รายงานการวิจัย

การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง

การศึกษาสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ปี 2547

แววตา ทองระอา

ฉลวย มุสิกะ

วันชัย วงสุดาวรรณ

อาวุธ หมั่นหาผล

15 มิ.ย. 2549

209066

QK 995.Z98

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2547

สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา

พ.ศ. 2549

ISBN 974-384-282-9

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก

แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุดาวรรณ และ อาวุธ หมั่นหาผล
สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัย บูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของโลหะหนัก ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส ในน้ำทะเลและดินตะกอน ได้ทำการศึกษาในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา ถึง ปากแม่น้ำตราด จ. ตราด โดยศึกษาในรูปของปริมาณโลหะหนักรวมและศึกษาคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนบางประการด้วย เก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน 2 ครั้ง คือในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) รวม 52 สถานี พบว่า โลหะหนักในน้ำทะเลมีค่าน้อยและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งของไทย ยกเว้นเหล็กและแมงกานีสที่มีค่าสูงเกินมาตรฐานพบในบริเวณปากแม่น้ำ จ. จันทบุรีและตราด สำหรับในดินตะกอน พบว่ามีโลหะหนักบางชนิดที่มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของต่างประเทศ โดยเฉพาะปรอท ตะกั่ว และสังกะสีในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ. ระยอง เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนกำหนดไว้ ส่วนเหล็กและแมงกานีสมีค่าสูงมากในดินตะกอนโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำ จ. จันทบุรีและตราด การประเมินระดับความรุนแรงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนจากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (geoaccumulation index) โดยเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ พบว่า มีเพียงตะกั่วเท่านั้นที่อยู่ในสภาพไม่ปนเปื้อน/ปนเปื้อนไม่รุนแรง ซึ่งแสดงว่าอาจมีการปนเปื้อนของตะกั่วบางส่วนในดินตะกอนจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีการปนเปื้อนมากที่สุด

นอกจากนี้ พบว่า การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในน้ำทะเลมากกว่าในดินตะกอน โลหะหนักส่วนใหญ่ในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์ทางลบกับความเค็ม แต่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำวัดในรูปของฟลูออเรสเซนซ์ สำหรับในดินตะกอนนั้นพบว่า ส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก สารอินทรีย์ ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ดินเหนียว และ ทรายแป้ง แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Contamination of Some Heavy Metals in Seawater and Sediments along the Eastern Coast of Thailand

Waewtaa Thongra-ar, Chaluay Musika, Wanchai Wongsudawan and Arvut Munhapol

Institute of Marine Science, Burapha University, Chon Buri 20131

Abstract

Contamination of total Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Fe and Mn in seawater and sediments were investigated along the Eastern Coast of Thailand from Bangpakong estuary, Chachoengsao Province to Trat estuary, Trat Province (52 stations). Some water qualities and sediment characteristics were also investigated. The samples of seawater and sediments were collected in the dry (March 2004) and wet (August 2004) seasons. The concentrations found in seawater were low and within Thai coastal water quality standard, except Fe and Mn in some stations at the river mouths in Chantaburi and Trat Provinces. Some heavy metals in the sediments exceeded the acceptable criteria/guidelines set in some countries, especially Hg, Pb and Zn at Map Ta Phut industrial estate, Rayong Province. There is no sediment quality standard developed yet in Thailand. Fe and Mn were also found to be very high in the sediments especially at the river mouths in Chantaburi and Trat Provinces. Geoaccumulation index (I*geo*) was calculated in comparison with geochemical background concentrations (average shale and average crustal abundance) to assess the anthropogenic inputs of heavy metals in the sediments. Result showed that only Pb was found to be unpolluted/moderately polluted, especially the highest contamination was found at Map Ta Phut industrial estate.

In addition, seasonal changes had more influence on the concentrations of heavy metals in seawater than those in the sediments. Most heavy metals in seawater showed negative correlation with salinity, and showed positive correlations with suspended solids and DOC fluorescence, while those in the sediments showed positive correlations with CEC, organic matter, Fe and Mn oxides, clay and silt, and showed negative correlation with sediment pH.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน หมวดเงินอุดหนุน มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีงบประมาณ 2547 คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างมากไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ปรอทในน้ำทะเลด้วยเครื่อง Atomic Fluorescence Spectrophotometer และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกท่านที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
บทนำ	1
การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
อุปกรณ์และวิธีการ	8
ผลและวิจารณ์ผล	18
1. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล	18
2. การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน	36
สรุปผลการศึกษา	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก โลหะหนักในน้ำทะเล	81
ภาคผนวก ข คุณภาพน้ำทะเล	88
ภาคผนวก ค โลหะหนักในดินตะกอน	95
ภาคผนวก ง ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี	102
ภาคผนวก จ คุณภาพดินตะกอน	111

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจากรายงานการศึกษาต่างๆที่ผ่านมา	5
2	ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจากรายงานการศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมา	6
3	สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก	9
4	ค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอน	15
5	ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลมาตรฐาน (Nearshore Seawater Reference Material: CASS-4)	16
6	ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนทะเลมาตรฐาน (Marine Sediment Reference Material: MESS-3)	16
7	% Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณปรอทและตะกั่วในน้ำทะเล (n = 5)	17
8	คุณภาพดินตะกอนบางประการที่ทำการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์	17
9	ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์	19
10	โลหะหนักในน้ำทะเลที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) และบริเวณที่ตรวจพบ (หน่วยเป็น ไมโครกรัม/ลิตร)	26
11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆในน้ำทะเล จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์และฤดูกาล	27
12	คุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์	31
13	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (n = 52)	34
14	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (n = 50)	35

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่		หน้า
15	ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์	37
16	เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอน (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	43
17	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ (geochemical background values) (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	44
18	โลหะหนักในดินตะกอนที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) และบริเวณที่ตรวจพบ (หน่วยเป็นไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	46
19	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆใน ดินตะกอนจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์และฤดูกาล	50
20	การจำแนกระดับความรุนแรงของค่าดัชนี I*geo* (Förstner et al., 1993; Calmano et al., 1996)	55
21	ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961)	57
22	ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964)	60
23	คุณภาพดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์	65
24	การจำแนกประเภทดิน (soil classes)	
25	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (n = 52)	71
26	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (n = 50)	72

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบของโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม (Demayo et al., 1979)	4
2	สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน (●)บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก	12
3	ปริมาณปรอท และแคดเมียม ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	20
4	ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	21
5	ปริมาณทองแดงและนิเกิลในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	22
6	ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	23
7	เปรียบเทียบโลหะหนักในน้ำทะเล (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	29
8	เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทะเล (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	32
9	ปริมาณปรอทและแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	38
10	ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	39
11	ปริมาณทองแดงและนิเกิลในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	40
12	ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)	41

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาพที่ หน้า

13 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) 51

14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตลอดปีของโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ 53

15 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961 58

16 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961) 59

17 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964) 61

18 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964) 62

19 เปรียบเทียบคุณภาพดินตะกอน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) 67

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

บทนำ

ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกมีความยาวประมาณ 500 กิโลเมตร มีที่ราบแคบๆ ตามชายฝั่งทะเล เป็นพื้นที่เกษตรกรรมทั้งทำนา ทำไร่ และทำสวน จากบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ถึง อ่างศิลา จังหวัดชลบุรี และชายฝั่งทะเล จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด มีลักษณะเป็นหาดเลนและเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงชายฝั่งที่สำคัญของประเทศไทย นอกจากนี้รัฐบาลได้มีนโยบายพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกให้เป็นแหล่งอุตสาหกรรมและท่าเรือน้ำลึก โดยพื้นที่บริเวณบ้านหนองแฟบ ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง เป็นที่ตั้งอุตสาหกรรมหลัก และพื้นที่แหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อมที่ไม่มีปัญหาด้านมลพิษ พร้อมทั้งท่าเรือน้ำลึก

ในบรรดาสารมลพิษต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม โลหะหนักนับว่าเป็นสารมลพิษประเภทหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต เกิดขึ้นได้เองทั้งโดยธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โลหะหนักบางชนิดในปริมาณน้อยๆ มีประโยชน์ต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของพืชและสัตว์ทะเล เช่น แมงกานีส ส่วนโลหะหนักที่จัดว่าเป็นปัญหาของชุมชน และ สิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม และสังกะสี เป็นต้น โลหะหนักที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาตินั้นมีปริมาณน้อย ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งได้นำเอาโลหะหนักมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเพื่อผลิตสิ่งอำนวยประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต ทำให้น้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้มีโลหะหนักเจือปนอยู่ ถึงแม้ว่าโลหะหนักจะมีประโยชน์มากก็ตามแต่ก็มีโทษมหาศาล เนื่องจากโลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้โดยกระบวนการธรรมชาติ แต่สะสมได้ในน้ำ ดินตะกอน ตลอดจนสิ่งมีชีวิต และถ้ามีความเข้มข้นสูงมากๆ ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ตลอดจนผู้นำสัตว์น้ำนั้นๆ มาบริโภคอีกด้วย ดังเช่น กรณีการเกิดเหตุการณ์ความเศร้าสลดใจ อันเนื่องจากโรคมินามาตะ จากพิษของปรอท และโรคอิไต-อิไต จากพิษของแคดเมียม ในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น เหตุการณ์ดังกล่าวยังผลให้เกิดความตื่นตัว และตระหนักถึงการใช้โลหะหนักชนิดอื่นๆ ตามมาด้วย

นอกจากนี้โลหะหนักทุกชนิดหลังจากถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วท้ายที่สุดจะเข้าไปสะสมอยู่ในดินตะกอน โดยกระบวนการอันซับซ้อนทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา อย่างไรก็ตามโลหะหนักในดินตะกอนสามารถถูกปลดปล่อยหรือคายออกมากลับเข้าสู่แหล่งน้ำได้อีกโดยกระบวนการต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมแวดล้อม เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม ศักย์ไฟฟ้า (Eh) สารอินทรีย์ในน้ำ และ chelating agents เป็นต้น โลหะหนักที่ถูกปล่อยหรือคายออกจากดินตะกอนสามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำ และสะสมได้ในห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นดินตะกอนจึงเปรียบเสมือนเป็นทั้งแหล่งฝังจม (sink) และแหล่งปลดปล่อย (source) โลหะหนักในแหล่งน้ำ การศึกษาปริมาณโลหะหนัก

จึงควรได้มีการตรวจวัดทั้งในน้ำและดินตะกอนเพื่อช่วยในการวางแผนและป้องกันอันตรายหาก ตรวจพบในปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์ปกติหรือสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำและดินตะกอน

การศึกษาโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกได้มีการศึกษาไว้ค่อนข้างมากพอสมควร อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวควรที่จะดำเนินการต่อไปเป็นประจำทุกระยะเพื่อติดตามสถานการณ์ที่เป็นปัจจุบัน โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรมและแหล่งเพาะเลี้ยงที่สำคัญในภาคตะวันออก เพื่อจะได้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงผลกระทบจากการพัฒนาอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม รวมทั้งเพื่อหาแนวทางป้องกันปัญหาภาวะมลพิษจากโลหะหนักที่อาจจะเกิดมากขึ้นในอนาคต สำหรับการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล และดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ตลอดจนศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโลหะหนักตามฤดูกาลโดยโลหะหนักที่ทำการศึกษาได้แก่ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล เหล็ก และ แมงกานีส

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักกับคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนบางประการ

3. เพื่อประเมินปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล และดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก โดยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าตัวขึ้นไป จัดเป็นสารมลพิษกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญมาก พบอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ทั้งในน้ำ ดิน และอากาศ ตลอดจนได้มาจากการสังเคราะห์ขึ้นมาของมนุษย์เพื่อนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรม

โลหะหนักในแหล่งน้ำ สามารถพบได้ในรูปแบบต่างๆ ดังนี้ (Huang et al. 1977 อ้างตาม Demayo et al., 1979)

1. สารละลาย (dissolved) ได้แก่ ในรูปของ free ions และ complexes
2. ตะกอนแขวนลอย (particulates) ได้แก่

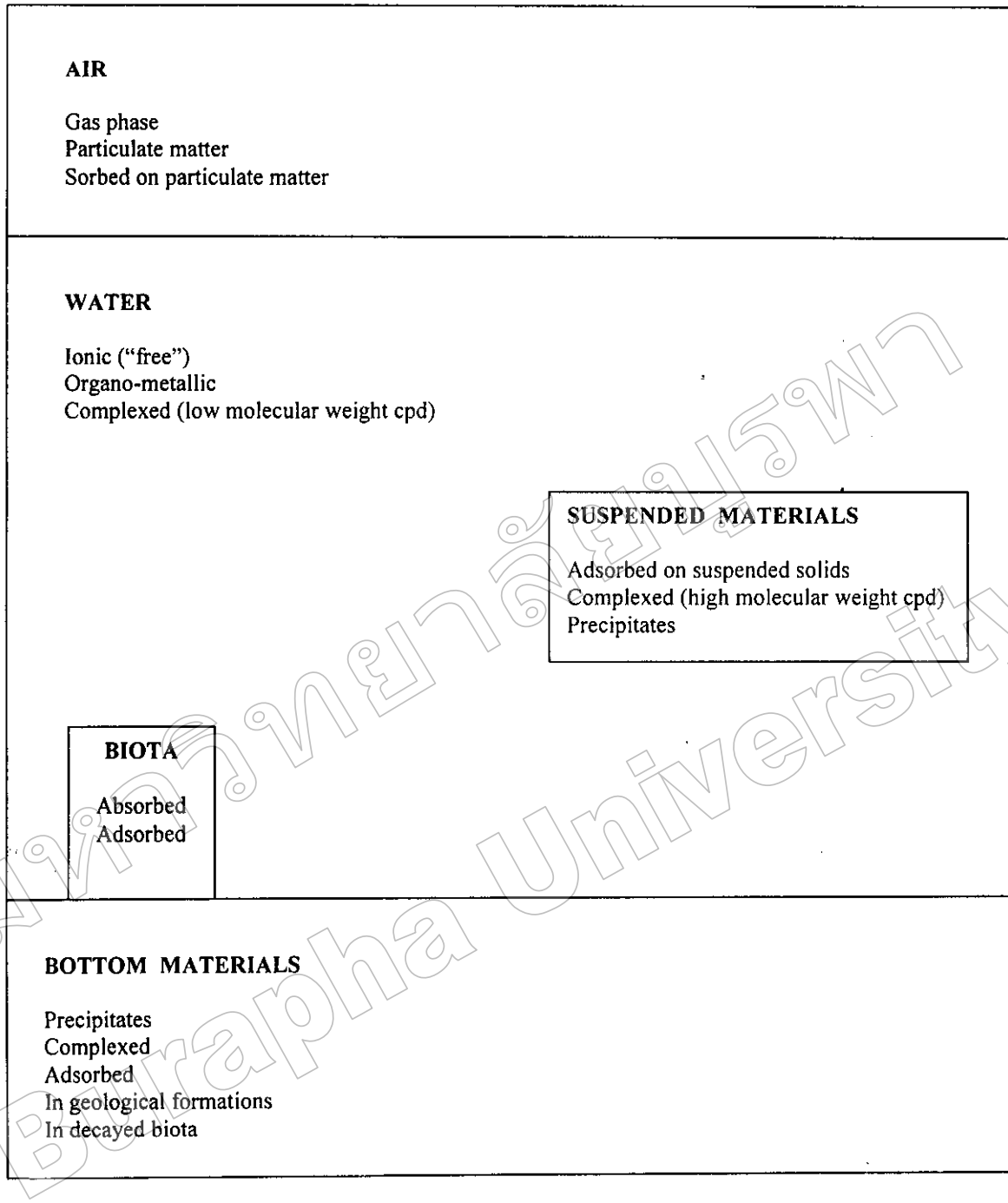
2.1 ตะกอนที่อยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร (inorganic precipitates) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของ hydroxides, sulphides, carbonates และ sulphates

2.2 ถูกดูดซับ หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high-molecular weight compounds) หรือ อนุภาคดินเหนียว (clay particles)

3. ถูกดูดซับ หรือ ผสม (mixed) อยู่ในดินตะกอนใต้พื้นท้องน้ำ
4. อยู่ในสิ่งมีชีวิต (incorporated or adsorbed)

รูปแบบต่างๆของโลหะหนักที่อาจพบได้ในน้ำ ดิน และอากาศ แสดงไว้ในภาพที่ 1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 1 รูปแบบของโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม (Demayo et al., 1979)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาเกี่ยวกับโลหะหนักในน้ำทะเล และดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกมีหลายหน่วยงานทำการศึกษาไว้ ในรายงานฉบับนี้ได้รวบรวมผลการศึกษาบางส่วนไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจากรายงานการศึกษาต่างๆ ที่ผ่านมา

พื้นที่	ปีที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ($\mu g\ L^{-1}$)						เอกสารอ้างอิง
		Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe	
อ่างศิลา จ. ชลบุรี	ม.ค - ธ.ค 2522	6.0	0.6	3.9	2.4	17.8	-	มนูวดี และ
อ. ขลุง จ. จันทบุรี	ม.ค - พ.ย 2522	6.1	0.7	4.4	2.7	18.6	-	สิทธิพันธ์ (2524)
อ. กาญจนดิษฐ์	ม.ค - ก.ย 2522	6.0	0.5	6.8	2.7	19.3	-	
จ. สุราษฎร์ธานี								
แหลมฉบัง	พ.ย 2523 - มิ.ย 2524	5.58	1.50	3.44	5.28	-	-	ชลัญญา และ
								สุวรรณี (2525)
ปากแม่น้ำบางปะกง	เม.ย 2522 - มี.ค 2523	11.8	1.88	2.2	27.1	-	-	สุธรรม และ
								สุวรรณี (2527)
ปากแม่น้ำบางปะกง	2524	-	-	0.19	0.07	0.31	0.14	กองอนามัยสิ่ง
	2525	0.09	0.01	0.18	0.05	0.24	2.30	แวดล้อม (2527)
	2526	0.04	0.002	0.14	0.01	0.27	2.61	
ปากแม่น้ำบางปะกง	ต.ค 2528 - ก.ย 2529	2.34	1.16	2.09	3.73	-	-	สุวรรณี (2530)
อ่าวระยอง	ม.ค - พ.ย 2530	0.48	-	9.69	2.22	-	-	พัชรา (2532)
ชายฝั่งทะเล จ. ระยอง	ม.ค - พ.ย 2530	0.79	-	15.0	1.90	-	-	พัชรา (2531)
จันทบุรีและตราด								
ชายฝั่งทะเล จ. ชลบุรี ถึง	2536	0.3	0.05	13.6	1.5	-	-	Terai et al. (1995)
จ. ตราด (แสมสาร-								
บ้านหาดเล็ก)								
ปากแม่น้ำบางปะกง	ม.ค - ก.ค 2537	1.55	0.14	10.7	2.90	0.29	96.14	Petpiroon and
								Petpiroon (1996)
อ่าวไทยตอนบน	ก.ค 2536 - ส.ค 2537	5.32	0.476	-	2.89	1.99	-	Suthanaruk
								et al. (1996)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 1 (ต่อ)

พื้นที่	ปีที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในน้ำทะเล ($\mu g\ L^{-1}$)						เอกสารอ้างอิง
		Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe	
ชายฝั่งทะเล จ. ชลบุรี (เมืองใหม่ - ศรีราชา)	มิ.ย - ธ.ค 2535	5.2	0.02	1.9	1.2	2.6	12.1	แววตา และ คณะ (2540 ก)
	ม.ค - ธ.ค 2536	3.8	0.6	15	2.3	0.6	46.4	
	มี.ค - ธ.ค 2537	5.2	0.3	34	2.5	1.2	266	
มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 4 เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง		<50	<5	<100	<50	<100	<300	กรมควบคุม มลพิษ (2547 ก)

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจากรายงานการศึกษาต่างๆที่ผ่านมา

พื้นที่	ปีที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอน ($\mu g\ g^{-1}$ dry weight)						เอกสารอ้างอิง
		Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe	
อ่างศิลา จ. ชลบุรี	ม.ค - ธ.ค 2522	10.5	1.0	37.7	5.1	57.0	-	มนูวดี และ สิทธิพันธ์ (2524)
ปากแม่น้ำบางปะกง	เม.ย 2522 – มี.ค 2523	18.8	0.26	54.4	13.3	-	-	สุธรรม และ สุวรรณี (2527)
ปากแม่น้ำบางปะกง	2525	14.3	nil	45.3	11.71	2,040	11,250	กองอนามัย สิ่งแวดล้อม (2527)
บางแสน	ต.ค 2525 -	4.65	-	19.5	5.62	-	-	อรพินธ์ (2527)
ศรีราชา	ก.ย 2526	4.31	-	14.7	4.77	-	-	
ปากแม่น้ำบางปะกง	ต.ค 2528 – ก.ย 2529	6.80	1.02	3.46	2.86	-	-	สุวรรณี (2530)
อ่าวระยอง	ม.ค - พ.ย 2530	2.32	-	9.53	2.44	-	-	พัชรา (2532)
ชายฝั่งทะเล จ. ระยอง จันทบุรีและตราด	ม.ค - พ.ย 2530	5.13	-	14.52	3.68	-	-	พัชรา (2531)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2 (ต่อ)

พื้นที่	ปีที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอน ($\mu g\ g^{-1}$ dry weight)						เอกสารอ้างอิง
		Pb	Cd	Zn	Cu	Mn	Fe	
ชายฝั่งทะเล จ. ชลบุรี ถึง จ. ตราด (แสมสาร-บ้านหาดเล็ก)	2536	3.0	0.14	23.3	8.6	-	-	Terai et al. (1995)
อ่าวไทยตอนใน และอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ถึง จ. สุราษฎร์ธานี	ม.ค - ก.ค 2536	12.88	0.45	26.40	13.89	-	-	สุวรรณี (2537)
ปากแม่น้ำบางปะกง	ม.ค - ก.ค 2537	15.82	0.16	41.59	11.58	945.5	1.74 (%)	Petpiroon and Petpiroon 1996)
ชายฝั่งทะเล จ. ชลบุรี (เมืองใหม่ - ศรีราชา)	มิ.ย - ธ.ค 2535	9.1	0.27	22.6	12.6	364	1,255	แววตา และคณะ (2540 ก)
	ม.ค - ธ.ค 2536	9.5	0.05	19.3	9.3	441	4,937	
	มี.ค - ธ.ค 2537	7.3	ND	24.2	7.6	616	9,481	
ปากแม่น้ำบางปะกง – ศรีราชา	ก.ค - ธ.ค 2540	13.6	0.02	32.5	8.1	481	6,982	แววตา และคณะ (2540 ข)
ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในดินตะกอนของโลก		20	0.3	1,000	192	-	-	อำไพ และคณะ (2524)
Severn Estuary (U.K.) (polluted sediments)		119.0	-	280.0	38.0	1,820	4.5 (%)	Chester and Stoner (1975) อ้างตาม Petpiroon and Petpiroon (1996)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่าง

กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด ตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา จนถึง ปากแม่น้ำตราด จ. ตราด โดยให้ครอบคลุมพื้นที่การใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่สำคัญของภาคตะวันออกใน จ. ชลบุรี จันทบุรี และตราด และพื้นที่อุตสาหกรรม 2 บริเวณ คือ แหลมฉบังและมาบตาพุด รวมทั้งสิ้น 52 สถานี โดยกำหนดสถานีเป็น 2 ประเภท

ก. สถานีใกล้ฝั่ง (ระยะห่างจากฝั่ง ประมาณ 100-500 เมตร หรือเข้าไปจากปากแม่น้ำประมาณ 1 กิโลเมตร) เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักจากแหล่งกำเนิดมลพิษบริเวณชายฝั่ง รวมทั้งในบริเวณปากแม่น้ำ และลำคลองต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเล

ข. สถานีไกลฝั่ง (ระยะห่างฝั่งประมาณ 1,000 เมตร หรือ จากปากแม่น้ำลงไปในทะเลประมาณ 1 กิโลเมตร) เพื่อศึกษาการกระจายของโลหะหนักจากแหล่งต่างๆ

รายละเอียดการจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ชายฝั่งและสถานีเก็บตัวอย่างรวมทั้งพิกัดทางภูมิศาสตร์ซึ่งได้ทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องตรวจวัดพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Garmin- GPS 12 global positioning system) แสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

พื้นที่	รหัสสถานี	สถานี	ระยะห่างฝั่ง	ละติจูด	ลองติจูด	การใช้ประโยชน์พื้นที่
Zone A	A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	n	N 13° 29' 30.4"	E100°59'52.4"	การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
ปากแม่น้ำบางปะกง -	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	o	N 13°26'50.2"	E 100°57'03.5"	(หอยนางรม หอยแมลงภู่
อ่างศิลา	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	o	N 13°27'01.9"	E 100°57'19.9"	ปลาในกะชัง)
	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	o	N 13°26'42.5"	E 100°57'23.1"	
	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	n	N 13°21'09.2"	E 100°58'33.2"	
	A2.1	ห้วยกะปิ	o	N 13°21'32.8"	E 100°56'44.0"	
	A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	n	N 13°20'16.7"	E 100°55'30.2"	
	A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	o	N 13°19'22.6"	E 100°54'48.6"	
Zone C	C1.1	บางพระ	o	N 13°12'26.3"	E 100°55'02.7"	อุตสาหกรรมขนาดกลาง
แหลมฉบัง	C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	n	N 13°10'04.8"	E 100°55'30.1"	และท่าเรือน้ำลึก
(บางพระ - นาเกลือ)	C2.1	ผาแดง	o	N 13°08'57.7"	E 100°53'44.1"	
	C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	n	N 13°07'24.7"	E 100°53'49.6"	
	C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	o	N 13°04'39.5"	E 100°51'54.7"	
	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	n	N 13°03'57.6"	E 100°53'54.0"	
	C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	o	N 13°02'31.9"	E 100°53'19.6"	
	C5	โรงโป๊ะ (ใน)	n	N 13°01'00.7"	E 100°55'35.9"	
	C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	o	N 12°59'20.7"	E 100°54'05.8"	
	C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	n	N 12°58'20.2"	E 100°54'20.7"	
	C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	o	N 12°58'35.3"	E 100°53'16.7"	

