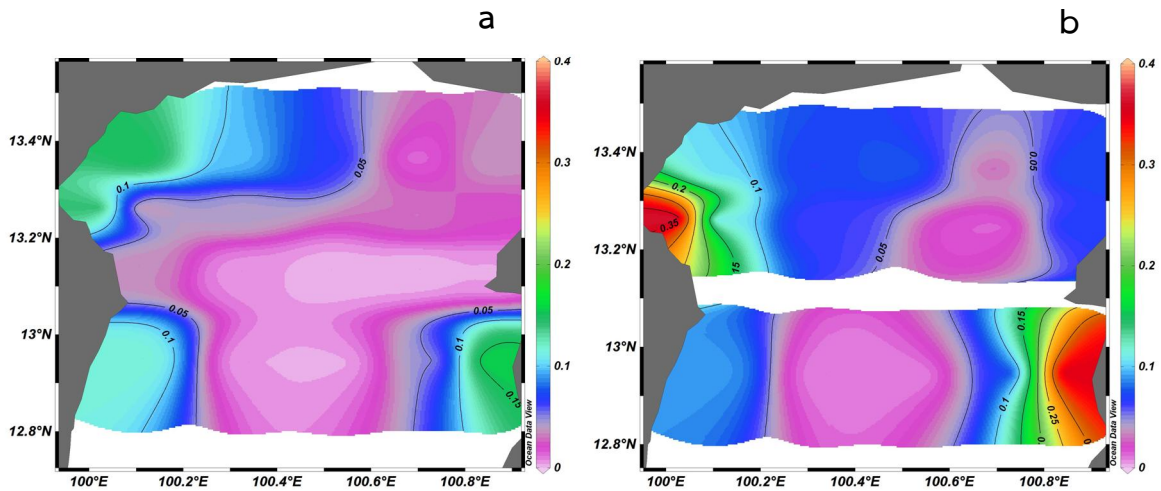
สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนในตะกอนดินที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 17 ชนิด ได้แก่ A-BHC B-BHC Lindane D-BHC Heptachlor Aldrin Heptachlor epoxide Endosulfan I P,P-DDE Dieldrin Endrin Endosulfan II P,P-DDD Endrin Aldehyde Endosulfan sulfate P,P-DDT และ Methoxychlor จากผลการศึกษาพบว่าสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit (<10 µg/kg dry wt.) ทั้งในตะกอนดินผิวหน้า และตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร แต่เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีค่ามาตรฐานสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนในตะกอนดินทะเลและชายฝั่งสำหรับประเทศไทย ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินที่ทำการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย 17 ชนิด ได้แก่ Naphthalene Acenaphthylene Acenaphthene Fluorene Phenanthrene Anthracene Fluoranthene Pyrene Benzo(a)Anthracene Chrysene Benzo(b)Fluoranthene Benzo(k)Fluoranthene Benzo(b)Pyrene Indeno(1,2,3-cd)Pyrene Dibenzo(a,h)Anthracene Benzo(b)Perylene และ Methyl Phenanthrene จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ($<0.2 \mu\text{g/g dry wt.}$) ทั้งในตะกอนดินผิวหน้า และตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่งของประเทศไทย (ตารางที่ 3) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐาน ๓

ปริมาณซัลไฟด์

จากการวิเคราะห์ค่า AVS จำนวน 20 สถานี ในตะกอนดินผิวหน้า และจำนวน 15 สถานี ในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร (ST1 – ST 10 และ ST15 - ST20) พบว่า ค่า AVS ในตะกอนดินผิวหน้ามีค่าอยู่ในช่วง $0.00044 - 0.16200 \text{ mg/g dry wt.}$ (ภาพที่ 9a) สำหรับ ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร มีค่า AVS อยู่ในช่วง $0.0043 - 0.4063 \text{ mg/g dry wt.}$ (ภาพที่ 9b) โดยพบค่า AVS ต่ำสุด ($0.0004 \text{ mg/g dry wt.}$) ในตะกอนดินชั้นผิวหน้า บริเวณนอกฝั่งเกาะสีชัง (ST14) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีลักษณะเป็นทรายซึ่งน้ำทะเลสามารถซึมผ่านได้ ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในบริเวณดังกล่าวเกิดขึ้นภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจน (จากรูมาศ 2548) นอกจากนี้ยังพบค่า AVS สูงในตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตร ในบริเวณนอกฝั่งบ้านบางตะบูน (ST6) ซึ่งมีค่า $0.4063 \text{ mg/g dry wt.}$ และบริเวณนอกฝั่งพญา (ST20) ซึ่งมีค่า $0.3688 \text{ mg/g dry wt.}$ ซึ่งทั้ง 2 สถานีมีลักษณะตะกอนดินแบบดินร่วนทราย (sandy loam) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่า AVS ในตะกอนดินระหว่างระดับผิวหน้าและระดับที่อยู่ลึกจากตะกอนดินผิวหน้า 5 - 9 เซนติเมตรโดยใช้สถิติ Mann-Whitney U test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่า AVS ระหว่างตะกอนดินทั้ง 2 ระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 9 ปริมาณ Acid Volatile Sulfide (mg/gdry wt.) ใน a) ตะกอนดินผิวน้ำ b) ตะกอนดินที่ระดับลึกจากตะกอนดินผิวน้ำ 5 - 9 เซนติเมตร