Burapha University

ตารางที่ 3 (ต่อ)

พื้นที่	รหัสสถานี	สถานี	ระยะห่างฝั่ง	ละติจูด	ลองติจูด	การใช้ประโยชน์พื้นที่
Zone E	E1	หนองแฟบ	n	N 12°40'26.6"	E 101°07'28.0"	นิคมอุตสาหกรรม
มาบตาพุด	E1.1	ปลายท่าเรือ	o	N 12°38'00.3"	E 101°07'42.7"	
(มาบตาพุด - ปากแม่น้ำระยอง)	E2	มาบตาพุด (โรงงานปิโตรเคมี)	n	N 12°38'22.4"	E 101°08'53.6"	
	E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	o	N 12°38'11.6"	E 101°09'59.9"	
	E3	หาดทรายทอง	n	N 12°39'52.5"	E 101°10'04.6"	
	E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	n	N 12°39'54.6"	E 101°11'05.0"	
	E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	o	N 12°39'29.4"	E 101°11'53.6"	
	E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	n	N 12°39'21.7"	E 101°16'48.5"	
	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	o	N 12° 38'46.5"	E 101°17'00.8"	
	E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	o	N 12° 38'59.9"	E 101°17'13.7"	
	E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	o	N 12°39'04.2 "	E 101°16'38.4"	
Zone G	G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	n	N 12°42'40.3"	E 101°42'22.0"	การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
จันทบุรี - ตราด	G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	o	N 12°41'01.2"	E 101°42'28.3"	และประมงชายฝั่ง
(ปากแม่น้ำประแสร์ -	G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	o	N 12°41'12.9"	E 101°42'30.9"	
ปากแม่น้ำตราด)	G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	o	N 12°41'13.7"	E 101°42'26.1"	
	G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	n	N 12°41'48.5"	E 101°47'34.9"	
	G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	o	N 12°40'49.6"	E 101°46'51.4"	
	G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	o	N 12°41'00.4"	E 101°47'13.1"	
	G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	o	N 12°41'05.9"	E 101°46'45.9"	

Burapha University

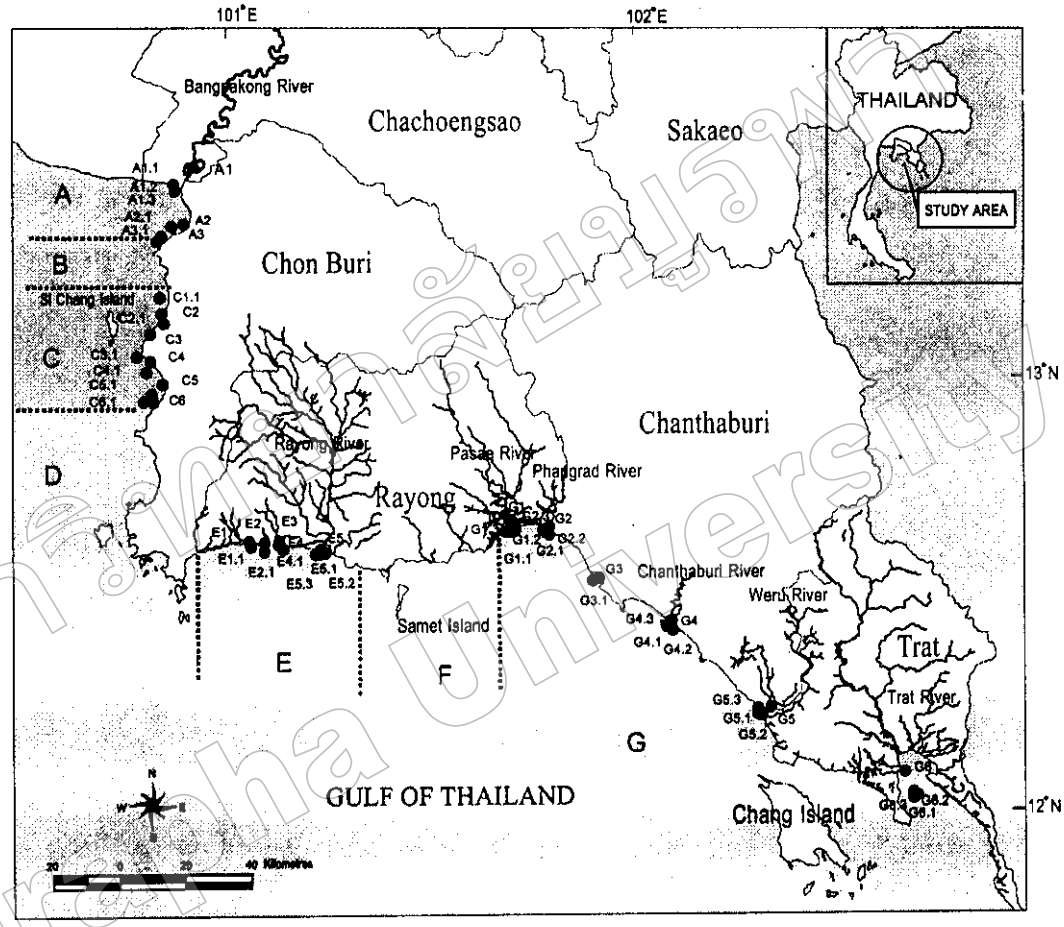
ตารางที่ 3 (ต่อ)

พื้นที่	รหัสสถานี	สถานี	ระยะห่างฝั่ง	ละติจูด	ลองติจูด	การใช้ประโยชน์พื้นที่
Zone G	G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	n	N 12°35'04.8"	E 101°53'52.6"	การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
จันทบุรี - ตราด	G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	o	N 12°34'56.1"	E 101°53'23.2"	และประมงชายฝั่ง
(ปากแม่น้ำประแสร์ -	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	n	N 12°29'33.2"	E 102°03'52.7"	
ปากแม่น้ำตราด)	G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	o	N 12°27'58.2"	E 102°03'57.2"	
	G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	o	N 12°28'09.6"	E 102°04'13.0"	
	G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	o	N 12°28'14.7"	E 102°03'52.4"	
	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	n	N 12°18'00.1"	E 102°17'03.9"	
	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	o	N 12°17'55.5"	E 102°15'51.1"	
	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	o	N 12°17'42.6"	E 102°15'29.4"	
	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	o	N 12°18'04.0"	E 102°15'25.8"	
	G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	n	N 12°09'27.5"	E 102°34'59.7"	
	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	o	N 12°06'11.1"	E 102°36'30.1"	
	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	o	N 12°07'01.4"	E 102°36'06.3"	
	G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	o	N 12°06'38.1"	E 102°36'16.0"	

หมายเหตุ : n คือ สถานีใกล้ฝั่ง (ระยะห่างจากฝั่งประมาณ 100 –5 00 เมตร หรือจากปากแม่น้ำลึกเข้าไป ประมาณ 1 กิโลเมตร)

o คือ สถานีไกลฝั่ง (ระยะห่างจากฝั่งหรือจากปากแม่น้ำออกสู่ทะเล ประมาณ 1,000 เมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน (◉)บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. การเก็บตัวอย่างและรักษาสภาพตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำทะเล และดินตะกอน รวม 2 ครั้ง คือในฤดูน้ำน้อยหรือฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูน้ำมากหรือฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

ตัวอย่างน้ำทะเลเก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ทำด้วยโลหะ (Non Metallic Water Sample Mod. 1080 Series GO-FLO) เก็บตัวอย่างสถานีละ 3 ซ้ำแยกอิสระจากกัน นำน้ำที่เก็บได้ถ่ายลงในขวดพลาสติกชนิด polypropylene (Nalgene) ซึ่งได้ผ่านการล้างด้วยกรดไนตริก 10 % เรียบร้อยแล้ว หุ้มขวดตัวอย่างด้วยถุงพลาสติก 2 ชั้นและแช่ไว้ในถังแช่เย็น นำกลับมายังห้องปฏิบัติการแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น (Merck suprapure HNO_3) ทันทีเพื่อปรับ pH ของน้ำให้ได้ประมาณ 3 ก่อนนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป สำหรับตัวอย่างน้ำทะเลที่นำมาวิเคราะห์หาปรอทให้เก็บในขวดแก้วไพเร็กซ์ที่มีฝารองในเป็น Teflon หุ้มด้วยถุงพลาสติก 2 ชั้นและแช่ในถังแช่เย็น นำกลับมายังห้องปฏิบัติการแล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Merck suprapure HCl) ทันทีเพื่อให้ pH ของน้ำต่ำกว่าหรือเท่ากับ 2 ($pH \leq 2$) และเก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (การนำตัวอย่างกลับมายังห้องปฏิบัติการดำเนินการภายในวันเดียวกับวันที่ออกเก็บตัวอย่างทุกครั้ง)

ตัวอย่างดินตะกอน เก็บโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างดินที่ดัดแปลงมาจากแบบของ Petersen grab โดยเก็บที่ผิวหน้าดินตะกอนลึกประมาณ 0-5 เซนติเมตร สถานีละ 3 ซ้ำ แล้วนำมารวมเป็นตัวอย่างเดียวกัน (composite sample) ใส่ถุงพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็ง และทำให้แห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งด้วยความเย็น (freeze dryer) ร่อนผ่านตะแกรงร่อนพลาสติกขนาด 1 มิลลิเมตร หลังจากนั้นบดตัวอย่างดินตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย agate mortar เก็บใส่ขวดพลาสติกไว้ในตู้ดูดความชื้น และเก็บตัวอย่างดินที่ร่อนแล้วไว้อีกส่วนหนึ่งโดยไม่ต้องบดให้ละเอียดเพื่อนำมาหาลักษณะของเนื้อดินตะกอน (sediment texture)

นอกจากนี้ในแต่ละสถานีได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำพื้นฐานบางประการ ณ จุดที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ และความโปร่งแสง รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนแขวนลอย (suspended solid) ตามวิธีของ APHA, AWWA & WPCF (1992) และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำโดยวัดในรูปของ Fluorescence intensity unit (DOC Fluorescence) ตามวิธีของ Hayase and Tsubota (1985)

3. การวิเคราะห์โลหะหนัก

โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปรอท (Hg) แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) นิเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) และ แมงกานีส (Mn) โดยศึกษาในรูปของปริมาณโลหะรวม (total metal) การวิเคราะห์โลหะหนักทั้งในน้ำทะเล และดินตะกอน ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
Burapha University

3.1 การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเล

การวิเคราะห์ปรอท ทำการสกัดและเตรียมตัวอย่างโดยใช้วิธี BrCl oxidation วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS) และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Fluorescence Spectrophotometer Model Merlin (P.S. Analytical Ltd.)

สำหรับโลหะหนักชนิดอื่น ได้ทำการเตรียมความเข้มข้น (preconcentration) โดยใช้วิธี cobalt-APDC coprecipitation techniqe ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Huizenga (1981) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) พร้อมด้วย Zeeman background correction และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model 4110ZL (Perkin-Elmer, Connecticut, USA)

3.2 การวิเคราะห์โลหะหนักในดินตะกอน

การวิเคราะห์ปรอท ทำการย่อยสลายตัวอย่างดินตะกอน 0.5 กรัมด้วยส่วนผสมของ 9:1 HNO_3/HCl ตามวิธีของ Randlesome and Aston (1980) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) ระบบ Flow Injection Mercury Hydried System (FI-MHS) Model FIAS 100 ใช้ 0.2 % $NaBH_4$ in 0.05 % NaOH เป็น reducing agent และ 3% (v/v) HCl เป็น carrier solution และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model 4110ZL (Perkin-Elmer, Connecticut, USA)

ส่วนโลหะหนักชนิดอื่น ทำการย่อยสลายตัวอย่างดินตะกอน 0.25 กรัม ด้วย aqua regia (HNO_3: HCl, 1:3 v/v) 1 mL และ HF 3 mL ใน Microwave pressure cooker ตามวิธีของ Loring and Rantala (1992) วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) พร้อมด้วย Deuterium background correction และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model AAnalyst 100 (Perkin-Elmer, Connecticut, USA) ยกเว้นโลหะแคดเมียม และตะกั่ว วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry พร้อมด้วย Zeeman background correction และวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model 4110ZL (Perkin-Elmer, Connecticut, USA)

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนตามวิธีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (method detection limit: MDL) โดยคำนวณจาก 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ method blank จำนวน 6-10 ซ้ำ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 ค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอน

Heavy Metal	Method Detection Limit	
	Seawater ($\mu g\ L^{-1}$)	Sediment ($\mu g\ g^{-1}$ dry weight)
Hg	0.002	0.004
Cd	0.004	0.006
Pb	0.017	0.62
Zn	0.054	1.28
Cu	0.021	1.92
Ni	0.023	0.64
Fe	0.40	0
Mn	0.004	19.0

4. การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ (Quality control)

การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนได้ทำการศึกษา ดังนี้ ตัวอย่างน้ำทะเลควบคุมคุณภาพโดยการตรวจสอบความถูกต้องกับน้ำทะเลมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (Nearshore Seawater Reference Material: CASS-4) ของ National Research Council of Canada (ตารางที่ 5) และดินตะกอนตรวจสอบความถูกต้องกับดินตะกอนทะเลมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (Marine Sediment Reference Material: MESS-3) ของ National Research Council of Canada (ตารางที่ 6) นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ (precision) โดยคำนวณหาค่า % RSD (Relative Standard Deviation) ด้วย ยกเว้นปรอทและตะกั่วในน้ำทะเล เนื่องจากไม่มีการกำหนดค่าของปรอทไว้ในน้ำทะเลมาตรฐาน และค่ารับรอง (certified value) ของตะกั่วในน้ำทะเลมาตรฐานต่ำกว่าค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งสองในน้ำทะเลโดยการหาค่า % recovery หลังจากที่เติมสารละลายมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างน้ำทะเล ซึ่งผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 7

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์น้ำทะเลมาตรฐาน (Nearshore Seawater Reference Material: CASS-4)

Heavy Metal	Certified Value ($\mu g\ L^{-1}$)	Measured Value ($\mu g\ L^{-1}$)	% Recovery	% RSD
Cd	0.026 ± 0.003	0.027 ± 0.004 (n=3)	83.6 -116.3	14.8
Pb	0.0098 ± 0.0036	nd (< 0.0025)	-	-
Zn	0.381 ± 0.057	0.377 ± 0.014 (n=4)	94.9 -101.8	3.7
Cu	0.592 ± 0.055	0.524 ± 0.009 (n=4)	86.2 - 89.9	1.7
Ni	0.314 ± 0.030	0.297 ± 0.005 (n=3)	93.6 - 96.7	1.7
Fe	0.713 ± 0.058	0.659 ± 0.057 (n=4)	81.6 - 100.6	8.7
Mn	2.78 ± 0.19	2.42 ± 0.12 (n=3)	82.5 - 90.7	4.8

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนทะเลมาตรฐาน (Marine Sediment Reference Material: MESS-3)

Heavy Metal	Certified Value ($\mu g\ g^{-1}$ dry weight)	Measured Value ($\mu g\ g^{-1}$ dry weight)	% Recovery	% RSD
Hg	0.091 ± 0.009	0.098 ± 0.009 (n=5)	98.9 - 124.2	9.4
Cd	0.24 ± 0.01	0.26 ± 0.02 (n=5)	94.5 - 118.2	7.7
Pb	21.1 ± 0.7	18.6 ± 0.7 (n=3)	84.0 - 90.4	3.8
Zn	159 ± 8	150.0 ± 1.3 (n=5)	93.6 - 95.3	0.9
Cu	33.9 ± 1.6	38.1 ± 3.2 (n=5)	105.2 - 128.0	8.4
Ni	46.9 ± 2.2	39.5 ± 1.8 (n=4)	78.9 - 87.9	4.5
Fe	43,400 ± 1100	44,182 ± 285 (n=5)	100.8 - 102.5	0.7
Mn	323 ± 12	265.2 ± 27.6 (n=5)	72.7 - 88.6	10.4

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 7 % Recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณปรอทและตะกั่วในน้ำทะเล (n = 5)

Heavy Metal	Conc. Added ($\mu g\ L^{-1}$)	Conc. Found ± SD ($\mu g\ L^{-1}$)	% Recovery
Hg	0	0.0028 ± 0.0003	
	0.005	0.0078 ± 0.0005	99.5
	0	0.0042 ± 0.0002	
	0.05	0.0561 ± 0.0024	104.1
Pb	0	0.171 ± 0.071	
	0.1	0.269 ± 0.118	98.0
	0	0.171 ± 0.071	
	1.0	1.042 ± 0.136	87.1

5. การวิเคราะห์คุณภาพดินตะกอน

คุณภาพดินตะกอนบางประการที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความจุในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก (CEC) ปริมาณสารอินทรีย์ ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส เปอร์เซ็นต์ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว (particle size distribution) และลักษณะของเนื้อดิน (sediment texture) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ รายละเอียดของวิธีวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คุณภาพดินตะกอนบางประการที่ทำการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์

Parameter	Method of Analysis	Reference
Sediment pH	pH meter (1:2.5 sediment: water)	
Cation exchange capacity (CEC)	Ammonium acetate saturation	กองปฐพี (2537)
Organic matter	Acid-dichromate oxidation	Nelson and Sommers (1982)
Calcium carbonate	Gravimetric method for loss of carbon dioxide	Goh et al. (1993)
Total Fe and Mn oxides	Dithionite-citrate method	Ross and Wang (1993)
Particle size distribution	Hydrometer method	Sheldrick and Wang (1993)
Sediment texture	Textural triangle	Hillel (1998)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลและวิจารณ์ผล

1. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล

1.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลที่ตรวจพบและการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

การสำรวจการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา ถึง ปากแม่น้ำตราด จ. ตราด รวม 52 สถานี จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และพื้นที่อุตสาหกรรม ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) โดยศึกษาโลหะหนักรวม 8 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส พบว่ามีค่าต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยตลอดปี ดังแสดงในตารางที่ 9 สำหรับค่าที่ตรวจพบในแต่ละสถานีแสดงไว้ในภาพที่ 3 - 6 และมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

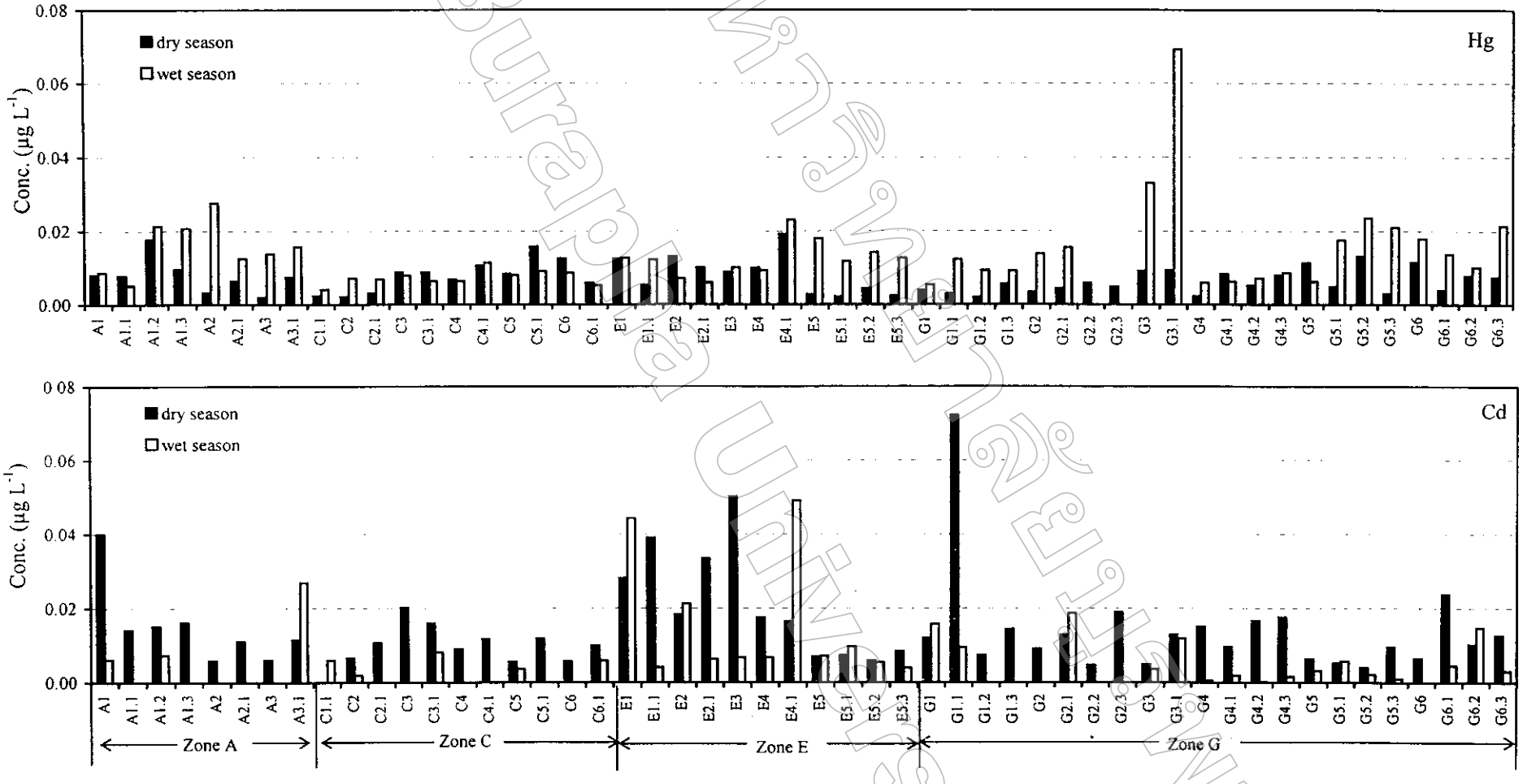
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 9 ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

Zone	Heavy Metal	Standard* ($\mu g\ L^{-1}$)	Dry season ($\mu g\ L^{-1}$)		Wet season ($\mu g\ L^{-1}$)		Year Average ($\mu g\ L^{-1}$)
			Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	
Zone A	Hg	0.1	0.002 – 0.018	0.008 ± 0.005	0.005 – 0.028	0.016 ± 0.007	0.012
ปากแม่น้ำบางปะกง -	Cd	5	0.006 – 0.040	0.015 ± 0.011	< 0.004 – 0.027	0.005 ± 0.009	0.010
อ่างศิลา	Pb	50	0.29 – 0.72	0.53 ± 0.17	0.16 – 0.73	0.44 ± 0.23	0.49
(8 สถานี)	Zn	100	< 0.054 - 0.12	0.076 ± 0.040	0.25 – 22.63	3.85 ± 7.62	1.96
	Cu	50	0.78 - 1.92	1.35 ± 0.37	1.12 – 1.97	1.54 ± 0.33	1.45
	Ni	-	0.82 - 4.37	1.86 ± 1.09	0.89 – 2.69	1.94 ± 0.76	1.90
	Fe	300	72.64 – 401.0	219.4 ± 124.9	86.48 – 681.5	374.0 ± 245.5	296.7
	Mn	100	20.22 – 94.87	65.78 ± 27.73	13.16 – 95.74	52.19 ± 36.32	58.99
Zone C	Hg	0.1	0.002 – 0.016	0.008 ± 0.004	0.004 – 0.011	0.007 ± 0.002	0.008
แหลมฉบัง	Cd	5	< 0.004 – 0.020	0.010 ± 0.005	< 0.004 – 0.008	< 0.004	0.006
(บางพระ - นาเกลือ)	Pb	50	0.115 – 0.814	0.35 ± 0.23	0.11 – 0.74	0.26 ± 0.22	0.31
(11 สถานี)	Zn	100	0.10 – 1.16	0.33 ± 0.30	0.40 – 9.76	2.46 ± 2.69	1.40
	Cu	50	0.50 – 1.40	0.81 ± 0.31	0.50 – 1.89	0.88 ± 0.41	0.85
	Ni	-	0.33 – 0.51	0.41 ± 0.07	0.51 – 0.99	0.64 ± 0.13	0.53
	Fe	300	15.24 – 280.2	82.52 ± 81.77	13.63 – 181.4	50.45 ± 55.22	66.49
	Mn	100	5.04 – 35.68	13.94 ± 9.91	1.73 – 24.49	7.39 ± 8.23	10.67
Zone E	Hg	0.1	0.002 - 0.019	0.008 ± 0.005	0.006 - 0.023	0.012 ± 0.005	0.010
มาบตาพุด	Cd	5	0.006 – 0.050	0.021 ± 0.015	0.004 – 0.049	0.015 ± 0.016	0.018
(มาบตาพุด - ปากแม่น้ำ	Pb	50	0.21 – 0.63	0.44 ± 0.12	0.11 – 0.35	0.19 ± 0.07	0.32
ระยอง)	Zn	100	0.060 – 1.10	0.47 ± 0.33	0.42 – 1.93	0.94 ± 0.46	0.71
(11 สถานี)	Cu	50	0.30 – 0.98	0.56 ± 0.21	0.25 – 0.88	0.49 ± 0.20	0.53
	Ni	-	0.28 – 0.56	0.38 ± 0.09	0.18 – 0.38	0.28 ± 0.07	0.33
	Fe	300	10.97 – 131.9	57.52 ± 37.07	6.28 – 105.3	30.15 ± 27.17	43.8
	Mn	100	0.57 – 29.14	9.17 ± 7.85	0.74 – 14.66	4.20 ± 4.64	6.69
Zone G	Hg	0.1	0.002 – 0.013	0.006 ± 0.003	0.006 – 0.069	0.016 ± 0.014	0.011
จันทบุรี - ตราด	Cd	5	0.004 – 0.072	0.014 ± 0.014	< 0.004 – 0.019	0.005 ± 0.006	0.010
(ปากแม่น้ำประแสร์ -	Pb	50	0.21 – 2.58	0.78 ± 0.59	0.17 – 1.50	0.47 ± 0.37	0.63
ปากแม่น้ำตราด)	Zn	100	0.12 – 1.55	0.73 ± 0.50	0.23 – 1.29	0.57 ± 0.27	0.65
(22 สถานี)	Cu	50	0.37 – 2.39	0.82 ± 0.52	0.47 – 1.30	0.80 ± 0.22	0.81
	Ni	-	0.29 – 2.11	0.73 ± 0.51	0.35 – 0.87	0.56 ± 0.16	0.65
	Fe	300	98.91 – 1,394	468.9 ± 425.4	47.28 – 1,224	314.2 ± 250.9	391.6
	Mn	100	8.82 –134.3	51.56 ± 43.16	4.72 – 133.4	22.58 ± 28.91	37.07

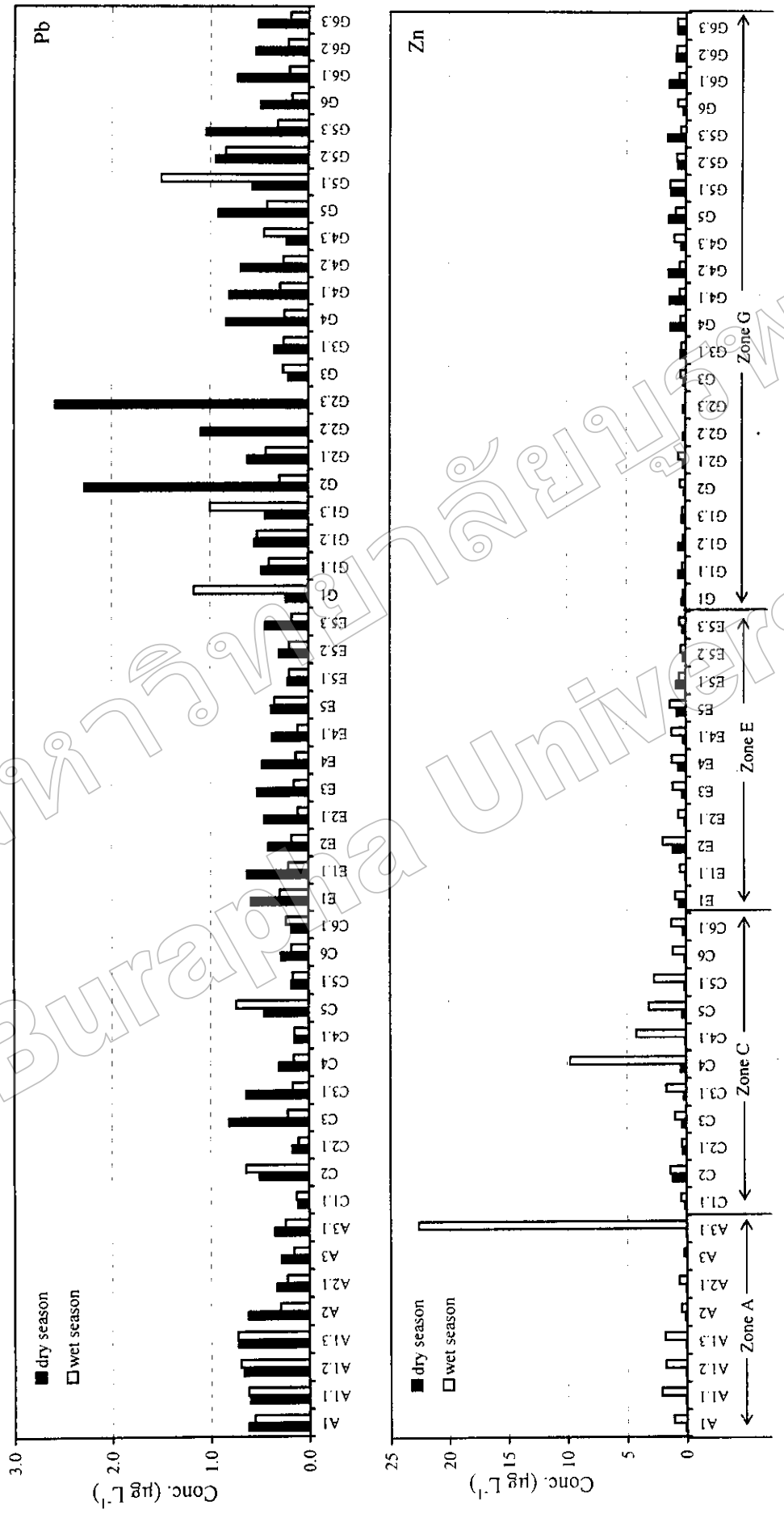
* มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547 ก) SD = standard deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



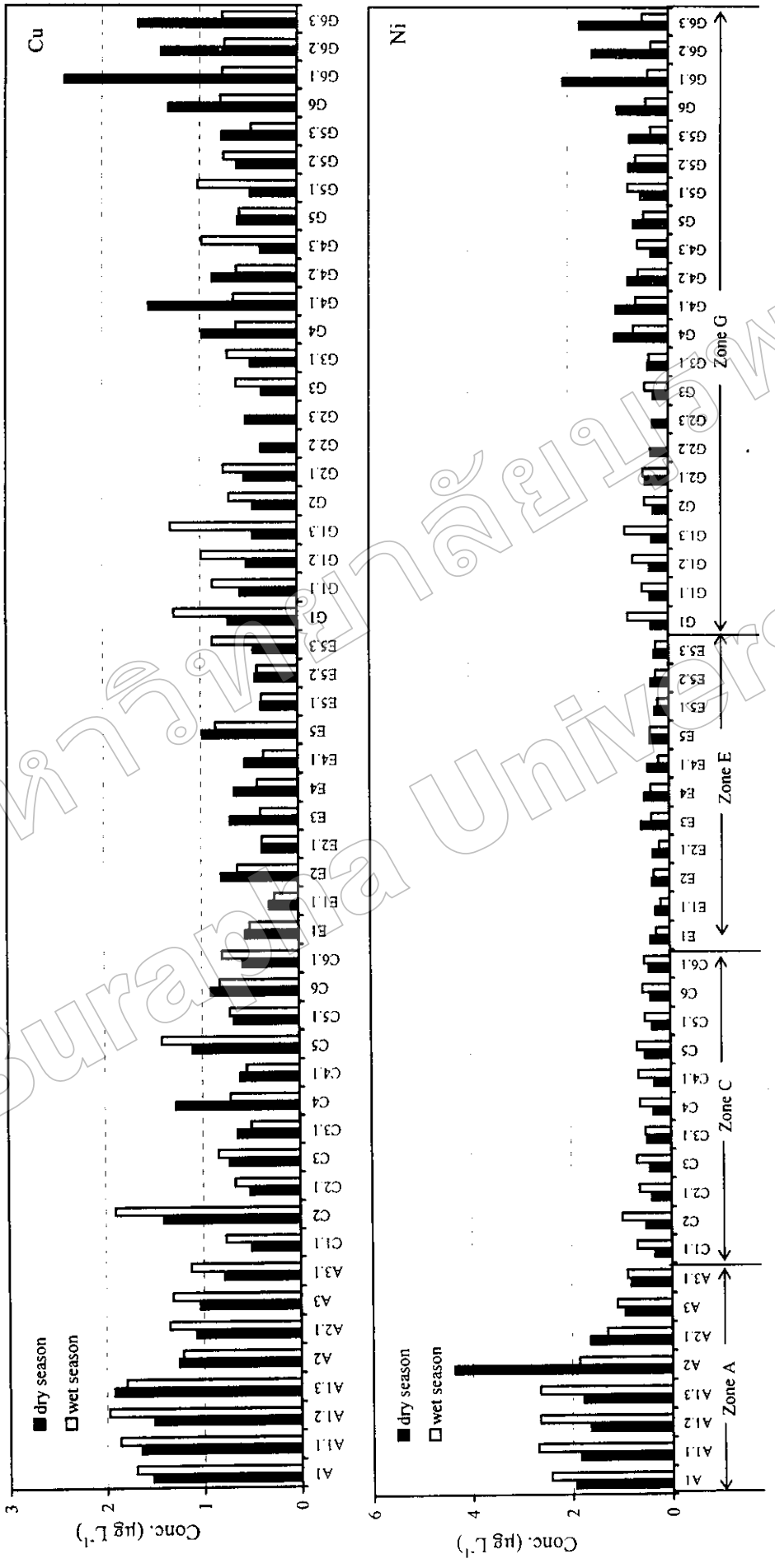
ภาพที่ 3 ปริมาณปรอท และแคดเมียม ในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



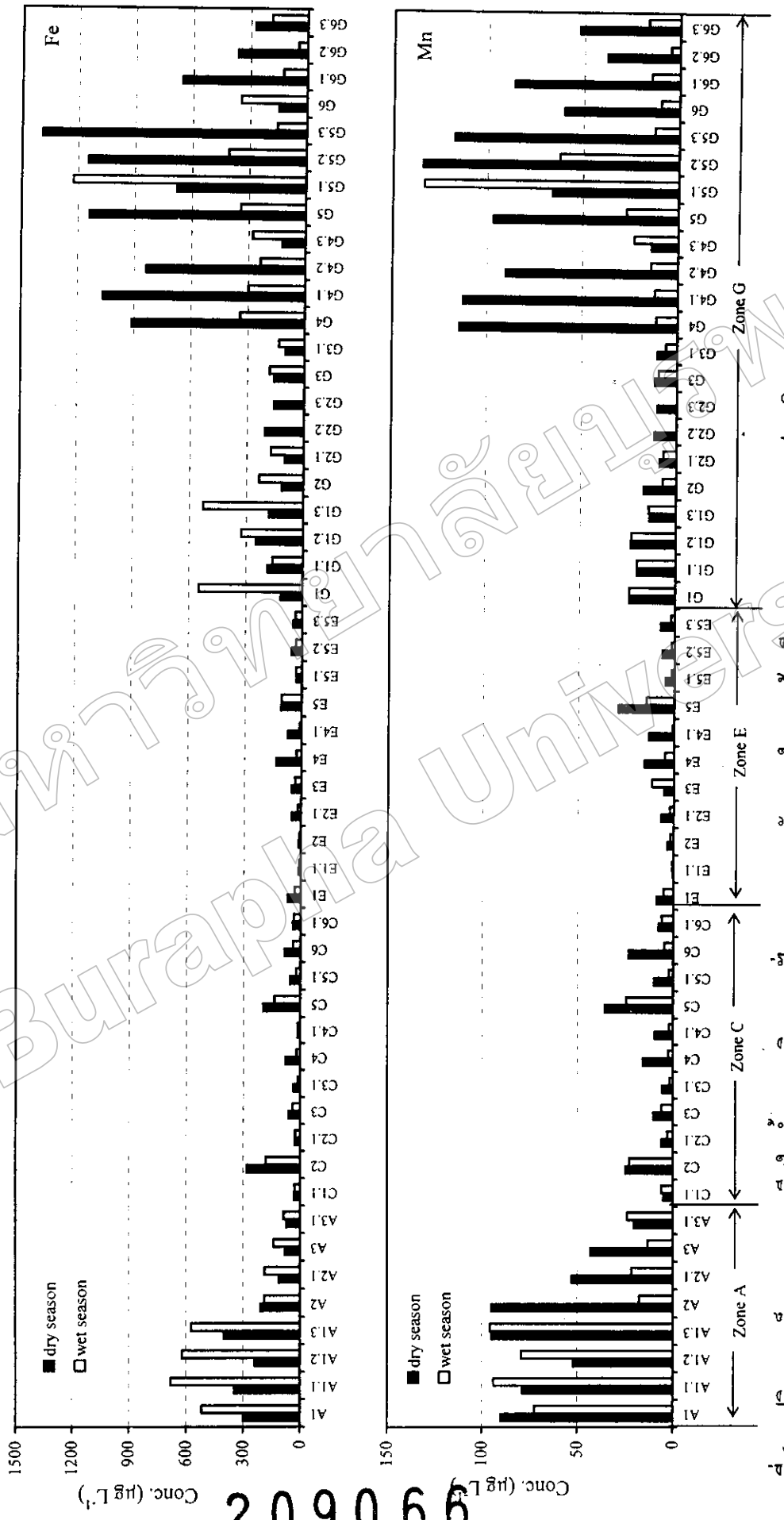
ภาพที่ 4 ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5 ปริมาณทองแดงและนิกเกิลในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 6 ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

209066
363.7394
ว469
ส6
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง พบว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้น เหล็กและแมงกานีสที่ตรวจพบว่ามีค่าสูงเกินมาตรฐาน โดยพบในบริเวณที่เป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งซึ่งส่วนใหญ่เป็นปากแม่น้ำสายสำคัญ (Zone A และ Zone G) ในฤดูแล้งตรวจพบเหล็กมีค่าสูงเกินมาตรฐานที่ปากแม่น้ำบางปะกง (A1.1, A1.3) ปากแม่น้ำจันทบุรี (G4, G4.1, G4.2) ปากแม่น้ำเวฬุ (G5, G5.1, G5.2, G5.3) และปากแม่น้ำตราด (G6.1, G6.2) ซึ่งค่าที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานมีค่าระหว่าง 347 - 1,394 ไมโครกรัม/ลิตร โดยค่าสูงสุดพบที่ปากแม่น้ำเวฬุ (G5.3) มีค่าสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 5 เท่า ส่วนในฤดูฝน พบเหล็กสูงเกินค่ามาตรฐานที่ปากแม่น้ำบางปะกง (A1, A1.1, A1.2, A1.3) ปากแม่น้ำประแสร์ (G1, G1.2, G1.3) ปากแม่น้ำจันทบุรี (G4) ปากแม่น้ำเวฬุ (G5, G5.1, G5.2) และปากแม่น้ำตราด (G6) โดยค่าที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานมีค่าระหว่าง 327 - 1,224 ไมโครกรัม/ลิตร และค่าสูงสุดพบที่ปากแม่น้ำเวฬุ (G5.1) มีค่าสูงกว่ามาตรฐานประมาณ 4 เท่า ทั้งนี้ค่าสูงสุดที่พบในฤดูฝนต่ำกว่าที่พบในฤดูแล้ง

สำหรับแมงกานีส ในฤดูแล้ง พบค่าสูงเกินมาตรฐานที่ปากแม่น้ำจันทบุรี (G4, G4.1) และปากแม่น้ำเวฬุ (G5.2, G5.3) มีค่าระหว่าง 113- 134 ไมโครกรัม/ลิตร โดยค่าสูงสุดพบที่ปากแม่น้ำเวฬุ (G5.2) ส่วนในฤดูฝนพบแมงกานีสสูงเกินค่ามาตรฐานที่ปากแม่น้ำเวฬุสถานีเดียว (G5.1) มีค่า 133 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับที่พบในฤดูแล้งและมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย (1.3 เท่า)

การตรวจพบเหล็กและแมงกานีสในน้ำทะเลสูงเกินค่ามาตรฐานในพื้นที่ที่เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งนั้นน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณของเหล็กและแมงกานีสที่มีอยู่มากในดินตะกอนรวมทั้งออกไซด์ของโลหะทั้งสองด้วยโดยเฉพาะพบในบริเวณปากแม่น้ำทั้ง 2 พื้นที่ (Zone A และ Zone G) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมบางประการจึงทำให้โลหะทั้งสองถูกปลดปล่อยหรือคายออกจากดินตะกอนเข้าสู่ชั้นน้ำ

การสำรวจคุณภาพน้ำทะเลในปี 2546 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบเช่นเดียวกันว่า การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลในอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้น เหล็กสูงเกินมาตรฐานบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จ. จันทบุรี (2,500 ไมโครกรัม/ลิตร) และปากคลองใหญ่ จ. ตราด (2,200 ไมโครกรัม/ลิตร) แมงกานีสสูงเกินมาตรฐานบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง (581ไมโครกรัม/ลิตร) และปากคลองใหญ่ จ. ตราด (122 ไมโครกรัม/ลิตร) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547 ข)

ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน และบริเวณที่ตรวจพบได้สรุปไว้ในตารางที่ 10 สำหรับโลหะหนักชนิดอื่นถึงแม้ว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่พบแคดเมียมสูงในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมโดยเฉพาะในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมากกว่าในพื้นที่อื่นๆ สาเหตุอาจเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่มีแคดเมียมปนอยู่จากบริษัทปุ๋ยที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเมื่อใช้ปุ๋ยที่มีแอมโมเนียผสมอยู่จะทำให้แคดเมียมละลายน้ำมากขึ้น (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541 อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ, 2546 ก) ส่วนตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และนิเกิล พบในพื้นที่

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรม โดยเฉพาะส่วนใหญ่พบในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา

เมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลจากการศึกษาครั้งนี้กับข้อมูลในอดีตย้อนหลัง 10-20 ปีที่ผ่านมา (ตารางที่ 1) พบว่า ปริมาณโลหะหนักในน้ำทะเลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าลดลง ยกเว้น เหล็กและแมงกานีส ซึ่งสาเหตุการลดลงน่าจะมาจากการปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น มีการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ รวมทั้งมีความระมัดระวังในการเก็บตัวอย่างเพื่อลดการปนเปื้อนในทุกขั้นตอน สำหรับเหล็กและแมงกานีสที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากการผุพังทลายของหินและชายฝั่งมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้เหล็กและแมงกานีสที่มีอยู่มากในเปลือกโลกละลายออกมา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 10 โลหะหนักในน้ำทะเลที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) และบริเวณที่ตรวจพบ (หน่วยเป็น ไมโครกรัม/ลิตร)

Heavy	Dry Season (March 2004)			Wet Season (August 2004)			Standard
Metal	Station		Conc.	Station		Conc.	Level*
Fe	**Zone A ปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา**						300
	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	347	A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	518	
	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	401	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	682	
				A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	621	
				A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	571	
	Zone G (ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)						
	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	912	G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	549	
	G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	1,065	G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	327	
	G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	838	G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	528	
	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	1,140	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	342	
	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	680	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	343	
	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	1,148	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	**1,224**	
	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	**1,394**	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	408	
	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	659	G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	347	
	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	366				
Mn	**Zone G (ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)**						100
	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	115	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	**133**	
	G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	113				
	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	134				
	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	118				

* เป็นค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งของไทย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.2 การเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

การเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ชายฝั่ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง 2 บริเวณ (Zone A และ Zone G) และพื้นที่อุตสาหกรรม 2 บริเวณ คือ แหลมฉบัง (Zone C) และมาบตาพุด (Zone E) และจำแนกตามฤดูกาลด้วย คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน (ภาพที่ 7) ใช้การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (2 way-ANOVA) พบว่ามีความแตกต่างในแต่ละชนิดของโลหะหนัก (ตารางที่ 11) ดังนี้

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆในน้ำทะเล จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์และฤดูกาล

Source of Variance	Sig.							
	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
Season	.000**	.003**	.000**	.000**	.594 NS	.738 NS	.154 NS	.000**
Zone	.266 NS	.013*	.000**	.093 NS	.000**	.000**	.000**	.000**
Season * Zone	.106 NS	.528 NS	.350 NS	.000**	.609 NS	.014*	.147 NS	.823 NS

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

NS ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปรอท พบว่า การปนเปื้อนในแต่ละพื้นที่การใช้ประโยชน์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีความแตกต่างในเรื่องของฤดูกาล โดยในฤดูฝนมีการปนเปื้อนสูงกว่าในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มพบว่าปรอทในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Zone A และ Zone G) ในฤดูฝนสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรม

แคดเมียม พบว่า การปนเปื้อนมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่การใช้ประโยชน์ พื้นที่อุตสาหกรรมมาบตาพุด (Zone E) มีปริมาณสูงสุด ส่วนอีก 3 พื้นที่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างกันอันเนื่องจากฤดูกาลด้วย โดยฤดูแล้ง พบการปนเปื้อนสูงกว่าในฤดูฝน

ตะกั่ว พบว่า มีความแตกต่างกันในพื้นที่การใช้ประโยชน์ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 2 บริเวณ (Zone A และ Zone G) ไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากพื้นที่อุตสาหกรรม (Zone C และ Zone E) โดยพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรม นอกจากนี้ฤดูกาลยังมีผลทำให้เกิดความแตกต่างกันด้วย โดยฤดูแล้งมีการปนเปื้อนสูงกว่าฤดูฝน ซึ่งคล้ายกับแคดเมียม

สังกะสี พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลแต่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ด้วย โดยในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (บางปะกง-อ่างศิลา) (Zone A) และพื้นที่อุตสาหกรรมแหลมฉบัง (Zone C) พบการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปนเปื้อนในฤดูฝนสูงกว่าฤดูแล้ง รวมทั้งยังมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรมมาบตาพุด (Zone E) และพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จ. จันทบุรี-ตราด (Zone G) ด้วย

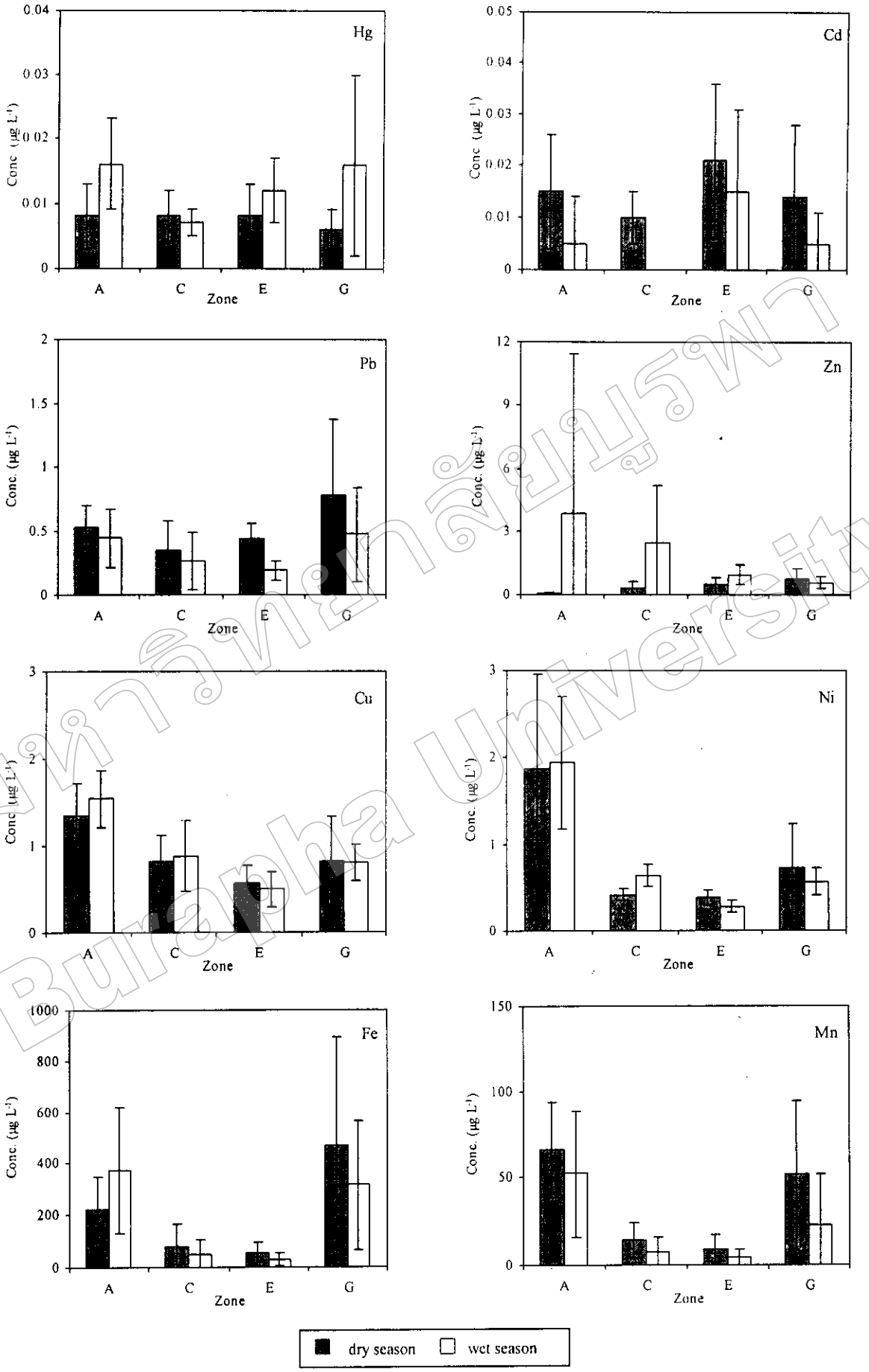
ทองแดง พบว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณที่ตรวจพบในน้ำทะเล แต่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Zone A) ตรวจพบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดและแตกต่างจากพื้นที่อื่น พื้นที่อุตสาหกรรมแหลมฉบัง (Zone C) และพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Zone G) พบว่ามีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมาบตาพุด (Zone E) พบว่ามีค่าเฉลี่ยต่ำสุด

นิเกิล พบว่า ฤดูกาลมีผลทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณที่พบในบางพื้นที่เท่านั้น ได้แก่ ในพื้นที่อุตสาหกรรมแหลมฉบัง (Zone C) พบว่าในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าฤดูแล้ง ในขณะที่ในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Zone A) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงสุดแต่ค่าที่ตรวจพบไม่มีความแตกต่างในฤดูแล้งและฤดูฝน

เหล็ก พบว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณที่ตรวจพบในน้ำทะเล แต่มีความแต่กต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยพบว่าในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 2 บริเวณ (Zone A และ Zone G) มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และในพื้นที่อุตสาหกรรมทั้ง 2 บริเวณ (Zone C และ Zone E) มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันด้วย แต่เหล็กที่ตรวจพบในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรมมาก

แมงกานีส พบว่า มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล โดยค่าสูงสุดพบในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (บางปะกง-อ่างศิลา) (Zone A) รองลงมา ได้แก่ พื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำใน จ. จันทบุรี-ตราด (Zone G) พื้นที่อุตสาหกรรมแหลมฉบัง (Zone C) และมาบตาพุด (Zone E) ตามลำดับ และตรวจพบในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบโลหะหนักในน้ำทะเล (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.3 คุณภาพน้ำทะเลทางกายภาพและเคมี

คุณภาพน้ำทะเลพื้นฐานที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งกรด Humic และ Fulvic โดยวัดในรูปของ Fluorescence intensity unit (DOC Fluorescence) ผลการศึกษาได้จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์และรายงานเป็นค่าต่ำสุด-สูงสุด และค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งและฤดูฝน ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยมีรายละเอียดของแต่ละสถานีแสดงในภาคผนวก ข และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงในภาพที่ 8 ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ยกเว้น ความเค็ม ปริมาณตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ

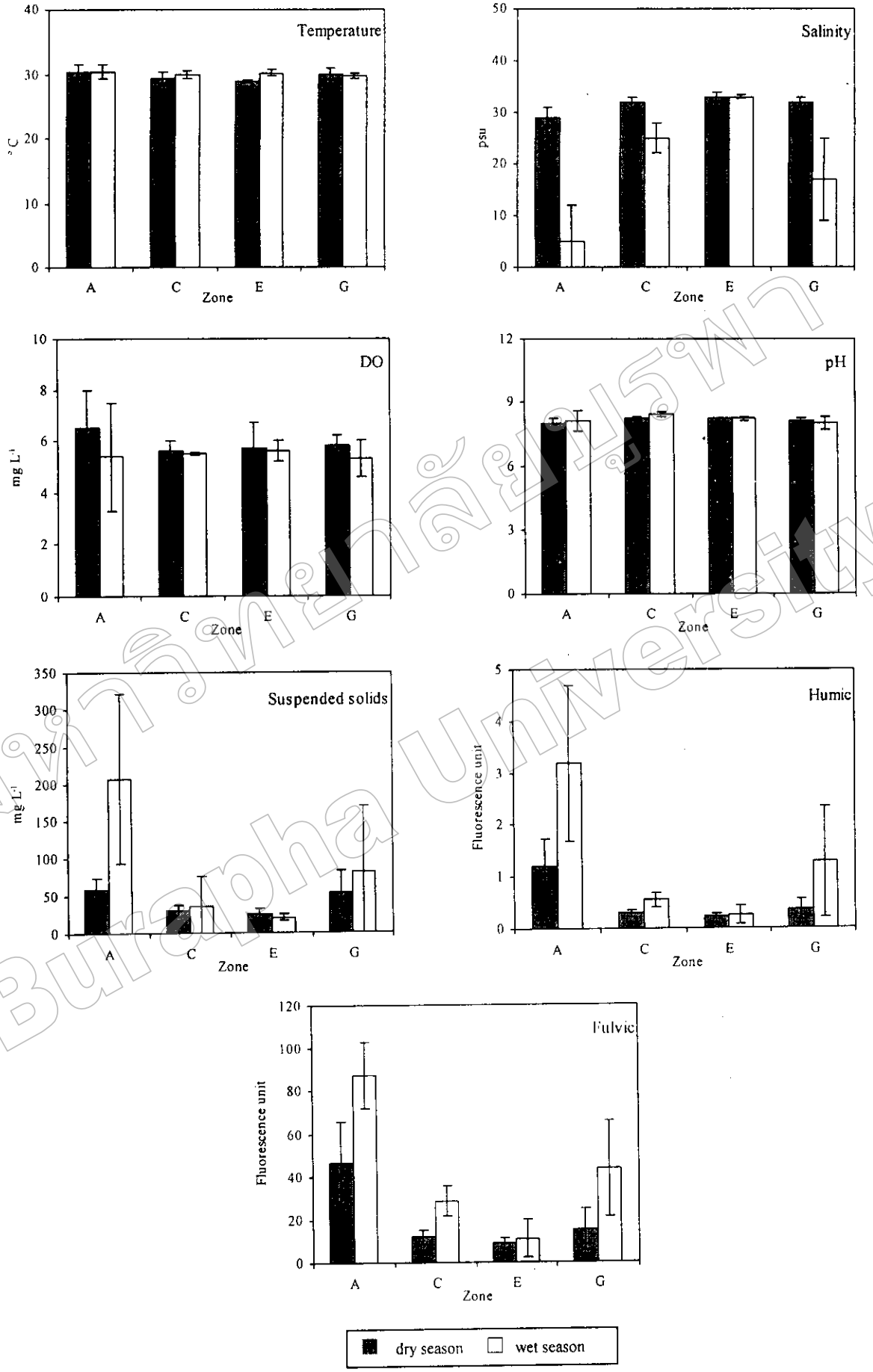
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 12 คุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

Zone	Water Quality	Dry season		Wet season	
		Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD
Zone A	Temperature (° C)	29.0 - 33.1	30.3 ± 1.3	29.3 - 32.8	30.4 ± 1.2
ปากแม่น้ำบางปะกง -	Salinity (psu)	27 - 31	29 ± 2	0 - 19	5 ± 7
อ่างศิลา	DO (mg L^{-1})	5.1 - 8.8	6.5 ± 1.5	3.6 - 9.3	5.4 ± 2.1
(8 สถานี)	pH	7.7 - 8.5	8.0 ± 0.2	7.4 - 9.0	8.1 ± 0.5
	Suspended Solid (mg L^{-1})	32.9 - 76.9	58.4 ± 15.2	17.8 - 364	207 ± 114
	Humic Fluorescence (unit)	0.42 - 1.75	1.20 ± 0.53	1.12 - 5.14	3.19 ± 1.50
	Fulvic Fluorescence (unit)	17.70 - 67.22	46.29 ± 19.14	54.1 - 97.9	87.4 ± 15.6
Zone C	Temperature (° C)	28.2 - 31.4	29.3 ± 1.0	29.4 - 31.3	29.9 ± 0.6
แหลมฉบัง	Salinity (psu)	31 - 33	32 ± 1	22 - 29	25 ± 3
(บางพระ - นาเกลือ)	DO (mg L^{-1})	4.9 - 6.2	5.6 ± 0.4	4.1 - 6.3	5.5 ± 0.7
(11 สถานี)	pH	8.2 - 8.4	8.2 ± 0.1	8.2 - 8.6	8.4 ± 0.1
	Suspended Solid (mg L^{-1})	21.2 - 49.6	29.6 ± 8.0	14.5 - 157.2	34.6 ± 42.2
	Humic Fluorescence (unit)	0.23 - 0.47	0.29 ± 0.07	0.38 - 0.78	0.55 ± 0.14
	Fulvic Fluorescence (unit)	8.2 - 20.5	11.9 ± 3.3	19.9 - 39.7	28.6 ± 6.9
Zone E	Temperature (° C)	28.6 - 29.1	28.9 ± 0.2	29.6 - 31.1	30.2 ± 0.5
มาบตาพุด	Salinity (psu)	32 - 33	33 ± 1	32 - 33	33 ± 0.3
(มาบตาพุด - ปากแม่น้ำ	DO (mg L^{-1})	4.3 - 7.3	5.7 ± 1.0	4.9 - 6.2	5.6 ± 0.4
ระยอง)	pH	8.1 - 8.3	8.2 ± 0.0	8.1 - 8.3	8.2 ± 0.1
(11 สถานี)	Suspended Solid (mg L^{-1})	19.5 - 36.2	25.6 ± 5.6	16.9 - 29.8	20.2 ± 3.9
	Humic Fluorescence (unit)	0.17 - 0.30	0.23 ± 0.05	0.12 - 0.73	0.25 ± 0.17
	Fulvic Fluorescence (unit)	6.5 - 12.2	9.1 ± 2.2	5.5 - 36.3	11.0 ± 8.8
Zone G	Temperature (° C)	28.9 - 32.0	30.0 ± 0.9	28.5 – 30.9	29.7 ± 0.5
จันทบุรี - ตราด	Salinity (psu)	30 - 33	32 ± 1	1 - 27	17 ± 8
(ปากแม่น้ำประแสร์ -	DO (mg L^{-1})	4.8 - 6.5	5.8 ± 0.4	3.9 - 6.9	5.3 ± 0.7
ปากแม่น้ำตราด)	pH	7.7 - 8.3	8.1 ± 0.1	7.5 - 8.6	8.0 ± 0.3
(22 สถานี)	Suspended Solid (mg L^{-1})	18.0 - 106.7	52.3 ± 31.4	18.6 - 412	81.8 ± 87.4
	Humic Fluorescence (unit)	0.16 - 0.81	0.35 ± 0.20	0.50 - 4.69	1.27 ± 1.06
	Fulvic Fluorescence (unit)	7.3 - 40.9	15.1 ± 9.6	20.2 - 101	43.4 ± 22.3

SD = standard deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำทะเล (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเล

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักและคุณภาพน้ำทะเลบางประการ โดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient, r) ในฤดูแล้ง และฤดูฝน พบว่ามีความสัมพันธ์กันดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ ดังมีรายละเอียดที่สำคัญจำแนกตามฤดูกาล ดังนี้

ฤดูแล้ง พบว่า ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โลหะหนักทั้งสามยังมีความสัมพันธ์ทางลบกับความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง แสดงว่าเมื่อความเค็ม และความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของโลหะทั้งสามลดลง นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณตะกอนแขวนลอยจึงน่าจะเป็นไปได้ว่าโลหะหนักดังกล่าวอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอยมากกว่าในรูปของสารละลาย นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ทางบวกกับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งกรด Humic และ Fulvic ด้วย สำหรับสังกะสี พบความสัมพันธ์ทางบวกกับเหล็กและแมงกานีส และกับปริมาณตะกอนแขวนลอย ส่วนตะกั่วพบเฉพาะความสัมพันธ์ทางบวกกับเหล็กอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ พบว่า ปรอทและแคดเมียมเป็นโลหะที่ไม่พบความสัมพันธ์ใดๆกับโลหะหนักชนิดอื่นและกับคุณภาพน้ำอื่นด้วย

ฤดูฝน พบว่า ตะกั่ว ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์ทางลบกับความเค็มของน้ำ แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ นอกจากนี้พบว่าโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดดังกล่าวมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำทั้งกรด Humic และ Fulvic ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวคล้ายกับที่พบในฤดูแล้ง แต่ในฤดูฝน มีความสัมพันธ์ของตะกั่วและเหล็กเพิ่มขึ้นมา สำหรับโลหะหนักที่ไม่พบความสัมพันธ์ใดๆกับโลหะหนักอื่นและคุณภาพน้ำ ได้แก่ ปรอท แคดเมียม และสังกะสี ยกเว้นเฉพาะแคดเมียมที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความเค็มของน้ำเท่านั้น ซึ่งในฤดูแล้งไม่พบความสัมพันธ์เช่นนี้ แสดงว่า ในฤดูฝน แคดเมียมจะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับตะกั่ว ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส ทั้งนี้เนื่องจาก แคดเมียมมีการแยกตัวออกจากตะกอนแขวนลอยเมื่อเคลื่อนย้ายจากบริเวณต้นน้ำออกสู่ปากแม่น้ำ โดยกระบวนการปลดปล่อยหรือคายแคดเมียมออกจากตะกอนแขวนลอย (desorption) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของแคดเมียมกับคลอรีนอิออน (Cd-chloro-complexation) มีผลทำให้แคดเมียมละลายน้ำได้มากขึ้นตามความเค็มที่สูงขึ้น (สุวรรณา และคณะ, 2546) ทั้งนี้จากรายงายของ ฉลวย (2544) ซึ่งทำการศึกษาพฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำบางปะกง พบว่า แคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่พบมากในรูปของสารละลายทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่โลหะหนักอื่นพบมากในรูปของตะกอนแขวนลอย

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (n = 52)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Salinity	pH	Suspended Solid	Humic	Fulvic
Hg	1.000												
Cd	.059	1.000											
Pb	-.118	.046	1.000										
Zn	-.194	-.048	.123	1.000									
Cu	.082	-.009	.005	.157	1.000								
Ni	-.011	-.021	.048	.983	.694**	1.000							
Fe	-.055	-.134	.309*	.738**	.271	.233	1.000						
Mn	-.008	-.124	.229	.493**	.564**	.605**	.864**	1.000					
Salinity	-.178	.012	-.031	.266	-.621**	-.657**	-.070	-.422**	1.000				
pH	.162	-.159	-.035	-.059	-.484**	-.450**	-.159	-.417**	.359**	1.000			
Suspended Solid	-.054	-.048	.188	.559**	.610**	.603**	.807**	.896**	-.377**	-.307*	1.000		
Humic	.116	.058	.023	-.220	.686**	.771**	.107	.528**	-.885**	-.508**	.459**	1.000	
Fulvic	.138	.061	.028	-.199	.707**	.753**	.124	.544**	-.880**	-.556**	.479**	.999**	1.000

*, ** : Significant at $p = 0.05$ and 0.01 respectively

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในน้ำทะเลและคุณภาพน้ำทะเลบางประการในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (n = 50)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Salinity	pH	Suspended Solid	Humic	Fulvic
Hg	1.000												
Cd	.147	1.000											
Pb	.016	-.068	1.000										
Zn	-.043	.227	-.071	1.000									
Cu	-.014	-.223	.560**	.102	1.000								
Ni	.015	-.233	.396**	.074	.846**	1.000							
Fe	.068	-.198	.854**	-.107	.568**	.573**	1.000						
Mn	.078	-.146	.750**	.032	.642**	.716**	.883**	1.000					
Salinity	.015	.299*	-.402**	.043	-.721**	-.754**	-.613**	-.499**	1.000				
pH	.104	-.038	-.128	.120	-.163	-.230	-.264	-.183	.358*	1.000			
Suspended Solid	.086	-.183	.665**	-.088	.701**	.727**	.808**	.871**	-.567**	-.038	1.000		
Humic	-.012	-.177	.562**	-.039	.779**	.854**	.656**	.635**	-.818**	-.388**	.624**	1.000	
Fulvic	.018	-.272	.522**	.014	.811**	.820**	.605**	.545**	-.873**	-.270	.624**	.924**	1.000

*, ** : Significant at $p = 0.05$ and 0.01 respectively

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. การปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน

2.1 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนที่ตรวจพบและการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และพื้นที่อุตสาหกรรม ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) พบว่ามีค่าต่ำสุด - สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ ค่าเฉลี่ยตลอดปี ดังแสดงในตารางที่ 15 สำหรับค่าที่ตรวจพบในแต่ละสถานีแสดงไว้ในภาพที่ 9-12 และมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค

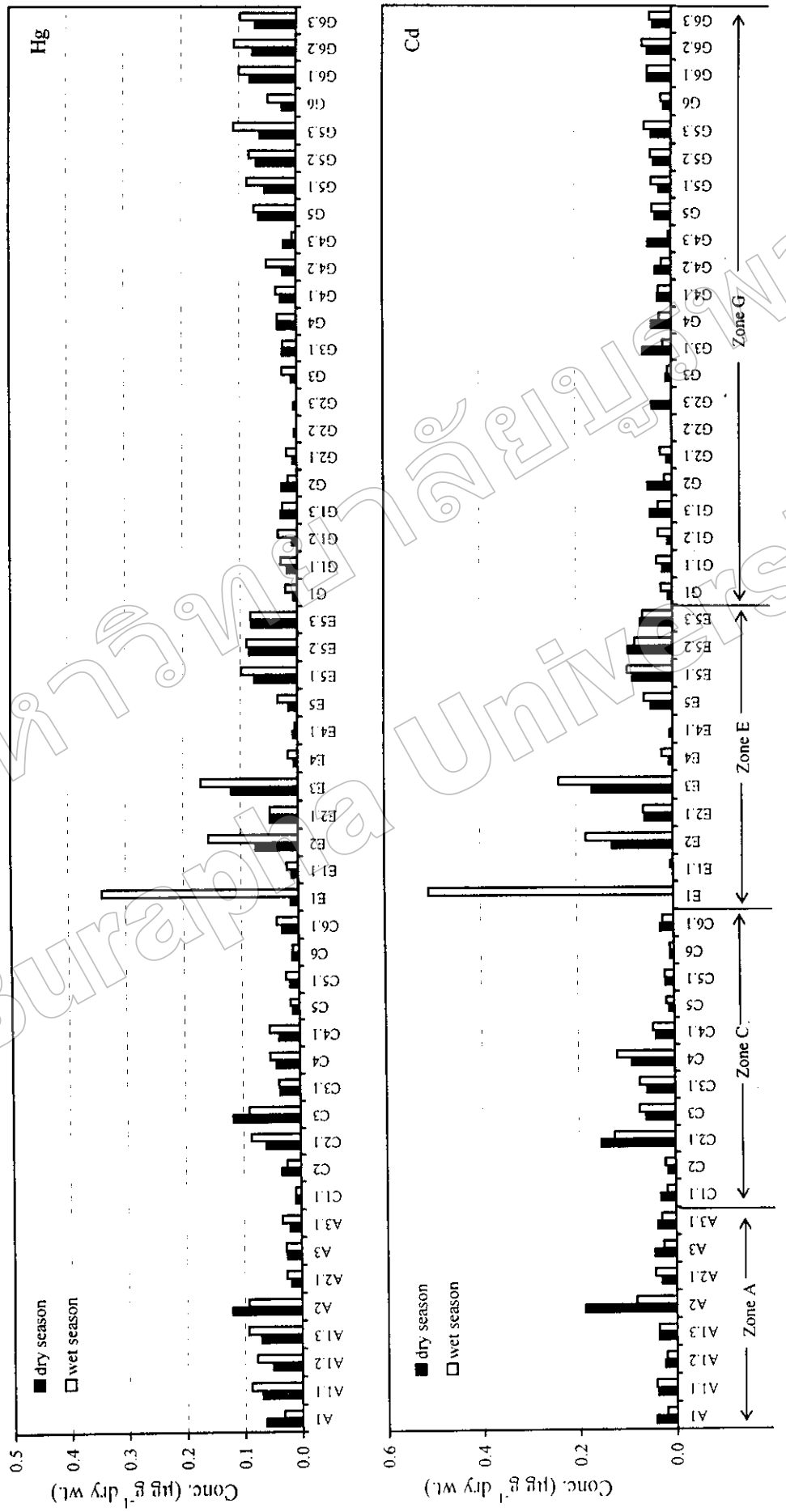
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 15 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

Zone	Heavy Metal	Dry season (μg g^{-1} dry wt.)		Wet season (μg g^{-1} dry wt.)		Year Average (μg g^{-1} dry wt.)
		Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	
Zone A	Hg	0.018 – 0.121	0.055 ± 0.035	0.026 – 0.093	0.059 ± 0.032	0.057
ปากแม่น้ำบางปะกง -	Cd	0.024 – 0.189	0.056 ± 0.054	0.020 – 0.083	0.038 ± 0.020	0.047
อ่างศิลา	Pb	14.85 – 24.35	19.78 ± 3.63	12.47 – 23.37	17.79 ± 4.32	18.79
(8 สถานี)	Zn	21.32 – 130.5	74.51 ± 43.20	8.06 – 77.75	45.45 ± 29.96	59.98
	Cu	14.37 – 46.00	29.85 ± 10.62	3.54 – 29.75	15.83 ± 10.72	22.84
	Ni	5.19 – 45.62	24.67 ± 16.84	< 0.64 - 44.03	22.01 ± 19.28	23.34
	Fe	8,210 – 40,451	27,311 ± 15,606	6,228 – 46,541	26,608 ± 16,529	26,960
	Mn	281 – 1,711	987 ± 553	288 – 1,875	907 ± 592	947
Zone C	Hg	0.010 – 0.117	0.036 ± 0.031	0.009 – 0.089	0.040 ± 0.028	0.038
แหลมฉบัง	Cd	0.008 – 0.154	0.047 ± 0.043	0.008 – 0.126	0.049 ± 0.043	0.048
(บางพระ - นาเกลือ)	Pb	5.80 – 35.49	17.25 ± 9.69	4.29 – 37.38	19.26 ± 11.27	18.26
(11 สถานี)	Zn	7.48 – 64.45	30.67 ± 18.94	< 1.28 – 49.93	21.76 ± 16.00	26.22
	Cu	17.88 – 45.99	29.06 ± 8.11	< 1.92 – 25.63	7.84 ± 8.49	18.45
	Ni	< 0.64 – 22.29	10.92 ± 8.04	< 0.64 - 19.01	5.93 ± 8.03	8.43
	Fe	1,847 – 22,325	11,941 ± 7,359	2,532 – 19,964	10,724 ± 6,406	11,333
	Mn	60.86 – 559	256 ± 157	29.41 - 613	252 ± 188	254
Zone E	Hg	0.007 – 0.116	0.049 ± 0.039	0.005 – 0.341	0.096 ± 0.098	0.073
มาบตาพุด	Cd	< 0.006 – 0.168	0.059 ± 0.055	< 0.006 – 0.509	0.119 ± 0.148	0.089
(มาบตาพุด - ปากแม่น้ำ	Pb	1.69 – 66.25	31.91 ± 24.70	6.61 – 91.93	43.57 ± 30.48	37.74
ระยอง)	Zn	7.49 – 106.8	45.05 ± 32.79	4.32 – 129.4	60.69 ± 39.22	52.87
(11 สถานี)	Cu	18.75 – 66.31	34.42 ± 14.55	< 1.92 – 21.56	11.73 ± 8.26	23.08
	Ni	4.15 – 32.28	14.64 ± 10.47	< 0.64 -16.26	8.03 ± 6.70	11.34
	Fe	1,170 – 24,494	12,570 ± 10,589	863 – 23,812	13,825 ± 8,639	13,198
	Mn	28.12 – 410	151 ± 136	< 19 - 652	201 ± 201	176
Zone G	Hg	0.005 – 0.081	0.034 ± 0.026	0.007 – 0.109	0.051 ± 0.034	0.043
จันทบุรี - ตราด	Cd	< 0.006 – 0.059	0.032 ± 0.017	0.006 – 0.060	0.031 ± 0.015	0.032
(ปากแม่น้ำประแสร์ -	Pb	2.21 – 22.18	12.64 ± 5.78	4.50 – 24.91	13.45 ± 6.10	13.05
ปากแม่น้ำตราด)	Zn	10.50 – 100.8	38.13 ± 24.65	11.24 – 99.08	47.85 ± 24.96	42.99
(22 สถานี)	Cu	14.37 – 103.2	50.53 ± 31.25	6.82 – 49.40	20.41 ± 12.97	35.47
	Ni	9.85 – 79.90	28.22± 21.33	< 0.64 - 7.41	1.26 ± 2.09	14.74
	Fe	7,184 – 92,773	32,267 ± 21,455	8,906 – 83,237	33,470 ± 22,241	32,869
	Mn	109 – 1,162	514 ± 290	183 – 1,068	574 ± 288	544

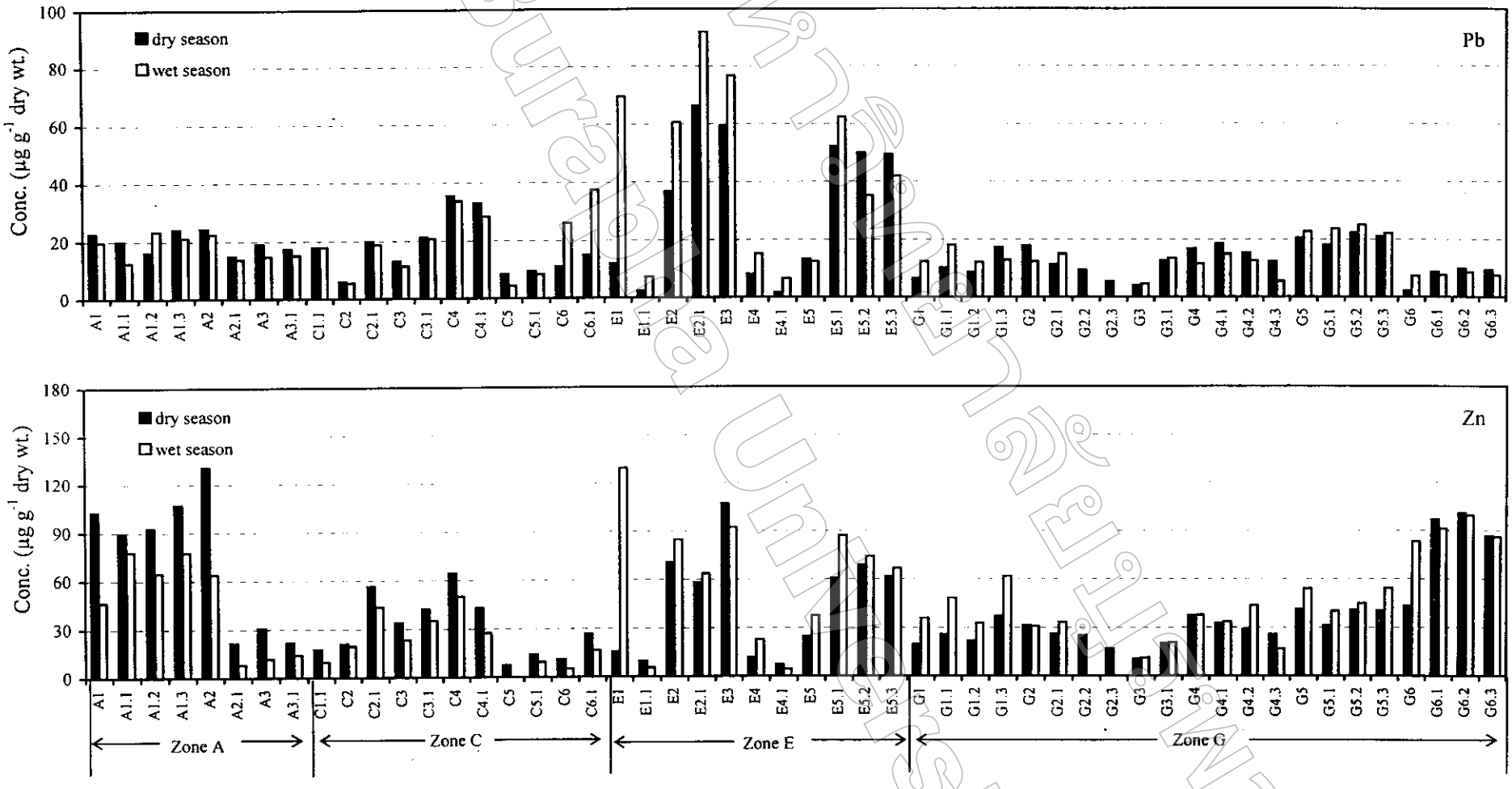
SD = standard deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