ระดับของปริมาณสารอินทรีย์ที่ได้จากการศึกษา (ร้อยละ 0.5 - 4.0) มีค่าใกล้เคียงกับการรายงานของ จารุมาศ (2548) ซึ่งระบุว่าปริมาณสารอินทรีย์รวมในอ่าวไทยมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ที่ระดับประมาณร้อยละ 1 - 2 ทั้งนี้ บริเวณที่เป็นตะกอนทรายอาจจะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 0.3

อย่างไรก็ตามบริเวณที่มีกิจกรรมการใช้ประโยชน์บริเวณชายฝั่ง เช่น การท่องเที่ยว การประมง (เช่น การเลี้ยงหอย) หรือบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีก็จะพบว่ามีปริมาณซัลไฟด์ในดินสูงเช่นกัน จารุมาศ (2548) ซึ่งในภาพที่ 9 จะพบว่ามีปริมาณซัลไฟด์บริเวณชายฝั่งสูงกว่าบริเวณนอกฝั่ง เช่น บริเวณนอกฝั่งพัทยาและบ้านปึกเตียน ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยว รวมทั้งบริเวณชายฝั่งบ้านบางตะบูนที่มีการเลี้ยงหอยแครง

อลงกต และคณะ (2553) พบว่าโดยทั่วไปปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนดินจะแปรผันกับปริมาณซัลไฟด์ในตะกอนดิน อย่างไรก็ตาม จากการศึกษานี้ พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ในบางสถานีไม่สอดคล้องกับปริมาณซัลไฟด์ในดิน เช่น บริเวณนอกฝั่งหาดพัทยาซึ่งพบว่ามีปริมาณซัลไฟด์สูงกว่าสถานีอื่นที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระดับเดียวกันอาจเนื่องจากสภาพพื้นที่ท้องน้ำบริเวณนอกฝั่งหาดพัทยาอาจเอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition) มากกว่าบริเวณอื่น กล่าวคืออาจจะมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเหนือผิวดินต่ำ หรือชนิดและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ไม่เหมาะสมต่อขบวนการ sulfate reduction

สรุปผลการศึกษา

ปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท สารหนู และโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ รวมทั้งปริมาณปริมาณโพสโซติกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวหน้า และตะกอนดินที่ระดับลึก จากตะกอนดินผิวหน้า 5-9 เซนติเมตร ซึ่งเก็บตัวอย่างในอ่าวไทยตอนในเมื่อเดือนกรกฎาคม 2555 อยู่ในเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง (Pollution Control Department, 2006) ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนในตะกอนดินมีค่าอยู่ในระดับตรวจไม่พบ ($<10 \mu\text{g/kg dry wt.}$) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอท สารหนู ปริมาณสารอินทรีย์รวม และปริมาณซิลไฟต์ในตะกอนดิน พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างตะกอนดินทั้ง 2 ระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mann-Whitney U test, $p > 0.05$) ด้วยความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

จากการคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนัก (EF) ในตะกอนดินแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของตะกั่วในตะกอนดินค่อนข้างสูง แต่ไม่มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของแคดเมียม ทองแดง สังกะสี พรอท และสารหนูจนถึงมีอิทธิพลระดับปานกลาง ยกเว้นแคดเมียมและทองแดงในตะกอนดินบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง และศรีราชาที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างสูง