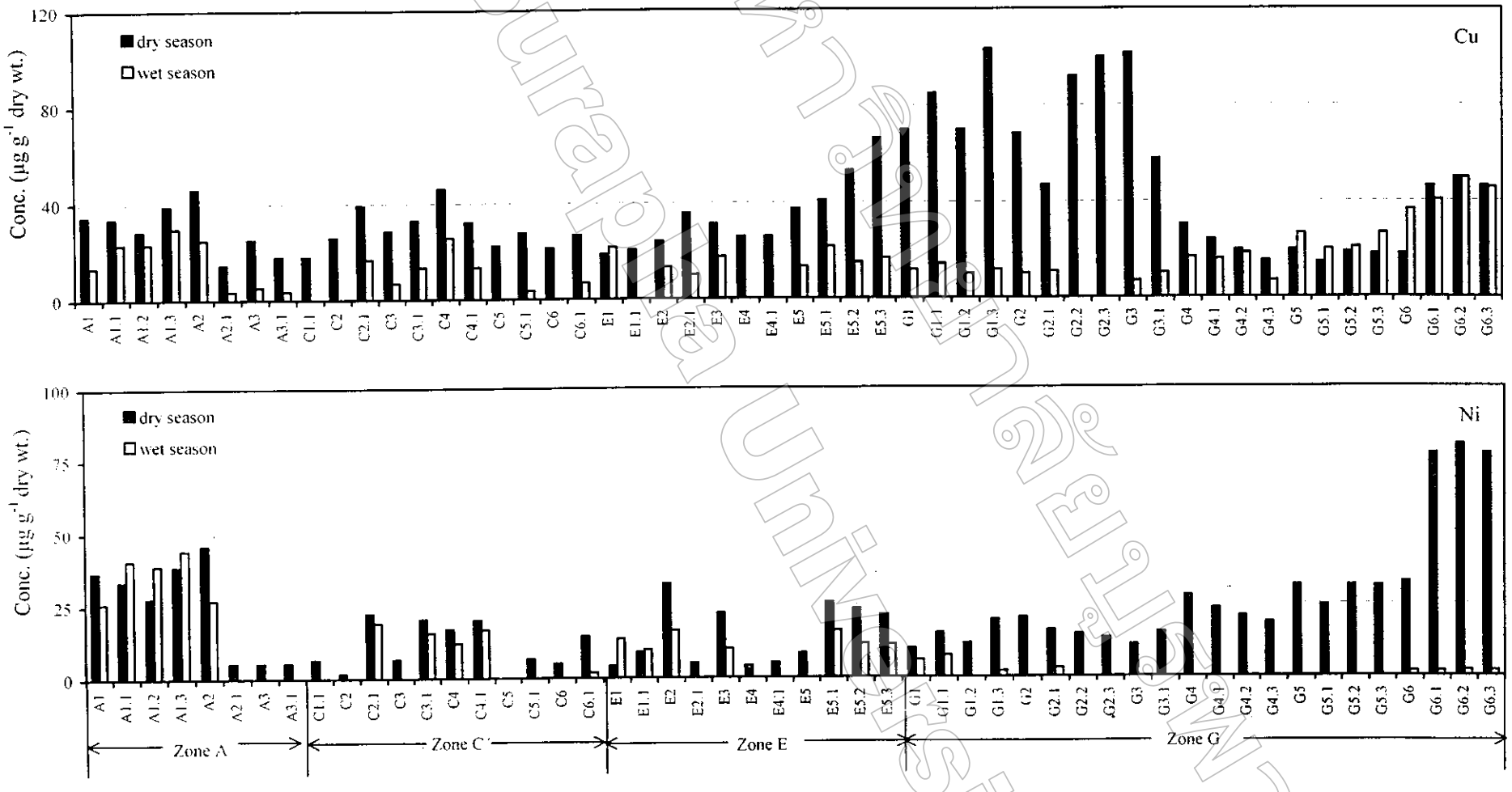
ภาพที่ 9 ปริมาณปรอทและแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



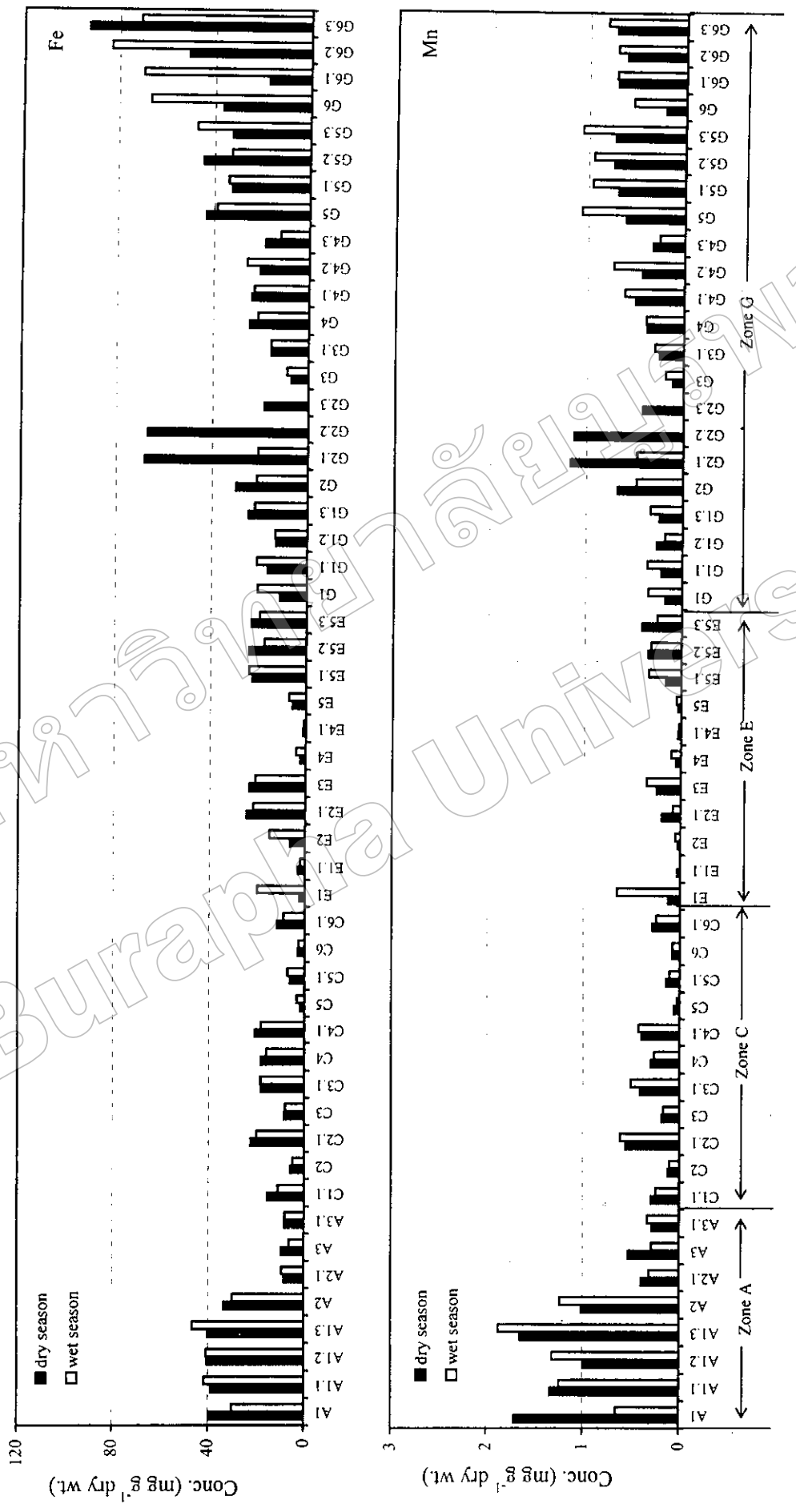
ภาพที่ 10 ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

Burapha University



ภาพที่ 11 ปริมาณทองแดงและนิเกิลในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

Burapha University มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 12 ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนที่ตรวจพบในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกได้นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนของต่างประเทศ ได้แก่ ฟลอริดา สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง ออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ และแคนาดา เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนกำหนดไว้ ซึ่งมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนของต่างประเทศดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 16 พบว่าค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนของ ฟลอริดาและแคนาดา เป็นค่ามาตรฐานที่เหมือนกันและเป็นค่ามาตรฐานที่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานของฮ่องกง และ ออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์ ทั้งค่าที่เป็นความเข้มข้นที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Threshold Effect Level, TEL) และค่าความเข้มข้นที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Probable Effect Level, PEL) ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมให้เกิดน้อยที่สุด การศึกษาครั้งนี้จึงนำค่าที่ตรวจวัดได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของฟลอริดา พบว่า แคดเมียม เป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนโลหะหนักอื่น ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และ นิเกิล มีค่าสูงเกินความเข้มข้นที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในบางสถานีและบางฤดูกาล สำหรับเหล็กและแมงกานีสซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานดังกล่าว จึงใช้การเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ (geochemical background values) (ตารางที่ 17) โดยได้เลือกใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961) พบว่ามีค่าสูงเกินเช่นกันในบางสถานี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 16 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอน (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

Guideline	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Reference
Florida DEP Sediment Quality Guidelines- Threshold Effect Level [1]	0.13	0.68	30.2	124	18.7		MacDonale (1994) อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ (2546 ข)
Florida DEP Sediment Quality Guidelines- Probable Effect Level [2]	0.7	4.21	112	271	108		
Hong Kong Draft Sediment Quality Guidelines- Lower [3]	0.5	1.5	75	200	65		HKGS (1998) อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ (2546 ข)
Hong Kong Draft Sediment Quality Guidelines- Higher [4]	1	4	110	270	110		
Australia and New Zealand Draft Interim Sediment Quality Guidelines- Lower [1]	0.15	1.5	50	200	65		ANZECC (1998) อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ (2546 ข)
Australia and New Zealand Draft Interim Sediment Quality Guidelines- Higher [2]	1	9.6	220	410	270		
Draft Interim Canada Marine Sediment Quality Guidelines- Threshold Effect Level [1]	0.13	0.68	30.2	124	18.7	15.9	Environment Canada (1995)
Draft Interim Canada Marine Sediment Quality Guidelines- Probable Effect Level [2]	0.70	4.21	112	271	108	42.8	

หมายเหตุ [1] = ค่าความเข้มข้นที่ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Threshold Effect Level, TEL)

[2] = ค่าความเข้มข้นที่อาจจะมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Probable Effect Level, PEL)

[3] = ค่าความเข้มข้นที่สามารถทำการขุดลอกตะกอนดินได้

[4] = ค่าความเข้มข้นที่สามารถขุดลอกตะกอนดินได้โดยต้องผ่านการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ (geochemical background values) (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)

Geochemical Background	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	Reference
Average Shale	0.4	0.3	20	95	45	68	47,200	850	Turekian and Wedepohl (1961)
Crustal Average	0.08	0.2	12.5	70	55	75	56,300	950	Taylor (1964)

การเปรียบเทียบกับมาตรฐานต่างๆ ดังกล่าว ได้นำมาสรุปเป็นค่าโลหะหนักที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานและบริเวณที่ตรวจพบแสดงไว้ในตารางที่ 18 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

ปรอท มีค่าสูงเกินมาตรฐานบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูฝน ซึ่งค่าที่ตรวจพบสูงเกินมาตรฐานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.156 - 0.341 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยค่าสูงสุด พบที่หนองแฟบ (E1) มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 2.6 เท่า

ตะกั่ว พบค่าสูงเกินมาตรฐานที่บริเวณแหลมฉบังและมาบตาพุด ซึ่งปริมาณตะกั่วที่มาบตาพุดสูงกว่าแหลมฉบัง ทั้งนี้ค่าสูงสุดตรวจพบที่ บริเวณสันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 66.25 และ 91.93 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน 2 และ 3 เท่า ตามลำดับ

สังกะสี ในฤดูแล้ง พบค่าสูงเกินมาตรฐานที่อ่าวชลบุรี (A2) มีค่า 130.5 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และในฤดูฝน พบที่ หนองแฟบ (E1) มีค่า 129.4 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

ทองแดง พบค่าสูงเกินมาตรฐานในดินตะกอนทุกพื้นที่ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยมีค่าสูงเกินมาตรฐานตั้งแต่ 1.1 เท่า ถึง 5.5 เท่า ค่าสูงสุดพบในฤดูแล้งที่ปากแม่น้ำประแสร์ (G1.3) มีค่า 103.22 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และค่าสูงสุดในฤดูฝนพบที่ปากแม่น้ำตราด (G6.2) มีค่า 49.4 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

นิเกิล พบค่าสูงเกินมาตรฐานในดินตะกอนทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับทองแดง โดยค่าสูงสุดพบที่ปากแม่น้ำตราด (G6.2) ในฤดูแล้งมีค่า 79.90 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน 5 เท่า ส่วนในฤดูฝนพบค่าสูงสุดที่ปากแม่น้ำบางปะกง (A1.3) มีค่า 44.03 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้งซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน 3 เท่า

สำหรับเหล็กและแมงกานีสจัดว่าเป็นโลหะหนักที่มีค่าค่อนข้างสูงมากในดินตะกอนเนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในเปลือกโลกและมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการผุพังทลายของหิน พบว่าบริเวณปากแม่น้ำพังราด ปากแม่น้ำเวฬุ และปากแม่น้ำตราด มีเหล็กและแมงกานีสสูงเกินกว่าค่า average shale (ตารางที่ 17) โดยเฉพาะที่ปากแม่น้ำตราดซึ่งพบทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 92,773 และ 83,237 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยสูงเกินกว่าค่า average shale ประมาณ 2 เท่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นอกจากนี้ในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา พบแมงกานีสสูงเกินกว่าค่า average shale ด้วย โดยเฉพาะค่าสูงสุดพบที่ปากแม่น้ำบางปะกงทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่า 1,711 และ 1,875 ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสูงเกินกว่าค่า average shale ประมาณ 2 เท่า

จากที่กล่าวมาข้างต้น และข้อมูลในตารางที่ 18 สามารถสรุปพื้นที่หรือบริเวณที่พบโลหะหนักสูงเกินค่ามาตรฐาน ได้ดังนี้

- มาบตาพุด มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และนิเกิล
- แหลมฉบัง มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และนิเกิล
- ปากแม่น้ำบางปะกง มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส
- อ่าวชลบุรี มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส
- อ่างศิลา มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง
- ปากแม่น้ำระยอง มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และนิเกิล
- ปากแม่น้ำประแสร์ มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง และนิเกิล
- ปากแม่น้ำพังราด มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส
- อ่าวคุ้งกระเบน มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง
- ปากแม่น้ำจันทบุรี มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง และนิเกิล
- ปากแม่น้ำเวฬุ มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส
- ปากแม่น้ำตราด มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ ทองแดง นิเกิล และ เหล็ก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 โลหะหนักในดินตะกอนที่ตรวจพบมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) และบริเวณที่ตรวจพบ (หน่วยเป็น ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

Heavy	Dry Season (March 2004)			Wet Season (August 2004)			Standard
Metal	Station		Conc.	Station		Conc.	Level*
Hg	-			**Zone E**	**มาบตาพุด**		0.13
				E1	หนองแฟบ	**0.341**	
				E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.156	
				E3	หาดทรายทอง	0.169	
Pb	**Zone C**	**แหลมฉบัง**					30.2
	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	35.48	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	33.66	
	C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	33.02	C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	37.38	
	Zone E	**มาบตาพุด**					
	E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	36.76	E1	หนองแฟบ	69.52	
	E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	**66.25**	E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	60.48	
	E3	หาดทรายทอง	59.40	E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	**91.93**	
	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	52.14	E3	หาดทรายทอง	76.78	
	E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	49.88	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	62.26	
	E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	49.34	E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	35.12	
				E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	41.87	
Zn	**Zone A**	**ปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา**		**Zone E**	**มาบตาพุด**		124
	A2	อ่าวชลบุรี	**130.5**	E1	หนองแฟบ	**129.4**	
Cu	**Zone A**	**ปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา**					18.7
	A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	34.56	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	23.18	
	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	33.69	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	23.20	
	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	28.44	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	29.75	
	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	38.96	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	24.84	
	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	46.00				
	A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	24.90				
	Zone C	**แหลมฉบัง**					
	C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	25.77	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	25.63	
	C2.1	ผาแดง	38.99				
	C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	28.40				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Heavy	Dry Season (March 2004)			Wet Season (August 2004)			Standard
Metal	Station		Conc.	Station		Conc.	Level*
	C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	32.81				
	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	45.98				
	C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	31.93				
	C5	โรงโป๊ะ (ใน)	22.26				
	C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	27.53				
	C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	21.37				
	C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	26.66				
	Zone E	**มาบตาพุด**					
	E1	หนองแฟบ	18.75	E1	หนองแฟบ	21.56	
	E1.1	ปลายท่าเรือ	20.51	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	21.55	
	E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	24.05				
	E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	35.45				
	E3	หาดทรายทอง	31.07				
	E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	25.80				
	E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	25.80				
	E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	37.19				
	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	40.70				
	E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	53.03				
	E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	66.31				
	Zone G	**(ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)**					
	G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	69.73	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	26.47	
	G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	84.78	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	19.93	
	G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	69.70	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	20.71	
	G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	**103.22**	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	26.44	
	G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	68.05	G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	36.35	
	G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	46.87	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	40.36	
	G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	91.80	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	**49.40**	
	G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	99.58	G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	45.31	
	G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	101.28				
	G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	57.45				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Heavy Metal	Dry Season (March 2004) Station		Conc.	Wet Season (August 2004) Station		Conc.	Standard Level*
	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	30.16				
	G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	24.02				
	G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	19.65				
	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	19.66				
	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	18.77				
	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	45.99				
	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	49.55				
	G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	46.01				
Ni	**Zone A**	**ปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา**					15.9
	A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	36.59	A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	25.84	
	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	33.38	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	40.49	
	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	27.61	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	38.85	
	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	38.43	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	**44.03**	
	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	45.62	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	26.87	
	Zone C	**แหลมฉบัง**					
	C2.1	ผาแดง	22.29	C2.1	ผาแดง	19.01	
	C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	20.35	C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	16.65	
	C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	16.95				
	C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	19.94				
	Zone E	**มาบตาพุด**					
	E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	32.28	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	16.11	
	E3	หาดทรายทอง	22.18				
	E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	25.88				
	E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	23.58				
	E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	21.45				
	Zone G	**(ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)**					
	G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	19.57				
	G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	20.35				
	G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	16.01				
	G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	27.81				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 18 (ต่อ)

Heavy	Dry Season (March 2004)			Wet Season (August 2004)			Standard
Metal	Station		Conc.	Station		Conc.	Level*
	G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	23.40				
	G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	20.68				
	G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	18.50				
	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	31.28				
	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	24.25				
	G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	31.16				
	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	31.03				
	G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	32.37				
	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	76.72				
	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	**79.90**				
	G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	76.77				
Fe	**Zone G**	**(ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)**					47,200
	G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	68,035	G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	47,238	
	G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	66,872	G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	66,743	
	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	50,934	G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	69,918	
	G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	**92,773**	G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	**83,237**	
				G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	70,989	
Mn	**Zone A**	**ปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา**					850
	A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	**1,711**	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	1,243	
	A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	1,337	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	1,316	
	A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	995	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	**1,875**	
	A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	1,645	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	1,233	
	A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	1,008				
	Zone G	**(ปากแม่น้ำประแสร์ -ปากแม่น้ำตราด)**					
	G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	1,162	G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	1,068	
	G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	1,128	G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	955	
				G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	946	
				G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	1,064	

* เป็นค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนของฟลอริดา สหรัฐอเมริกา ยกเว้น เหล็กและแมงกานีส เป็นค่า average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 การเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

การเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง 2 บริเวณ (Zone A และ Zone G) และพื้นที่อุตสาหกรรม 2 บริเวณ คือ แหลมฉบัง (Zone C) และมาบตาพุด (Zone E) และจำแนกตามฤดูกาลด้วย คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน (ภาพที่ 13) ใช้การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (2 way-ANOVA) (ตารางที่ 19) พบว่ามีความแตกต่างในแต่ละชนิดของโลหะหนัก ดังนี้

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆ ในดินตะกอนจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์และฤดูกาล

Source of Variance	Sig.							
	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
Season	.080^{NS}	.814^{NS}	.387^{NS}	.521^{NS}	.000**	.261^{NS}	.924^{NS}	.931^{NS}
Zone	.213^{NS}	.012*	.002**	.004**	.000**	.000**	.000**	.000**
Season * Zone	.709^{NS}	.597^{NS}	.552^{NS}	.092^{NS}	.522^{NS}	.523*	.971^{NS}	.867^{NS}

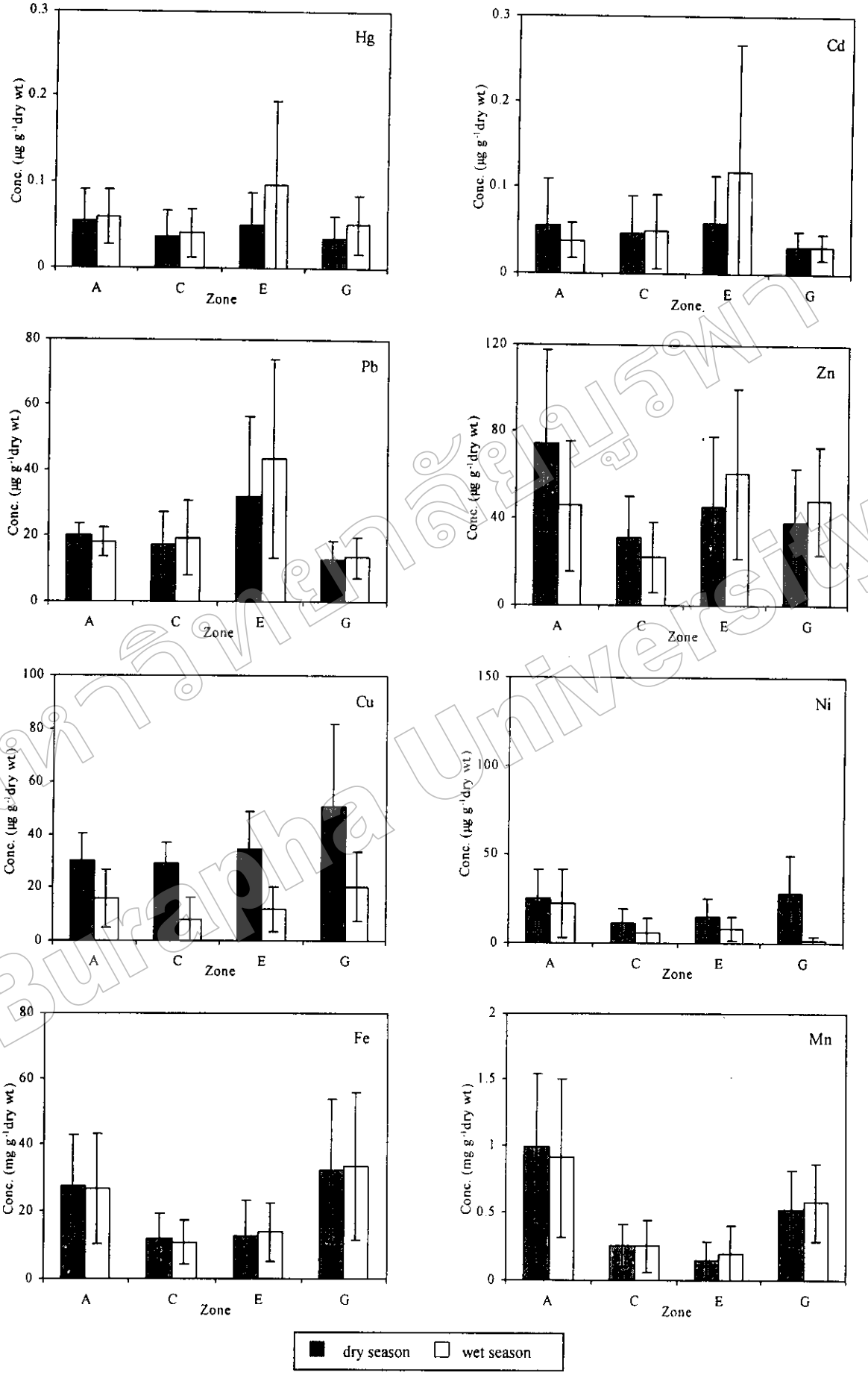
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

^{NS} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปรอท เป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติในพื้นที่การใช้ประโยชน์ และไม่มีความแตกต่างในเรื่องของฤดูกาลด้วย แต่อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าความเข้มข้นที่พบในฤดูฝนในบริเวณมาบตาพุดมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งและเกินค่ามาตรฐานของฟลอริดาด้วย ในขณะที่แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส ปริมาณที่พบมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยแคดเมียมและตะกั่วพบในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดสูงกว่าบริเวณอื่นๆ สาเหตุอาจเนื่องมาจากอุตสาหกรรมต่างๆภายในบริเวณนิคมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอาจมาจากปุ๋ยฟอสเฟตที่นำมาใช้ในบริษัทปุ๋ย บริเวณท่าเรือมาบตาพุด เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมปนอยู่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546 ก) และเนื่องจากแคดเมียมเป็นแร่ที่พบปะปนกับแร่ชนิดอื่น ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง การกระจายของแคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมอาจมาจากอุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี การเผาของเสียที่มีแคดเมียมปนอยู่ เช่น พลาสติก เม็ดสี เศษเหล็ก เป็นต้น (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541 อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ, 2546 ก)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



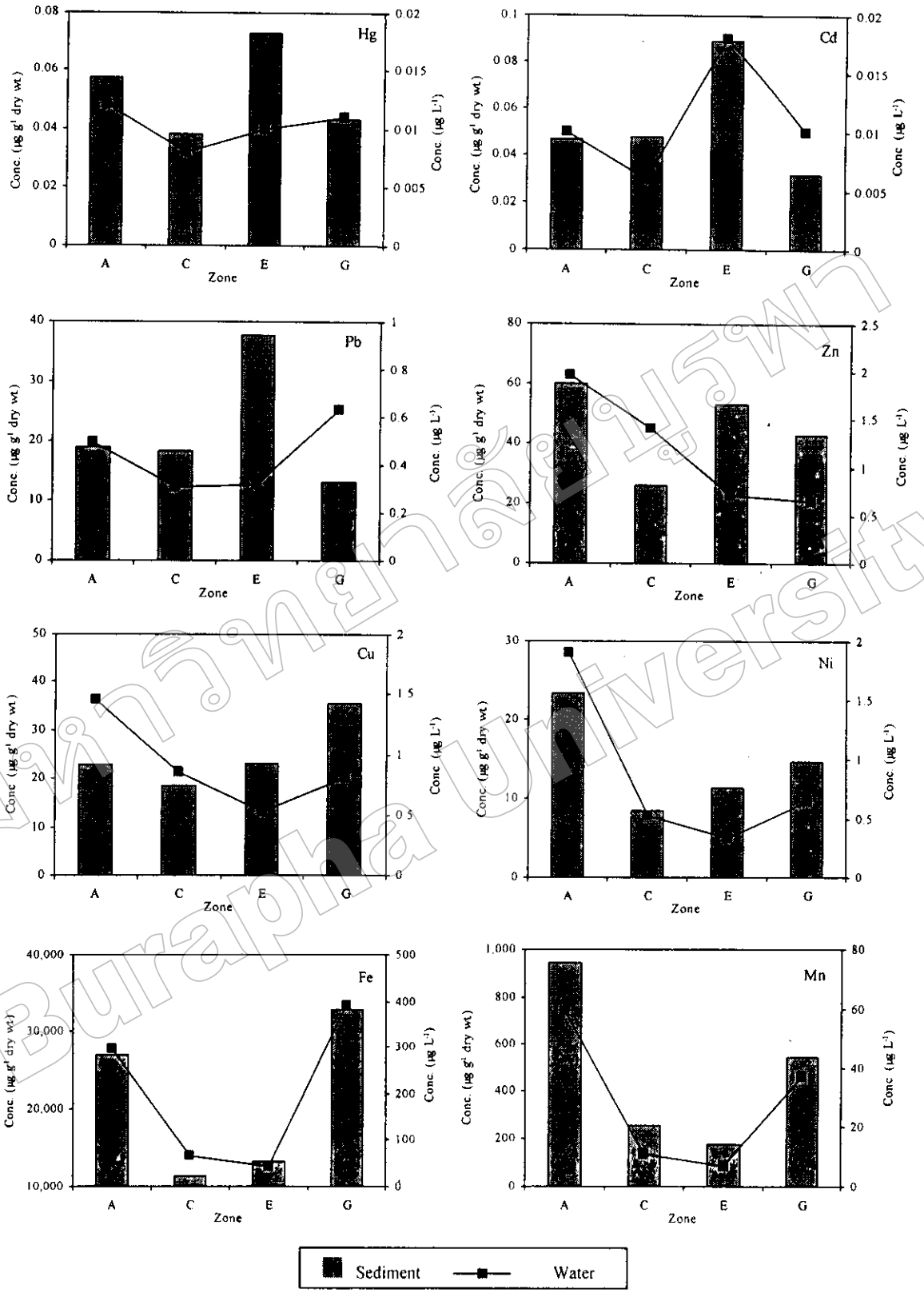
ภาพที่ 13 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับ สังกะสี นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส พบในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้ง 2 บริเวณสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรมทั้งที่แหลมฉบังและมาบตาพุด อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดที่พบดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในฤดูแล้งและฤดูฝน สำหรับทองแดง นั้น พบว่า ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยเฉพาะในแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปากแม่น้ำประแสร์-ปากแม่น้ำตราด (Zone G) มีปริมาณสูงแตกต่างจากที่อื่นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ฤดูกาลยังมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของทองแดงที่พบอีกด้วย โดยในฤดูแล้งพบสูงกว่าฤดูฝน ทั้งนี้ทองแดงเป็นโลหะหนักชนิดเดียวในดินตะกอนที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ส่วนโลหะหนักอื่นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ทั้ง 2 ฤดู ซึ่งแตกต่างจากที่พบในน้ำทะเล เนื่องจากการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิดในน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตลอดปีของโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำทะเลและดินตะกอน (ภาพที่ 14) พบว่ามีแนวโน้มการสะสมตัวของโลหะหนักในระหว่างชั้นน้ำและดินตะกอนแยกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว และทองแดง พบว่า พื้นที่ที่มีการสะสมโลหะทั้งสามในดินตะกอนสูง มีแนวโน้มที่พบความเข้มข้นในน้ำต่ำ กลุ่มที่ 2 ได้แก่ แคดเมียม นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส พบแนวโน้มที่ตรงกันข้ามกับกลุ่มที่ 1 กล่าวคือ ค่อนข้างไปในทิศทางเดียวกันทั้งในส่วนของชั้นน้ำและดินตะกอน กล่าวคือ พื้นที่ที่มีการสะสมโลหะหนักดังกล่าวในดินตะกอนสูง มีแนวโน้มที่พบความเข้มข้นในน้ำสูงด้วย และกลุ่มที่ 3 ได้แก่ สังกะสี มีลักษณะร่วมกันระหว่างกลุ่มที่ 1 และ 2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่

โลหะหนักต่างๆทั้งในน้ำและดินตะกอน ถึงแม้ว่าค่าที่ตรวจพบยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ แต่สามารถสะสมในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ตลอดจนถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารได้ จึงอาจจะส่งผลกระทบในระยะยาวหรือก่อให้เกิดพิษเรื้อรัง (chronic effects) ต่อสิ่งมีชีวิตได้ ดังนั้นจึงยังคงต้องให้ความสำคัญด้วยเช่นกัน ประกอบกับมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนยังไม่มีการกำหนดไว้สำหรับประเทศไทย การนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของต่างประเทศนั้น อาจให้ผลที่ยังไม่ถูกต้องโดยแท้จริง เนื่องจากแต่ละประเทศมีสภาพภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมอื่นที่แตกต่างกัน อันอาจมีผลต่อองค์ประกอบของธาตุในดินตะกอนและขนาดของเม็ดดินตะกอนแตกต่างกันได้ ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องทำให้ดินตะกอนในแต่ละพื้นที่มีความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) โลหะหนักได้แตกต่างกัน



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตลอดปีของโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3 การประเมินระดับความรุนแรงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน

เนื่องจากโลหะหนักในดินตะกอนมีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ มาจากธรรมชาติ (natural sources) และมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic sources) การที่จะแยกสัดส่วนว่าโลหะหนักในดินตะกอนมาจากแหล่งใดเป็นปริมาณเท่าใดนั้นจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ การหาค่า enrichment factor (EF) ซึ่งเป็นการปรับค่าสู่สภาวะปกติทางธรณีเคมี (geochemical normalization) สามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นของโลหะหนักที่วัดได้หารด้วยธาตุโลหะที่ใช้ปรับค่าสู่สภาวะปกติ (normalizing elements) (Covelli and Fontolan, 1997) เมื่อพบว่าค่า EF > 1 แสดงว่าโลหะหนักในดินตะกอนมีการปนเปื้อนมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และถ้า EF < 1 แสดงว่าโลหะหนักนั้นมาจากธรรมชาติ ในบรรดาธาตุโลหะที่ใช้ปรับค่าสู่สภาวะปกติที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ อลูมิเนียม เหล็ก สารอินทรีย์คาร์บอนรวม และขนาดเม็ดดินตะกอน (grain size) (Loring and Rantala, 1992; Rubio et al., 2000) และที่สำคัญธาตุโลหะที่ใช้ปรับค่าสู่สภาวะปกตินั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับโลหะหนักที่ทำการศึกษาในระดับสูงด้วย (Helland, 2001) แต่จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า เหล็ก และ สารอินทรีย์ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับโลหะหนักทุกชนิดที่ทำการศึกษา (ตารางที่ 25-26) รวมทั้งไม่ได้วิเคราะห์ อลูมิเนียม และขนาดเม็ดดินตะกอนไว้ด้วย จึงทำให้การหาค่า EF อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินระดับความรุนแรงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน คือ การใช้ดัชนีบ่งชี้ความรุนแรงของการปนเปื้อน โดยการวิเคราะห์หาค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (geoaccumulation index, I*geo*) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร (Förstner et al., 1993; Calmano et al., 1996)

$$Igeo = \log_2 C_n/1.5 \times B_n$$

เมื่อ

C_n = measured concentration of the element in sediments;

B_n = geochemical background concentration of the element; and 1.5 is the correction factor for variation in background values due to lithogenic effects.

ค่า I*geo* แบ่งออกเป็น 7 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 0 – 6 (ตารางที่ 20) โดยระดับที่ 6 เป็นระดับที่มีการปนเปื้อนรุนแรงมากที่สุดประมาณ 100 เท่าของความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ (geochemical background concentration) อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ค่า I*geo* ที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ระดับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติที่เหมาะสม ซึ่งนักวิจัยหลายท่าน (เช่น Covelli and Fontolan, 1997; Singh and Hasnain, 1999; Bakan and Balkas, 1999 เป็นต้น) ได้เลือกใช้ค่า average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961) และนักวิจัยบางท่านเลือกใช้ crustal average ของ Taylor (1964)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 20 การจำแนกระดับความรุนแรงของค่าดัชนี *Igeo* (Förstner et al., 1993; Calmano et al., 1996)

Geoccumulation Index (*Igeo*)	*Igeo* Class	Pollution Intensity
>5	6	Very strong pollution
>4-5	5	Strong to very strong
>3-4	4	Strongly polluted
>2-3	3	Moderately to strongly
>1-2	2	Moderately polluted
>0-1	1	Unpolluted to moderate
<0	0	Practically unpolluted

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกการประเมินระดับความรุนแรงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนโดยการหาค่า *Igeo* และวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยใช้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติทั้งของ Turekian and Wedepohl (1961) และของ Taylor (1964)

ค่า *Igeo* ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยของโลหะหนักชนิดต่างๆในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงในตารางที่ 21 และ 22 ตามลำดับ สำหรับค่า *Igeo* ของแต่ละสถานีแสดงไว้ในภาคผนวก ง ความสัมพันธ์ระหว่างค่า *Igeo* และปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในดินตะกอนแต่ละสถานีแสดงในภาพที่ 15-18

ผลการวิเคราะห์ค่า *Igeo* โดยใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961) เป็นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ พบว่าโลหะหนักทุกชนิด มีค่า *Igeo* < 0 ยกเว้น ตะกั่ว ซึ่งมีค่า *Igeo* > 0 แต่ < 1 อยู่ในระดับไม่ปนเปื้อน/ปนเปื้อนไม่รุนแรงหรือระดับปานกลาง (ตารางที่ 21) พบในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงว่าตะกั่วในดินตะกอนที่มาบตาพุด มีบางส่วนที่มาจากกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับการวิเคราะห์ค่า *Igeo* โดยใช้ crustal average ของ Taylor (1964) นั้น พบว่าโลหะหนักทุกชนิด มีค่า *Igeo* < 0 ยกเว้น ตะกั่ว ซึ่งมีค่า *Igeo* > 0 แต่ < 1 ซึ่งไม่อยู่ในระดับที่รุนแรงแต่อย่างใด (ตารางที่ 22) เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการใช้ average shale แต่พบในหลายพื้นที่มากกว่า ได้แก่ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด โดยเฉพาะที่มาบตาพุดพบได้ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน และมีการปนเปื้อนมากที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ค่า *Igeo* โดยใช้ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติแตกต่างกันทำให้มีผลต่อการจำแนกระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนแตกต่างกันด้วย ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการใช้ crustal average ของ Taylor (1964) นั้น ทำให้หลายบริเวณพบการปนเปื้อนของโลหะหนักอัน

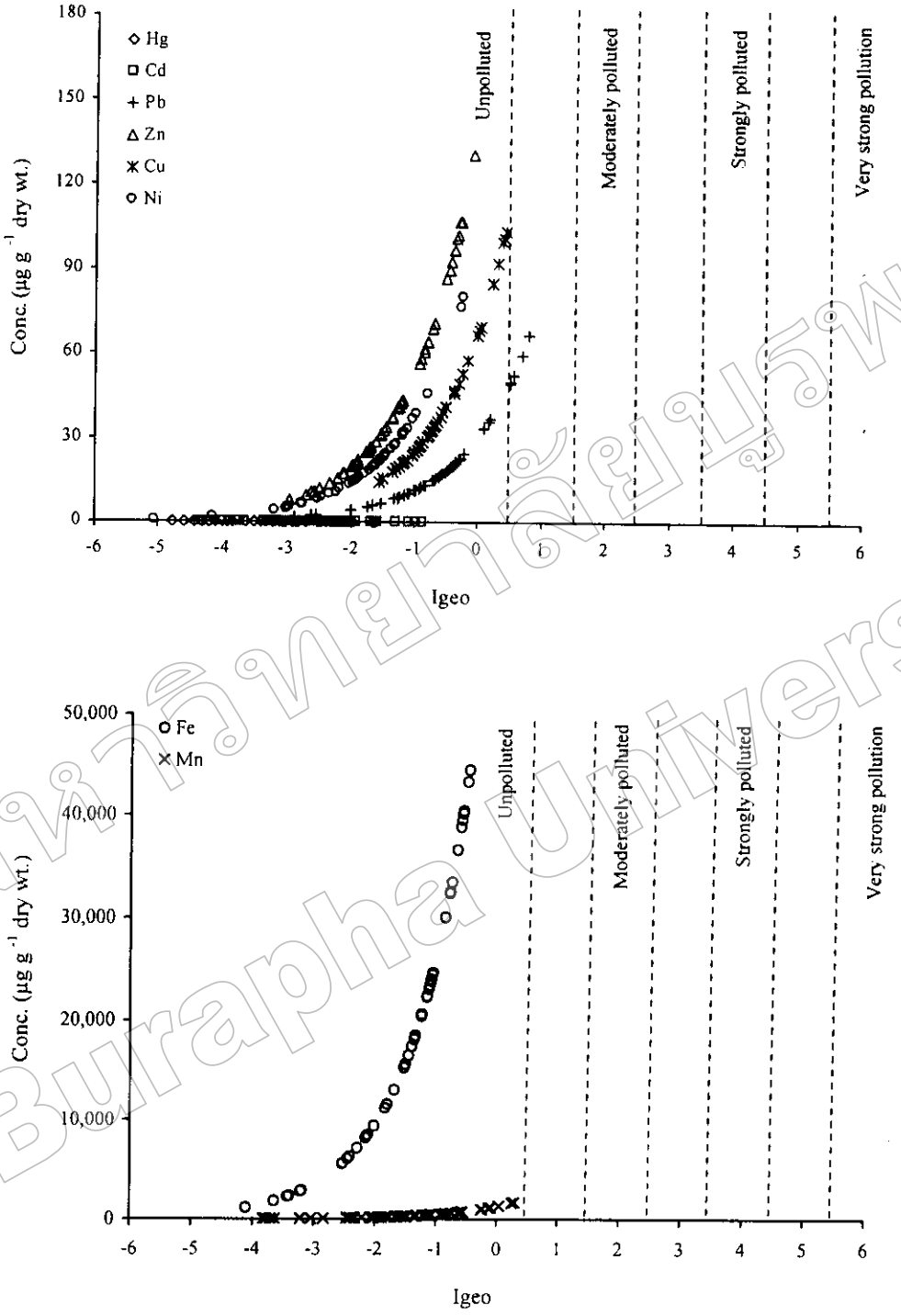
เนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์มากกว่าการใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961) ดังนั้นการเลือกใช้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติที่ถูกต้องจะทำให้การแปรผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเลือกใช้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติในพื้นที่ที่ศึกษา (local background values) จะมีความถูกต้องมากที่สุด (Loring and Rantala, 1992)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางที่ 21 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961)

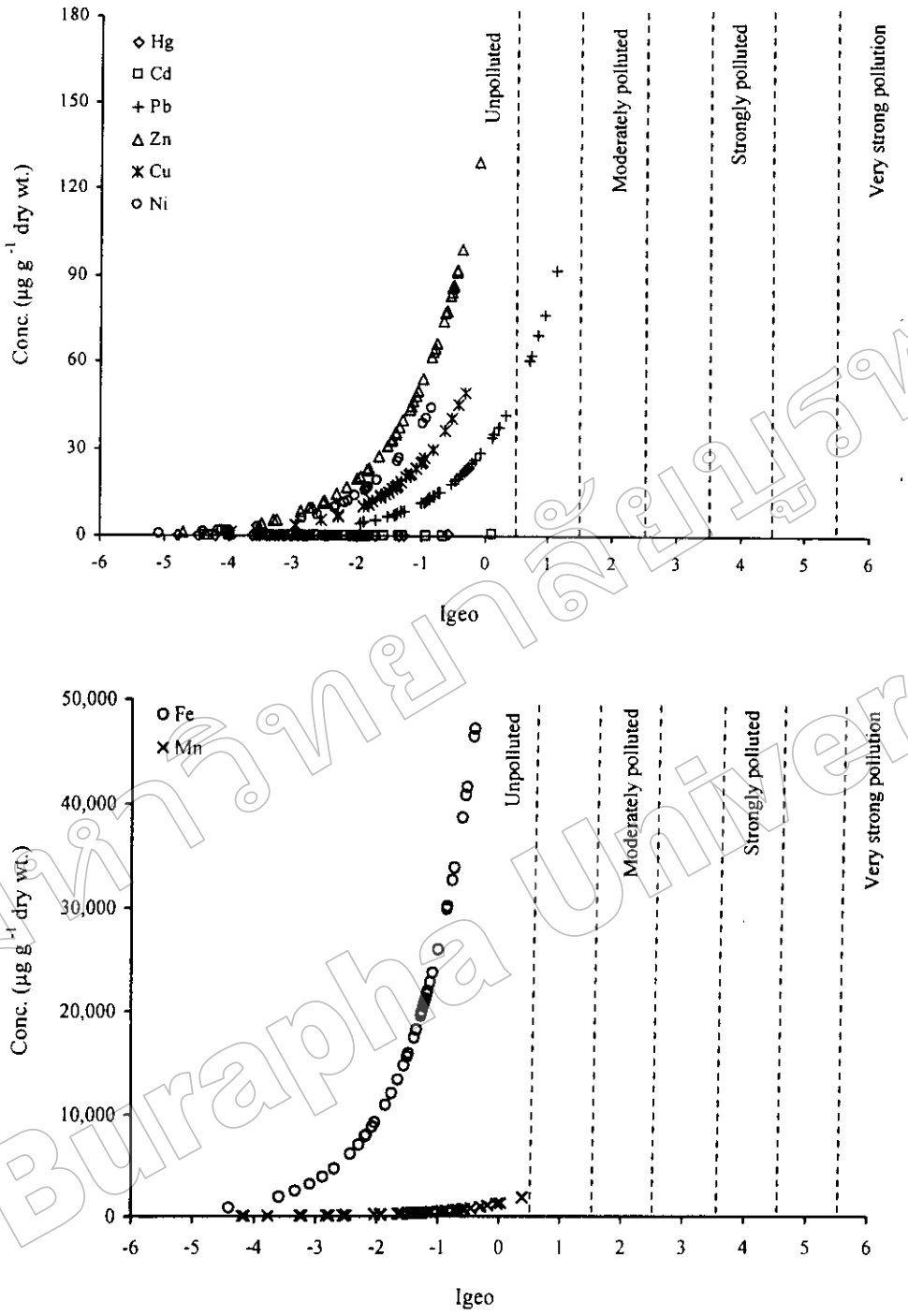
Zone	Heavy Metal	Dry season (March 2004)			Wet season (August 2004)		
		I*geo*	I*geo* Class	Sediment Quality	I*geo*	I*geo* Class	Sediment Quality
Zone A ปากแม่น้ำบางปะกง - อ่างศิลา (8 สถานี)	Hg	-2.39	0	Practically unpolluted	-2.32	0	Practically unpolluted
	Cd	-2.08	0	Practically unpolluted	-2.47	0	Practically unpolluted
	Pb	-0.42	0	Practically unpolluted	-0.52	0	Practically unpolluted
	Zn	-0.65	0	Practically unpolluted	-1.14	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.82	0	Practically unpolluted	-1.45	0	Practically unpolluted
	Ni	-1.42	0	Practically unpolluted	-1.53	0	Practically unpolluted
	Fe	-0.95	0	Practically unpolluted	-0.98	0	Practically unpolluted
	Mn	-0.26	0	Practically unpolluted	-0.34	0	Practically unpolluted
Zone C แหลมฉบัง (บางพระ - นาเกลือ) (11 สถานี)	Hg	-2.81	0	Practically unpolluted	-2.71	0	Practically unpolluted
	Cd	-2.26	0	Practically unpolluted	-2.22	0	Practically unpolluted
	Pb	-0.55	0	Practically unpolluted	-0.44	0	Practically unpolluted
	Zn	-1.54	0	Practically unpolluted	-1.88	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.84	0	Practically unpolluted	-2.15	0	Practically unpolluted
	Ni	-2.23	0	Practically unpolluted	-2.84	0	Practically unpolluted
	Fe	-1.78	0	Practically unpolluted	-1.89	0	Practically unpolluted
	Mn	-1.61	0	Practically unpolluted	-1.62	0	Practically unpolluted
Zone E มาบตาพุด (มาบตาพุด - ปากแม่น้ำระยอง) (11 สถานี)	Hg	-2.51	0	Practically unpolluted	-1.83	0	Practically unpolluted
	Cd	-2.03	0	Practically unpolluted	-1.33	0	Practically unpolluted
	Pb	0.06	1	Unpolluted to moderate	0.37	1	Unpolluted to moderate
	Zn	-1.15	0	Practically unpolluted	-0.85	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.67	0	Practically unpolluted	-1.75	0	Practically unpolluted
	Ni	-1.94	0	Practically unpolluted	-2.54	0	Practically unpolluted
	Fe	-1.73	0	Practically unpolluted	-1.63	0	Practically unpolluted
	Mn	-2.13	0	Practically unpolluted	-1.85	0	Practically unpolluted
Zone G จันทบุรี - ตราด (ปากแม่น้ำประแสร์ - ปากแม่น้ำตราด) (22 สถานี)	Hg	-2.87	0	Practically unpolluted	-2.47	0	Practically unpolluted
	Cd	-2.64	0	Practically unpolluted	-2.68	0	Practically unpolluted
	Pb	-0.86	0	Practically unpolluted	-0.80	0	Practically unpolluted
	Zn	-1.32	0	Practically unpolluted	-1.09	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.29	0	Practically unpolluted	-1.20	0	Practically unpolluted
	Ni	-1.28	0	Practically unpolluted	-4.39	0	Practically unpolluted
	Fe	-0.79	0	Practically unpolluted	-0.75	0	Practically unpolluted
	Mn	-0.91	0	Practically unpolluted	-0.80	0	Practically unpolluted

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 15 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