นอกจากนี้ระดับการปนเปื้อนที่เกิดจากโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินซึ่งประเมินจากดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) แสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนตะกั่วบริเวณสถานีที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา บางปะกง ทำจันและแม่กลองในระดับปานกลาง โดยระดับการปนเปื้อนจะลดลงจนถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนในสถานีที่อยู่ห่างจากปากแม่น้ำทั้ง 4 สาย สำหรับแคดเมียม ทองแดง สังกะสี พรอท และสารหนูพบว่าโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อน ยกเว้นแคดเมียมในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงที่พบว่ามีอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงปนเปื้อนระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าการสะสมตัวของโลหะหนัก (EF) และดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo}) ในตะกอนดินทั้ง 2 ระดับพบว่าไม่มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในภาพรวมจากการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร่างมาตรฐานตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ การคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักและดัชนีการสะสมเชิงธรณีในตะกอนดินที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 และตะกอนดินที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 สามารถสรุปได้ว่าสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 ไม่ส่งผลกระทบต่อ การสะสมตัวของมลสารในตะกอนดินในอ่าวไทยตอนใน

ข้อเสนอแนะ

1. การติดตามตรวจสอบผลกระทบของสถานการณ์อุทกภัยต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล ควรมีการวางแผนการดำเนินการในอนาคต ดังนี้
 - 1.1 การประเมินผลกระทบระยะสั้น โดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ซึ่งจากสถานการณ์อุทกภัยปี 2554 มวลน้ำจืดมีการเคลื่อนที่ครอบคลุมบริเวณนอกฝั่ง ดังนั้น การเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจึงควรพิจารณาจุดเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ดังกล่าว
 - 1.2 การประเมินผลกระทบระยะยาว โดยการติดตามตรวจสอบคุณภาพตะกอนดินพื้นที่ท้องทะเลหรือสัตว์หน้าดิน เพื่อตรวจสอบการสะสมของมลสารที่อาจปนเปื้อนมากับมวลน้ำและตะกอนดิน
2. เนื่องจากมลสาร เช่น โลหะหนัก ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลสามารถเปลี่ยนรูปและสะสมหมุนเวียนระหว่างในน้ำและตะกอนดินได้โดยขบวนการทางเคมีกายภาพ (physicochemical processes) เช่น การเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลาย ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มในน้ำ และค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential; Eh) เป็นต้น (Salomons and Forstner, 1984; Elder, 1988) กล่าวคือ มลสารที่สะสมในตะกอนดินสามารถแพร่ไปสู่แหล่งน้ำได้ ในขณะที่มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำก็สามารถสะสมอยู่ในตะกอนดินได้เนื่องจากตะกอนดินมีคุณสมบัติในการยึดเกาะหรือดูดซับมลสารที่อยู่ในน้ำได้โดยเฉพาะ โลหะหนัก (Maanan et al., 2004) ดังนั้นการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเลจึงควรดำเนินการทั้งในน้ำทะเลและตะกอนดิน
3. การประเมินคุณภาพตะกอนดินทะเลควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลอื่นๆ นอกเหนือจากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งในการดำเนินการประเมินคุณภาพตะกอนดินในอ่าวไทยตอนในครั้งนี้ได้ คำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในตะกอนดิน (enrichment factor, EF) และดัชนีการสะสมเชิงธรณี (geo-accumulation index, I_{geo}) ซึ่งผลการคำนวณจะบ่งชี้ถึงอิทธิพลของกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic activities) ต่อการสะสมตัวของโลหะหนัก และระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. โครงการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งบริเวณฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย ตะวันตก. กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. แผนปฏิบัติการจัดการฟื้นฟูมลพิษจากแผ่นดิน โครงการ Unep GEF project on "Reversing Environmental Degradation Trends in the South China Sea and Gulf of Thailand" (UNEP GEF SCS). กรุงเทพมหานคร.
- จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. 2548. ดินตะกอน. ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เพ็ญจันทร์ ละอองมณี, จินดา ชัยเกลี้ยง, ณิชรา ถาวรโสตร์, ณิชินี ศุภระมงคล, ศักดิ์ชัย อานุกาพบุญ, ฤทธิรงค์ พรหมมาศ และสายัณห์ พรหมจินดา. 2555. การติดตามผลกระทบของมหาอุทกภัยของประเทศไทยปี 2554 ต่อประชากรหอยหลอด บริเวณดอนหอยหลอด จังหวัดสมุทรสงคราม ระหว่างเดือนธันวาคม 2554 ถึงเดือนมีนาคม 2555 ใน บทคัดย่อการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2555 : การบูรณาการการศึกษาศาสตร์ทางทะเลภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของโลก; 17-19 ตุลาคม 2555. กรุงเทพมหานคร.
- ทีมวิเคราะห์สนเทศธุรกิจ 2554. มหาอุทกภัย 2554 ผลกระทบและแนวโน้มการฟื้นตัว จากการสำรวจผู้ประกอบการ. ฝ่ายเศรษฐกิจการเกษตร ธนาคารแห่งประเทศไทย.
- สุชาติ สว่างอารีย์รักษ์, นฤมลกรคณิตนันท์, สุรศักดิ์ทองสุกดี, ณรงค์ฤทธิเลิศเกษตรวิทยา, วิทยา โภษาผล, พัชราภรณ์ เยาวสุด, อีรวัตร์เปรมปรี, สุระชัยภัสสดา, องค์จันทร์ภัสสดาและ ฉันทพัส ศิริชัยเศรษฐ. 2555.ผลกระทบของมหาอุทกภัยต่อทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน. ใน เรื่องเต็มการประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4; 6-7 กันยายน 2555 . กรุงเทพมหานคร. 163-173.
- อลงกต อินทรชาติ, กนกวรรณ ขาวดอน, อรรณวุฒิ กันทะวงศ์. 2553. คุณภาพตะกอนดินบริเวณอ่าวไทย ตอนใน. ในเรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ, 2553, หน้า 280-287.
- Caccia, V. G., Millero, F. J. and Palanques, A. 2003. The distribution of trace metals in Florida Bay sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1420-1433.
- Cheevaporn, V. and Mcglone, A. L. S. D.-. 1997. Aluminium normalization of heavy metal data from estuarine and coastal sediments of the Gulf of Thailand. *Thammasat Internation Journal of Science and Technology*, 2, 37-46.
- Department of Environment and Heritage Protection. 2011. Plume flood impacts on marine ecosystems. The state of Queensland. [Online]. [Accessed May 1 2012].