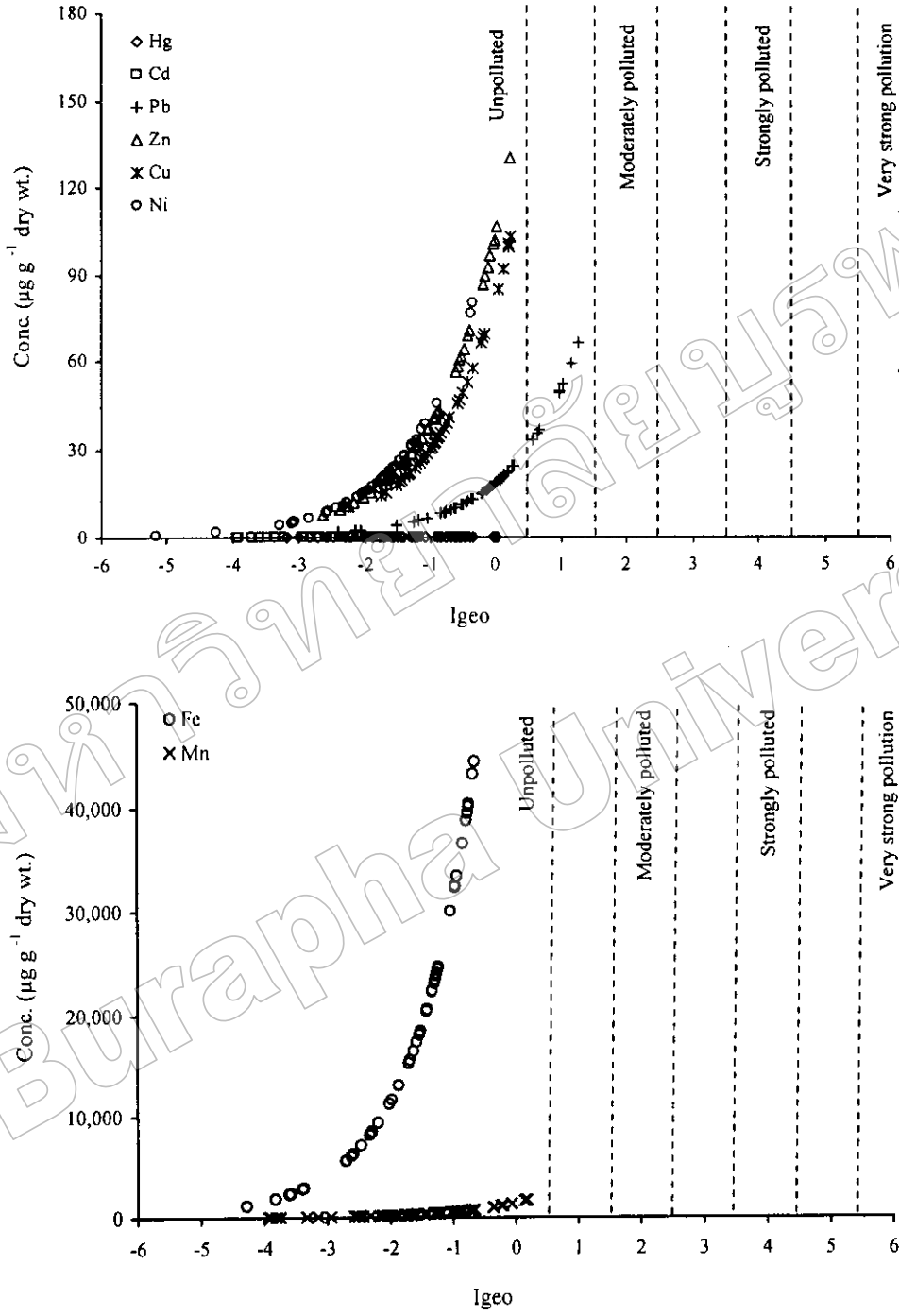
ภาพที่ 16 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 22 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และระดับการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964)

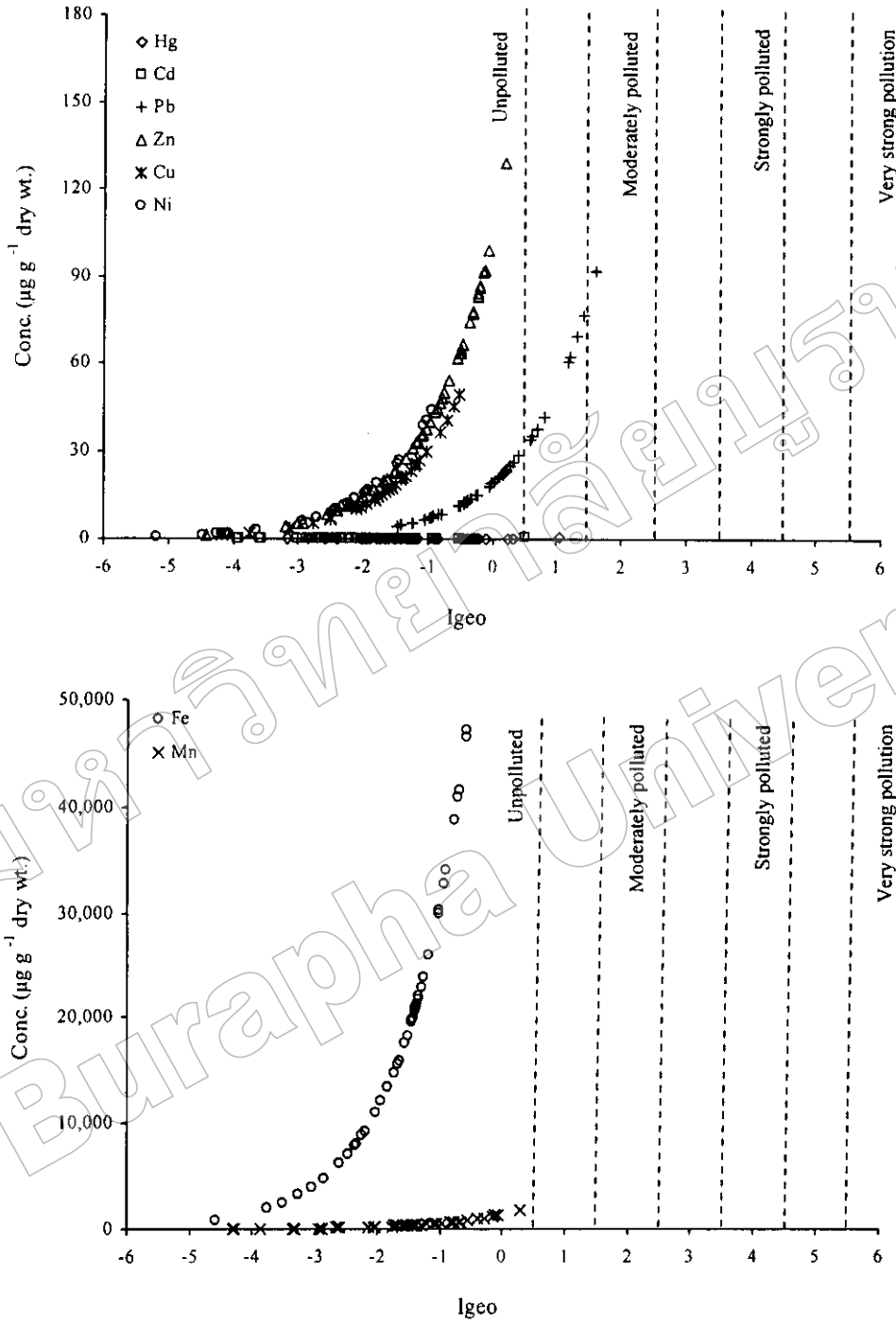
Zone	Heavy Metal	Dry season (March 2004)			Wet season (August 2004)		
		I*geo*	I*geo* Class	Sediment Quality	I*geo*	I*geo* Class	Sediment Quality
Zone A ปากแม่น้ำบางปะกง - อ่างศิลา (8 สถานี)	Hg	-0.78	0	Practically unpolluted	-0.71	0	Practically unpolluted
	Cd	-1.68	0	Practically unpolluted	-2.07	0	Practically unpolluted
	Pb	0.05	1	Unpolluted to moderate	-0.05	0	Practically unpolluted
	Zn	-0.34	0	Practically unpolluted	-0.84	0	Practically unpolluted
	Cu	-1.02	0	Practically unpolluted	-1.65	0	Practically unpolluted
	Ni	-1.52	0	Practically unpolluted	-1.63	0	Practically unpolluted
	Fe	-1.13	0	Practically unpolluted	-1.15	0	Practically unpolluted
	Mn	-0.37	0	Practically unpolluted	-0.45	0	Practically unpolluted
Zone C แหลมฉบัง (บางพระ - นาเกลือ) (11 สถานี)	Hg	-1.20	0	Practically unpolluted	-1.10	0	Practically unpolluted
	Cd	-1.85	0	Practically unpolluted	-1.81	0	Practically unpolluted
	Pb	-0.08	0	Practically unpolluted	0.03	1	Unpolluted to moderate
	Zn	-1.23	0	Practically unpolluted	-1.57	0	Practically unpolluted
	Cu	-1.04	0	Practically unpolluted	-2.35	0	Practically unpolluted
	Ni	-2.33	0	Practically unpolluted	-2.94	0	Practically unpolluted
	Fe	-1.96	0	Practically unpolluted	-2.06	0	Practically unpolluted
	Mn	-1.72	0	Practically unpolluted	-1.73	0	Practically unpolluted
Zone E มาบตาพุด (มาบตาพุด - ปากแม่น้ำระยอง) (11 สถานี)	Hg	-0.90	0	Practically unpolluted	-0.22	0	Practically unpolluted
	Cd	-1.63	0	Practically unpolluted	-0.92	0	Practically unpolluted
	Pb	0.53	1	Unpolluted to moderate	0.84	1	Unpolluted to moderate
	Zn	-0.85	0	Practically unpolluted	-0.55	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.87	0	Practically unpolluted	-1.95	0	Practically unpolluted
	Ni	-2.04	0	Practically unpolluted	-2.64	0	Practically unpolluted
	Fe	-1.90	0	Practically unpolluted	-1.81	0	Practically unpolluted
	Mn	-2.24	0	Practically unpolluted	-1.96	0	Practically unpolluted
Zone G จันทบุรี - ตราด (ปากแม่น้ำประแสร์ - ปากแม่น้ำตราด) (22 สถานี)	Hg	-1.26	0	Practically unpolluted	-0.86	0	Practically unpolluted
	Cd	-2.24	0	Practically unpolluted	-2.27	0	Practically unpolluted
	Pb	-0.39	0	Practically unpolluted	-0.33	0	Practically unpolluted
	Zn	-1.01	0	Practically unpolluted	-0.79	0	Practically unpolluted
	Cu	-0.49	0	Practically unpolluted	-1.40	0	Practically unpolluted
	Ni	-1.38	0	Practically unpolluted	-4.49	0	Practically unpolluted
	Fe	-0.96	0	Practically unpolluted	-0.93	0	Practically unpolluted
	Mn	-1.02	0	Practically unpolluted	-0.91	0	Practically unpolluted

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 17 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (I*geo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 18 ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) และปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติใช้ crustal average ของ Taylor (1964)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.4 คุณภาพดินตะกอน

คุณภาพดินตะกอนที่ทำการศึกษาจำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ในฤดูแล้งและฤดูฝน ได้รายงานไว้เป็นค่าต่ำสุด-สูงสุด และค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 23 โดยมีรายละเอียดของแต่ละสถานีแสดงไว้ในภาคผนวก จ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่พบทั้ง 2 ฤดูแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งพบว่าฤดูกาลไม่ค่อยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดินตะกอนมากนัก ยกเว้น ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสในบางพื้นที่เท่านั้น

จากข้อมูลคุณภาพดินตะกอนที่ได้จากการศึกษา สามารถจำแนกประเภทของดินที่พบในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกตามการจำแนกประเภทดิน (soil classes) ของ Soil Conservation Service และ US.EPA (Boulding, 1994) (ตารางที่ 24) ในแต่ละฤดูกาลได้ดังนี้

ฤดูแล้ง

ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนที่พบในฤดูแล้งมีค่าระหว่าง 7.0 - 8.9 จัดเป็นดินที่มีสภาพเป็นกลาง ถึง ด่างสูง โดยส่วนใหญ่ประมาณ 40 % เป็นดินที่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย คือมี pH ระหว่าง 7.4 – 7.8 และส่วนน้อย (6 %) มีสภาพเป็นกลาง ส่วนดินที่มีสภาพเป็นด่างสูงนั้น (pH 8.5 - 9) พบประมาณ 20 % โดยเฉพาะค่าสูงสุด (pH 8.9) พบที่บางพระ (C1.1) หนองแฟบ (E1) ปลายท่าเรือ (E1.1) และแม่น้ำพังราด (G2) นอกจากนี้พบว่าในพื้นที่อุตสาหกรรมทั้งแหลมฉบังและมาบตาพุด มีปริมาณสารอินทรีย์ และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนอิอออนบวก (CEC) ค่อนข้างต่ำ ถึง ต่ำ โดยเฉพาะที่มาบตาพุดมีค่าต่ำมาก (สารอินทรีย์ < 0.5 % และ CEC ส่วนใหญ่ < 12 cmol kg^{-1}) ส่วนบริเวณที่พบว่ามีค่า CEC สูง (> 20 cmol kg^{-1}) ได้แก่ ปากแม่น้ำบางปะกง อ่าวชลบุรี ปากแม่น้ำเวฬุ และปากแม่น้ำตราดบางสถานี โดยเฉพาะที่ปากแม่น้ำบางปะกง และอ่าวชลบุรี มีค่า CEC สูงมาก (> 30 cmol kg^{-1}) สำหรับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่พบสูงมาก (> 4 %) ในบริเวณปากแม่น้ำเวฬุและอ่าวชลบุรี

สำหรับแคลเซียมคาร์บอเนต และออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ซึ่งไม่มีการจำแนกประเภทไว้ตามตารางที่ 24 จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงมาก ได้แก่ แหลมฉบัง (C3.1) ตลาดนาเกลือ (C6.1) บางพระ (C1.1) และ ผาแดง (C2.1) ตามลำดับ โดยมีค่า 10-12 % บริเวณปากแม่น้ำพบแคลเซียมคาร์บอเนตน้อยมากส่วนใหญ่ไม่ถึง 5 % ส่วนออกไซด์ของเหล็ก พบสูงมากในบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ และ ปากแม่น้ำตราด รองลงมาคือ ปากแม่น้ำบางปะกง ในขณะที่ออกไซด์ของแมงกานีสพบสูงมากบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง รองลงมา คือ ปากแม่น้ำเวฬุ และ ปากแม่น้ำตราด ตามลำดับ

ลักษณะของดินตะกอนพื้นท้องทะเลในฤดูแล้ง พบว่า ในพื้นที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นดินทราย และดินร่วนปนทราย มีเนื้อดินเหนียวค่อนข้างน้อย ส่วนบริเวณปากแม่น้ำ ได้แก่ บางปะกง จันทบุรี เวฬุ และตราด ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วน และดินร่วนปนทรายแป้ง มีอนุภาคของทรายแป้งและดินเหนียวมากกว่าบริเวณอื่นๆ สำหรับปากแม่น้ำประแสร์และพังราดมีลักษณะเป็นดินทรายปนดินร่วน

ฤดูฝน

ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนที่พบในฤดูฝน มีค่าระหว่าง 6.5 – 8.9 จัดเป็นดินที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย จนถึง ด่างสูง โดยส่วนใหญ่ (46 %) เป็นดินที่มีสภาพเป็นด่างปานกลาง (pH 7.9-8.4) รองลงมาเป็นดินที่เป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.4-7.8) (30 %) และด่างสูง (pH 8.5 - 9.0) (14 %) ส่วนดินที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย (pH 6.5) พบเพียงสถานีเดียว คือปากแม่น้ำตราด (G6) และดินที่มีสภาพเป็นด่างสูงที่สุด (pH 8.9) พบเพียงสถานีเดียวเช่นกัน คือ ท่าเรือแหลมฉบัง (C4)

ปริมาณสารอินทรีย์ในพื้นที่อุตสาหกรรมโดยเฉพาะที่มาบตาพุดมีค่าค่อนข้างต่ำ (1-2 %) ส่วนบริเวณที่พบว่ามีสารอินทรีย์ต่ำมาก (< 0.5 %) ได้แก่ ปากคลองบ้านตากวน(E4.1) อ่าวคุ้งกระเบน (G3) และปากแม่น้ำจันทบุรี (G4.2) สำหรับบริเวณที่มีสารอินทรีย์สูงมาก ได้แก่ปากแม่น้ำเวฬุมีค่าระหว่าง 8.1 – 12.4 % ซึ่งสูงกว่าที่พบในฤดูแล้งประมาณ 2 เท่า รองลงมาได้แก่ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงและอ่าวชลบุรี สำหรับค่า CEC ของดินตะกอนพบสูงมาก (> 30 cmol kg^{-1}) บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงรองลงมาได้แก่ ปากแม่น้ำเวฬุ เป็นที่สังเกตว่า บริเวณที่พบสารอินทรีย์สูงมักพบว่ามีค่า CEC สูงตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์เป็นต้นกำเนิดของค่า CEC ในดิน โดยมีการประมาณว่า มากกว่า 80 % ของค่า CEC มาจากสารอินทรีย์ เนื่องจากสารอินทรีย์มีประจุเป็นลบที่ pH มากกว่า 3 และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นประจุลบจะเพิ่มขึ้นด้วย (Sparks, 1995) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ดินที่มีสารอินทรีย์สูงมักมีค่า CEC สูงด้วย

ในฤดูฝน พบแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่าฤดูแล้ง โดยเฉพาะค่าสูงสุดพบสูงถึง 20 % ที่บางพระ (C1.1) และปากคลองบ้านตากวน (E4) รองลงมาได้แก่ ที่ ผาแดง อ่าวอุดม และแหลมฉบัง มีค่าระหว่าง 12 -19 % สำหรับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสนั้นพบว่าในฤดูฝนมีปริมาณน้อยกว่าฤดูแล้ง โดยเฉพาะมีการลดลงของออกไซด์ของแมงกานีสมากกว่าออกไซด์ของเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของโลหะทั้งสองมีอยู่มากในดินตะกอนที่มีออกซิเจน (oxidizing environment) (Olsen et al., 1982; Dickinson et al., 1996) ซึ่งจะทำให้เหล็กและแมงกานีสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ (Libes, 1992) แต่ในสภาวะที่ขาดออกซิเจนจะถูกรีดิวส์ (reduce) มาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (Mn^{2+} และ Fe^{2+}) และเคลื่อนย้ายเข้าสู่ชั้นน้ำในที่สุด (Olsen et al., 1982) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณออกไซด์ที่พบในดินตะกอนลดลงในฤดูฝน ประกอบกับออกไซด์ของเหล็กที่ไม่ละลายน้ำถูกรีดิวส์ได้ยากกว่าออกไซด์ของแมงกานีส (Sparks, 1995) จึงทำให้ออกไซด์ของแมงกานีสในดินตะกอนมีอัตราการลดลงได้มากกว่าออกไซด์ของเหล็ก อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าเหล็กและแมงกานีสจะถูกละลายออกจากดินตะกอนเข้าสู่ชั้นน้ำในฤดูฝน แต่จากการศึกษาครั้งนี้กลับพบว่าปริมาณของเหล็กและแมงกานีสในน้ำทะเลในฤดูฝน ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าที่พบในฤดูแล้ง (ภาพที่ 7) สาเหตุอาจเป็นเพราะว่าโลหะทั้งสองถูกใช้ไปโดยแพลงก์ตอนพืชสำหรับการเจริญเติบโตเนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์สำหรับแพลงก์ตอนพืชด้วย

นอกจากนี้พบว่าลักษณะของดินตะกอนพื้นท้องทะเลในฤดูฝนมีปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้งสูงกว่าที่พบในฤดูแล้ง โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียวพบสูงมากที่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง

ลักษณะของเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียว และดินร่วนปนทรายแป้ง ส่วนที่เป็นดินทรายนั้นพบได้ในเขตอุตสาหกรรม

ตารางที่ 23 คุณภาพดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์

Zone	Sediment Characteristic	Dry season		Wet season	
		Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD
Zone A ปากแม่น้ำบางปะกง - อ่างศิลา (8 สถานี)	pH	7.3 - 8.3	7.8 ± 0.4	7.3 - 8.6	8.0 ± 0.4
	$CaCO_3$ Equivalent (%)	0.41 - 4.69	2.05 ± 1.95	1.79 - 9.51	5.50 ± 3.09
	Organic Matter (%)	0.8 - 5.0	2.8 ± 1.4	0.7 - 4.5	2.9 ± 1.4
	CEC (cmol kg^{-1})	5.40 - 36.20	22.53 ± 13.46	4.00 - 38.60	21.50 ± 14.57
	Fe Oxides (mg g^{-1})	0.94 - 6.62	2.17 ± 1.84	0.25 - 2.43	1.03 ± 0.96
	Mn Oxides (mg g^{-1})	0.35 - 2.04	1.05 ± 0.67	0.06 - 1.35	0.48 ± 0.45
	Sand (%)	7.1 - 68.4	41.0 ± 22.9	2.8 - 80.8	33.5 ± 31.5
	Silt (%)	16.6 - 75.3	39.6 ± 20.4	8.0 - 60.0	38.4 ± 20.6
	Clay (%)	15.0 - 28.2	19.4 ± 4.5	11.2 - 49.2	28.1 ± 12.7
Zone C แหลมฉบัง (บางพระ - นาเกลือ) (11 สถานี)	pH	8.1 - 8.9	8.4 ± 0.3	8.0 - 8.9	8.3 ± 0.2
	$CaCO_3$ Equivalent (%)	2.64 - 12.40	7.23 ± 3.36	6.04 - 20.51	11.67 ± 4.75
	Organic Matter (%)	0.5 - 4.1	2.2 ± 1.4	0.5 - 4.5	2.0 ± 1.3
	CEC (cmol kg^{-1})	1.8 - 21.2	9.9 ± 7.9	1.0 - 21.8	8.7 ± 8.0
	Fe Oxides (mg g^{-1})	0.34 - 1.77	0.97 ± 0.45	0.15 - 0.67	0.32 ± 0.13
	Mn Oxides (mg g^{-1})	0.04 - 0.34	0.17 ± 0.10	0.03 - 0.23	0.10 ± 0.07
	Sand (%)	22.1 - 91.4	59.6 ± 28.2	21.1 - 91.9	56.9 ± 27.6
	Silt (%)	1.6 - 61.3	29.2 ± 24.0	1.1 - 62.0	28.8 ± 23.7
	Clay (%)	6.4 - 17.9	11.2 ± 4.6	6.8 - 21.2	14.2 ± 4.9
Zone E มาบตาพุด (มาบตาพุด - ปากแม่น้ำระยอง) (11 สถานี)	pH	7.3 - 8.9	8.2 ± 0.6	7.3 - 8.6	8.0 ±0.4
	$CaCO_3$ Equivalent (%)	0.48 - 8.76	3.47 ± 2.54	2.32 - 20.65	7.11 ± 5.25
	Organic Matter (%)	0.2 - 4.3	2.2 ± 1.5	0.3 - 3.8	2.1 ±1.2
	CEC (cmol kg^{-1})	1.40 - 26.0	10.1 ± 8.7	2.2 - 18.6	10.8 ± 5.9
	Fe Oxides (mg g^{-1})	0.19 - 5.82	1.70 ± 1.77	0.04 - 1.11	0.62 ± 0.38
	Mn Oxides (mg g^{-1})	0.02 - 0.32	0.13 ± 0.11	0.02 - 0.45	0.11 ± 0.13
	Sand (%)	18.1 - 93.4	60.0 ± 32.0	5.8 - 92.6	43.7 ± 35.3
	Silt (%)	0 - 65.0	29.0 ± 28.5	1.5 - 62.5	32.4 ± 27.9
	Clay (%)	6.0 - 37.8	15.2 ± 10.0	5.9 - 85.8	23.8 ± 22.5

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Zone	Sediment Characteristic	Dry season		Wet season	
		Range	Mean ± SD	Range	Mean ± SD
Zone G จันทบุรี - ตราด (ปากแม่น้ำประแสร์ - ปากแม่น้ำตราด) (22 สถานี)	pH	7.0 – 8.9	7.8 ± 0.4	6.5 - 8.6	7.7 ± 0.5
	$CaCO_3$ Equivalent (%)	0.13 – 6.08	2.26 ± 1.71	1.68 - 6.55	4.25 ± 1.44
	Organic Matter (%)	0.5 – 6.2	2.5 ± 1.7	0.2 - 12.4	3.9 ± 3.8
	CEC (cmol kg^{-1})	2.2 – 33.4	12.5 ± 8.9	2.4 - 32.4	14.0 ± 8.8
	Fe Oxides (mg g^{-1})	0.46 – 9.03	4.42 ± 2.34	0.24 - 2.19	1.15 ± 0.56
	Mn Oxides (mg g^{-1})	0.05 – 0.60	0.31 ± 0.17	0.06 - 0.55	0.25 ± 0.15
	Sand (%)	16.1 – 91.7	45.3 ± 28.2	7.8 - 88.9	37.7 ± 24.4
	Silt (%)	1.0 – 70.6	40.2 ± 24.3	4.5 - 76.0	45.8 ± 22.8
	Clay (%)	6.3 – 22.2	14.5 ± 5.1	5.6 - 38.4	19.4 ± 8.0

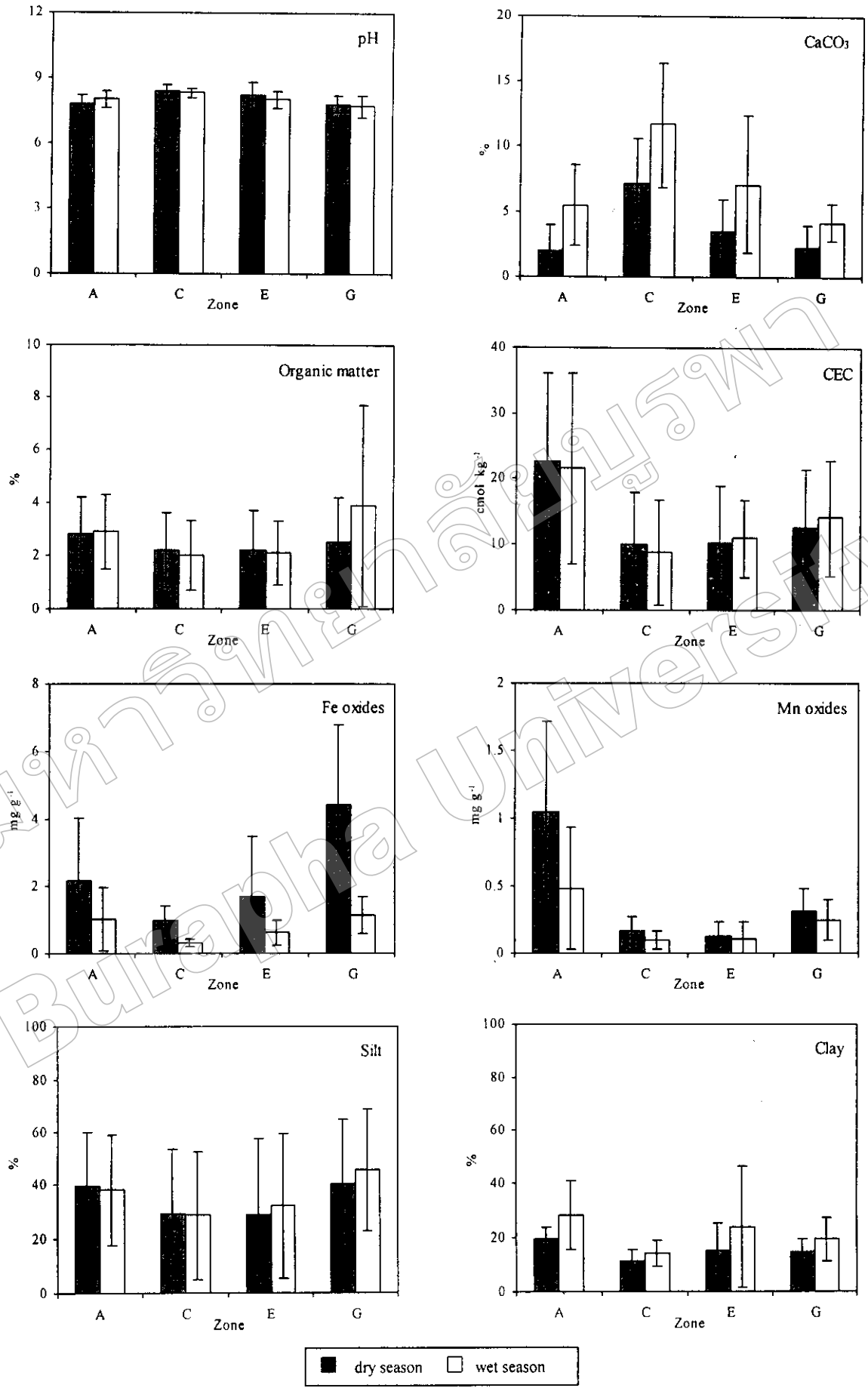
SD = standard deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตารางที่ 24 การจำแนกประเภทดิน (soil classes) *