- Elder, J.F., 1988. Metal Biogeochemistry in Surface water System: A Review of Principle and Concepts. US Geological Survey, Washington, DC., USA., pp: 33-43.
- Kotwicki L., Weslawski J.M., Szaltynis A., Stasiak A., Kupiec A. 2005. Fine organic particles in a sandy beach system (Puck Bay, Baltic Sea). *Oceanologia*, 4 (2), 165-180.
- Pollution Control Department. 2006. Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines Bangkok: Pollution Control Department
- Herut, B and Sandler, A. 2006. Normalization methods for pollutants in marine sediments : review and recommendations for the Mediterranean (draft final report). Israel Oceanographic and Limnological research. 23 pp.
- Huu, H. H., Rudy, S. and Damme, A. V. 2010. Distribution and contamination status of heavy metals in estuarine sediments near Cau Ong harbor, Ha Long Bay, Vietnam. *Geology Belgica*, 3, 37-47.
- Maanan, M., Zourarah, B., Carruesco, C., Aajjane, A. and Naud, J. 2004. The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *Journal of African Earth Sciences*, 39, 473-483.
- Olubunmi, F. E. and Olorunsola, O. E. 2010. Evaluation of the status of heavy metal pollution of sediment of Agbabu Bitumen deposit area, Nigeria. *European Journal of Scientific Research*, 41, 373-382.
- Shazili A.M., M K. A. Rashid, M. L. Husain and A. Nordin and S. Ali. 2003. Trace metals in the surface sediments of the South China Sea, Area I: Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia. http://map.seafdec.org/downloads/pdf/collaborative20research/Areal_GOT/SCS_FRS1_06.pdf
- Solomons, W. and Forstner, U., 1984. Metal in the hydrocycle. Springer-Verlag. Berline 349.
- Sutherland, R. A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39, 611-627.
- Taylor, S. R. 1964. The abundance of chemical elements in the continental crust- a new table *Grochimica et Cosmochimica Acta* 28, 1273-1285.
- Thonggra-ar, W., Musika, C., Wongsudawan, W. and Munhapol, A. 2008. Heavy metals contamination in sediments along the eastern coast of the Gulf of Thailand *EnvironmentalAsia*, 1, 37-45.
- Tijini, M. N. and Onodera, S. 2009. Hydrogeochemical assessment of metals contamination in an urban drainage system : A case study of Osogbo township, SW-Nigeria. *Journal of water resource and protection*, 3, 164-173.