Parameters	Soil Classes
pH	
6.1 - 6.5	ดินที่มีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)
6.6 - 7.3	ดินที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral)
7.4 - 7.8	ดินที่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)
7.9 - 8.4	ดินที่มีสภาพเป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)
8.5 - 9.0	ดินที่มีสภาพเป็นด่างสูง (high alkaline)
Organic matter (%)	
< 0.5	ดินที่มีสารอินทรีย์ต่ำมาก (very low)
0.5 – 1	ดินที่มีสารอินทรีย์ต่ำ (low)
1 - 2	ดินที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างต่ำ (moderately low)
2 - 4	ดินที่มีสารอินทรีย์ปานกลาง (medium)
> 4	ดินที่มีสารอินทรีย์สูง (high)
CEC (cmol kg^{-1})	
< 12	ดินที่มีค่า CEC ต่ำ (low)
12 - 20	ดินที่มีค่า CEC ปานกลาง (medium)
> 20	ดินที่มีค่า CEC สูง (high)

* สรุปจากรายงานของ Boulding (1994)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบคุณภาพดินตะกอน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์ ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คุณภาพของดินตะกอนที่สำคัญ ได้แก่ สารอินทรีย์ ค่า CEC และ ดินเหนียว สามารถนำไปใช้คาดคะเนได้ว่าบริเวณที่มีองค์ประกอบในดินตะกอนทั้งสามประการสูง จะทำให้ดินตะกอนบริเวณนั้นมีความสามารถดูดซับโลหะหนักไว้ได้สูงด้วย (Thongra-ar, 2001) โดยเฉพาะสารอินทรีย์ถึงแม้จะมีค่าต่ำก็ตาม (< 1 %) แต่ยังคงประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้สูงเนื่องจากมีความว่องไว (reactivity) สูงในเกิดปฏิกิริยาเคมีในดินตะกอน (soil chemical reaction) ประกอบกับมีพื้นที่ผิว (specific surface) ที่สูงมากด้วย (Sparks, 1995)

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการโดยการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่ามีความสัมพันธ์กันดังแสดงในตารางที่ 25 และ 26 ตามลำดับ ดังมีรายละเอียดที่สำคัญจำแนกตามฤดูกาล ดังนี้

ฤดูแล้ง พบว่า ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และนิเกิล มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยเฉพาะความสัมพันธ์ในระดับสูงระหว่างปรอทกับสังกะสี (r = 0.811) ปรอทกับแคดเมียม (r = 0.715) แคดเมียมกับสังกะสี (r = 0.628) และสังกะสีกับนิเกิล (r = 0.747) แสดงว่าโลหะหนักกลุ่มดังกล่าวน่าจะเกิดอยู่รวมกันหรือมีแหล่งกำเนิดเดียวกัน และโลหะหนักดังกล่าวยกเว้นแคดเมียมและตะกั่ว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับเหล็กและแมงกานีสรวมทั้งออกไซด์ของโลหะทั้งสองด้วย แสดงว่า ปรอท สังกะสี และ นิเกิล จับตัวอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส นอกจากนี้ ทั้งปรอท สังกะสี และนิเกิล รวมทั้งเหล็กและแมงกานีส มีความสัมพันธ์ทางลบกับแคลเซียมคาร์บอเนตและความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน แสดงว่า แคลเซียมคาร์บอเนต ทำหน้าที่เป็นวัสดุเจือจางให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอนลดน้อยลง และหากดินตะกอนมีสภาพเป็นด่างสูง จะทำให้พบโลหะหนักดังกล่าวน้อย ปรอท สังกะสี และนิเกิล รวมทั้งเหล็กและแมงกานีส ยังมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณสารอินทรีย์ ดินเหนียว และทรายแป้ง ซึ่งบ่งชี้ว่า นอกจากออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสแล้ว องค์ประกอบในดินตะกอนทั้งสามดังกล่าว ยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับอีกด้วย โดยเฉพาะสารอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับที่ดีของปรอท รองลงมา ได้แก่ ทรายแป้ง ดินเหนียว และออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ตามลำดับ ส่วนดินเหนียวทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับสำหรับสังกะสีได้ดีกว่าสารอินทรีย์ สำหรับตะกั่วและแคดเมียมไม่พบความสัมพันธ์กับออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส แต่พบความสัมพันธ์ทางบวกกับสารอินทรีย์ ดินเหนียว และทรายแป้ง แสดงว่า โลหะหนักทั้งสองจับตัวอยู่กับ สารอินทรีย์ ดินเหนียว และทรายแป้ง ได้ดีกว่า

โลหะหนักทุกชนิด ยกเว้น ทองแดง มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า CEC โดยเฉพาะกับสังกะสีมากที่สุด ทำให้ดินตะกอนที่มีค่า CEC สูง สามารถดูดซับโลหะหนักได้สูงด้วย ทั้งนี้ ค่า CEC จะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณสารอินทรีย์ ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส รวมทั้งอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้ง ดังนั้นหากดินตะกอนใดมีองค์ประกอบดังกล่าวสูงจะทำให้มีค่า CEC สูง และจะพบโลหะ

หนักในดินตะกอนสูงด้วย และจากการศึกษาความสัมพันธ์ในฤดูแล้งนี้ พบว่า ทองแดงเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่ไม่พบความสัมพันธ์กับโลหะหนักชนิดอื่นและคุณภาพดินตะกอนใดๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอน โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (ตารางที่ 25) พบว่าองค์ประกอบในดินตะกอนที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) โลหะหนักที่ดีในฤดูแล้ง สามารถสรุปเรียงตามลำดับได้ดังนี้

Hg : organic matter > silt > clay > Fe oxides > Mn oxides

Cd : clay = silt > organic matter

Pb : clay > silt > organic matter

Zn : clay > Mn oxides > silt > organic matter > Fe oxides

Ni : Fe oxides > silt > organic matter > clay > Mn oxides

Fe : Fe oxides > Mn oxides > silt > organic matter > clay

Mn : Mn oxides > silt > clay > Fe oxides > organic matter

ฤดูฝน พบว่า ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และ นิเกิล มีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยเฉพาะพบความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ระหว่างปรอทกับแคดเมียม ($r = 0.900$) ปรอทกับสังกะสี ($r = 0.794$) และสังกะสีกับทองแดง ($r = 0.791$) ความสัมพันธ์ดังกล่าวคล้ายกับที่พบในฤดูแล้ง เพียงแต่ในฤดูฝนมีทองแดงเข้ามามีส่วนร่วมด้วย โลหะหนักในกลุ่มดังกล่าว ยกเว้นแคดเมียมและตะกั่ว ยังมีความสัมพันธ์กับเหล็กและแมงกานีสรวมทั้งออกไซด์ของโลหะทั้งสองเช่นเดียวกับที่พบในฤดูแล้ง นอกจากนี้พบความสัมพันธ์ทางลบระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับสังกะสีและทองแดง รวมทั้งเหล็กและแมงกานีส แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวกับ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว และทองแดง

ปรอท สังกะสี และทองแดง มีความสัมพันธ์ทางลบกับความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน ซึ่งทำให้ดินที่มีสภาพเป็นด่างสูงจะพบโลหะดังกล่าวได้น้อย นอกจากนี้โลหะหนักทุกชนิด ยกเว้นแคดเมียมและตะกั่ว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า CEC ทำให้ดินตะกอนที่มีค่า CEC สูง จะพบโลหะหนักในดินตะกอนสูงด้วย และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตารางที่ 26) พบว่า ตัวดูดซับที่ดีสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิดในฤดูฝน เรียงตามลำดับได้ดังนี้

Hg : silt > Fe oxides > Mn oxides > organic matter

Cd : silt

Pb : clay

Zn : Fe oxides > silt > clay > Mn oxides

Cu : Fe oxides > silt > Mn oxides > organic matter > clay

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Ni : Mn oxides > clay > silt > Fe oxides

Fe : Fe oxides > silt > Mn oxides > clay > organic matter

Mn : Mn oxides > Fe oxides > organic matter = silt

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะสังเกตได้ว่าในฤดูฝน ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับที่ดีของ สังกะสี ทองแดง และ นิเกิล รวมทั้งเหล็กและแมงกานีสและแม้แต่ปรอทด้วย แต่ไม่ใช่ตัวดูดซับที่ดีสำหรับแคดเมียมและตะกั่ว สำหรับสารอินทรีย์ได้ลดบทบาทลงในการเป็นตัวดูดซับที่ดีสำหรับปรอทเมื่อเทียบกับที่พบในฤดูแล้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (n = 52)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	pH	$CaCO_3$	Org. Matter	CEC	Fe Oxides	Mn Oxides	% Clay	% Silt	% Sand
Hg	1.000																
Cd	.715**	1.000															
Pb	.559**	.612**	1.000														
Zn	.811**	.628**	.474**	1.000													
Cu	-.128	.008	-.062	.003	1.000												
Ni	.587**	.368**	.129	.818**	.020	1.000											
Fe	.315*	.054	.071	.492**	.167	.509**	1.000										
Mn	.334*	.075	.036	.594**	.057	.515**	.697**	1.000									
pH	-.492**	-.219	-.255	-.619**	-.043	-.503**	-.697**	-.567**	1.000								
$CaCO_3$	-.279*	-.062	-.066	-.415**	-.251	-.256	-.363**	-.286*	.499**	1.000							
Org. Matter	.678**	.394**	.348*	.558**	-.206	.443**	.345*	.352*	-.549**	-.035	1.000						
CEC	.689**	.413**	.408**	.791**	-.125	.627**	.576**	.677**	-.661**	-.288*	.719**	1.000					
Fe Oxides	.402**	.055	.074	.390**	.022	.408**	.575**	.366**	-.679**	-.421**	.553**	.480**	1.000				
Mn Oxides	.349*	.108	.092	.610**	-.097	.470**	.440**	.803**	-.492**	-.277*	.401**	.721**	.175	1.000			
% Clay	.551**	.418**	.602**	.667**	-.213	.504**	.336*	.383**	-.559**	-.331*	.515**	.633**	.431**	.395**	1.000		
% Silt	.595**	.413**	.481**	.584**	-.070	.425**	.424**	.439**	-.643**	-.213	.671**	.756**	.554**	.434**	.638**	1.000	
% Sand	-.629**	-.440**	-.448**	-.640**	.104	-.478**	-.439**	-.485**	.671**	.252	-.687**	-.789**	-.593**	-.477**	-.668**	-.982**	1.000

*, ** : Significant at $p = 0.05$ and 0.01 respectively

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 26 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนบางประการในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (n = 52)

	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn	pH	$CaCO_3$	Org. Matter	CEC	Fe Oxides	Mn Oxides	% Clay	% Silt	% Sand
Hg	1.000																
Cd	.900**	1.000															
Pb	.583**	.639**	1.000														
Zn	.794**	.615**	.505**	1.000													
Cu	.494**	.214	.067	.791**	1.000												
Ni	.358**	.075	-.051	.671**	.854**	1.000											
Fe	.346**	.025	-.064	.690**	.939**	.899**	1.000										
Mn	.354**	.057	-.052	.478**	.653**	.677**	.668**	1.000									
pH	-.388**	-.133	-.155	-.689**	-.740**	-.678**	-.788**	-.537**	1.000								
$CaCO_3$	-.077	.133	.044	-.327*	-.456**	-.393**	-.458**	-.298*	.465**	1.000							
Org. Matter	.285*	.105	.142	.217	.344*	.151	.314*	.562**	-.362*	-.167	1.000						
CEC	.281*	.016	.025	.445**	.584**	.578**	.563**	.776**	-.449**	-.311*	.625**	1.000					
Fe Oxides	.386**	.085	-.014	.625**	.772**	.693**	.776**	.725**	-.701**	.523*	.501**	.682**	1.000				
Mn Oxides	.327*	.088	.002	.368**	.439**	.493**	.455**	.842**	-.418**	*.275	.522**	.762**	.740**	1.000			
% Clay	.186	.083	.463**	.484**	.344*	.428**	.392**	.258	-.428**	-.296*	.099	.304*	.303*	.227	1.000		
% Silt	.480**	.311*	.196	.524**	.582**	.360*	.476**	.565**	-.499**	-.160	.586**	.621**	.586**	.512**	.237	1.000	
% Sand	-.511**	-.312*	-.394**	-.667	-.651**	-.528**	-.579**	-.599**	.605**	.256	-.550**	-.676**	-.610**	-.532**	-.600**	-.875**	1.000

*, ** : Significant at p = 0.05 and 0.01 respectively

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเลและดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จ. ฉะเชิงเทรา ถึง ปากแม่น้ำตราด จ. ตราด รวม 52 สถานี จำแนกตามพื้นที่การใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และพื้นที่อุตสาหกรรม ในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) และฤดูฝน (สิงหาคม 2547) โดยศึกษาโลหะหนักรวม 8 ชนิด คือ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล พบว่าส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นเหล็กและแมงกานีส บริเวณที่พบมีค่าสูงเกินมาตรฐานอยู่ในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะส่วนใหญ่พบสูงมากที่ปากแม่น้ำเวฬุ จ.จันทบุรี ส่วนในพื้นที่อุตสาหกรรมทั้ง 2 บริเวณ คือ แหลมฉบังและมาบตาพุด โลหะหนักในน้ำทะเลที่พบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด

2. สำหรับโลหะหนักชนิดอื่นซึ่งถึงแม้ว่าค่าที่ตรวจพบยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็ตาม แต่พบว่า แคดเมียม เป็นโลหะหนักที่พบสูงมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่นในน้ำทะเลในพื้นที่อุตสาหกรรม โดยเฉพาะที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ส่วนโลหะหนักชนิดอื่น ได้แก่ ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง นิเกิล เหล็ก และแมงกานีส พบสูงมากในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งส่วนใหญ่พบในบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง-อ่างศิลา ยกเว้น เหล็ก สำหรับปริมาณปรอทที่พบนั้นไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และฤดูกาลแต่มีแนวโน้มว่าในฤดูฝนในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำพบสูงกว่าในพื้นที่อุตสาหกรรม

3. การปนเปื้อนโลหะหนักในดินตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของต่างประเทศเนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานโลหะหนักในดินตะกอนกำหนดไว้ พบว่า แคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนโลหะหนักชนิดอื่นมีค่าสูงเกินมาตรฐานในบางสถานีและบางฤดูกาล ที่สำคัญ ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว และสังกะสี พบค่าสูงสุดที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและมีค่าเกินมาตรฐานของฟลอริดาด้วย สำหรับโลหะหนักที่มีค่าสูงเกินมาตรฐานและพบในทุกพื้นที่ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ทองแดงและนิเกิล แต่พบเพียงบางสถานีเท่านั้น ส่วนเหล็กและแมงกานีสซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงมากในดินตะกอนพบมากในบริเวณปากแม่น้ำ จ. จันทบุรี และตราด รวมทั้งพบแมงกานีสสูงมากที่ปากแม่น้ำบางปะกงด้วย

4. การประเมินระดับความรุนแรงการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนจากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี (*Igeo*) โดยเทียบกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดจากธรรมชาติ พบว่า มีเพียงตะกั่วเท่านั้นที่อาจมีบางส่วนปนเปื้อนมาจากกิจกรรมของมนุษย์แต่ไม่อยู่ในระดับที่รุนแรงแต่อย่างใด ($0 < Igeo < 1$) พบในพื้นที่อุตสาหกรรม โดยเฉพาะนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีการปนเปื้อนมากที่สุด

5. โลหะหนักในน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมากกว่าที่พบในดินตะกอน โดยปรอท และสังกะสีในน้ำทะเลที่ตรวจพบในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง ในขณะที่แคดเมียมและตะกั่วพบในฤดูแล้งมากกว่าในฤดูฝน ส่วนนิเกิลและทองแดงนั้นไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ด้วย สำหรับ

โลหะหนักในดินตะกอนทุกชนิดที่ทำการศึกษา ยกเว้นทองแดง มีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

6.โลหะหนักในน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะหนักและฤดูกาล นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิดยังมีความสัมพันธ์ระหว่างกันอีกด้วย โดยเฉพาะ ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส พบความสัมพันธ์ระหว่างกันทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน และปริมาณที่พบยังสัมพันธ์กับความเค็ม ตะกอนแขวนลอย และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ โดยจะมีความเข้มข้นสูงเมื่อความเค็มของน้ำลดลงและเมื่อมีปริมาณตะกอนแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ พบว่าแคดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดเดียวที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความเค็มซึ่งจะมีความเข้มข้นสูงเมื่อความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้น

7. ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอนมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะหนักและฤดูกาล โลหะหนักเกือบทุกชนิดมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนอิออนบวกของดินตะกอน และส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับสารอินทรีย์ ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส ดินเหนียว และ ทรายแป้ง และมีความสัมพันธ์ทางลบกับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอน นอกจากนี้โลหะหนักบางชนิดยังมีความสัมพันธ์ระหว่างกันอีกด้วย โดยเฉพาะ ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี และนิเกิล ซึ่งพบได้ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

8. จากความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและคุณภาพดินตะกอน ทำให้ พบว่าสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในการดูดซับปรอทโดยเฉพาะมีบทบาทสูงมากในฤดูแล้ง ส่วนออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส เป็นตัวดูดซับหลักสำหรับโลหะหนักหลายชนิดในฤดูแล้งและฤดูฝน ยกเว้นแคดเมียมและตะกั่ว ซึ่งจะถูกดูดซับได้ดีโดยอนุภาคดินเหนียวและทรายแป้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2546 ก. สถานการณ์โลหะหนักในตะกอนดินและเนื้อเยื่อสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. 2546 ข. ทะเลไทย...วันนี้. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 180 น.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547 ก. มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย. ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 242 น.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547 ข. รายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำ. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 60 น.

กองปฐพีวิทยา. 2537. วิธีวิเคราะห์ดินและพืช. กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. กรมวิชาการเกษตร.

กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2527. การสำรวจคุณภาพน้ำในย่านน้ำกร่อย. ใน การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 26 - 28 มีนาคม 2527, ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. น. 62 - 78.

ฉลวย มุสิกะ. 2544. พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวาริชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา. 121 น.

ชลัญญา ธารบุปผา และสุวรรณี เฉลิมบำรุง. 2525. คุณภาพของน้ำทะเลบริเวณแหลมฉบัง. ใน รายงานการสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 2 เรื่อง นโยบายวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ, วันที่ 8 - 11 กันยายน 2525, ณ โรงแรมบางแสน จังหวัดชลบุรี. น. 546 - 552.

พัชรา เพ็ชร์พิรุณ. 2531. การแพร่กระจายของโลหะตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 2 ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก, กองประมงทะเล, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 22 น.

พัชรา เพ็ชร์พิรุณ. 2532. ปริมาณโลหะหนักบางชนิดในอ่าวระยอง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 15 ศูนย์พัฒนาการประมงทะเลฝั่งตะวันออก, กองประมงทะเล, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 20 น.

มนูวดี หังสพฤกษ์ และสิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย. 2524. ปริมาณการสะสมของโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส และสังกะสี ในหอยนางรม และหอยตะโกรมจากอ่าวไทย. ใน การสัมมนาครั้งที่ 2 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 26 - 28 พฤษภาคม 2524, ณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. น. 188 - 195.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ และวันชัย วงสุดาวรรณ. 2540 ก. การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี (เมืองใหม่ - ศรีราชา). เอกสารงานวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ และวันชัย วงสุดาวรรณ. 2540 ข. การแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำทะเล และดินตะกอนจากปากแม่น้ำบางปะกง ถึงศรีราชา. เอกสารงานวิจัย เลขที่ 78/2540 สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุธรรม สิทธิชัยเกษม และสุวรรณี เฉินบำรุง. 2527. การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณปากแม่น้ำของอ่าวไทยตอนใน. ใน การสัมมนา ครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 26 - 28 มีนาคม 2527, ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. น. 102 - 128.

สุวรรณา ภาณุตระกูล ฉลวย มุสิกะ และไพฑูรย์ มกกงไผ่. พฤติกรรมของโลหะหนักบางชนิดในแม่น้ำบางปะกง ในการประชุมวิชาการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ "การจัดการมลภาวะชายฝั่งทะเลแบบบูรณาการ" กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. น.67-79.

สุวรรณี เฉินบำรุง. 2530. โลหะหนักในสิ่งแวดล้อมบริเวณปากแม่น้ำในอ่าวไทยตอนใน ปี 2529. ใน การสัมมนาครั้งที่ 4 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 7 - 9 กรกฎาคม 2530, ณ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. น. 55 - 66.

สุวรรณี เฉินบำรุง. 2537. การแพร่กระจายโลหะหนักในดินตะกอนของอ่าวไทย. ใน การสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 5 เรื่อง สถานภาพของทะเลไทย และแนวโน้มในอนาคต, วันที่ 22 - 24 สิงหาคม 2537, ณ โรงแรมไพนส์บีช จังหวัดระยอง. น. P-6-1 ถึง P-6-8.

อรพินธ์ จันทร์ผ่องแสง. 2527. การแพร่กระจายของโลหะแคดเมี่ยม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี จากปากแม่น้ำเจ้าพระยา ถึงศรีราชา. ใน การสัมมนาครั้งที่ 3 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 26 - 28 มีนาคม 2527, ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. น. 352 - 367.

อำไพ อิทธิเกษม รัชนีกร บำรุงราชหิรัณย์ วรรณภา แก้วภักดี และขันธ์พงศ์ จริงจิตร. 2524. ผลการวิเคราะห์โลหะปริมาณน้อยในน้ำทะเล และดินตะกอน. ใน การสัมมนา ครั้งที่ 2 การวิจัยคุณภาพน้ำ และคุณภาพทรัพยากรมีชีวิตในน่านน้ำไทย, วันที่ 26 - 28 พฤษภาคม 2524, ณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. น. 165 - 179.

APHA, AWWA and WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater (17 th ed.) American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Fedration. Washington.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Bakan, G. and Balkas, T. I. 1999. Enrichment of metals in the surface sediments of Sapanca Lake. *Wat. Environ. Res.* 71: 71-74.

Boulding, J.R.1994. Description and sampling of contaminated soils: A field guide. 2nd edition. Boca Raton: Lewis Publishers.

Calmano, W., Ahlf, W. and Förstner, U. 1996. Sediment quality assessment: chemical and biological approaches. In: Calmono, W. and Förstner, U. (eds.). Sediments and Toxic Substances: Environmental Effects and Ecotoxity. Berlin: Springer-Verlag. p. 1-35.

Covelli, S. And Fontolan, G. 1997. Application of normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environ. Geol.* 30: 34-45.

Demayo, A., Davis, A.R. and Forbes, M.A. 1979. Forms of metals in water. Inland Water Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada. 24 p.

Dickinson, W.W., Dunbar, G.B., and McLeod, H. 1996. Heavy metal history from cores in Wellington harbour, New Zealand. *Environ. Geol.* 27: 59-69.

Environment Canada. 1995. Interim sediment quality guidelines. Soil and Sediment Quality Section, Guidelines Division, Ecosystem Conservation Directorate Evaluation and Interpretation Branch, Ottawa, Ontario. 10 p.

Förstner, U., Ahlf, W.and Calmono, W.1993. Sediment quality objectives and criteria development in Germany. *Wat. Sci. Tech.* 28: 307-316.

Goh, T.B., Arnaud, R.J.St. and Mermut, A.R. 1993. Carbonates. In: Carter, M.R. (ed.). Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton: Lewis Publishers. p. 177-185.

Hayase, K. and Tsubota, H. 1985. Sedimentary humic acid and fulvic acid as fluorescent organic materials. *Geochim. Cosmochimica Acta.* 49: 159-163.

Helland, A. 2001. The importance of selective transport and sedimentation in trend monitoring of metals in sediments. An example from the Glomma estuary, East Norway. *Water Air Soil Pollut.* 126: 339-361.

Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. San Diego: Academic Press.

Huizenga, D.L. 1981. The cobalt-APDC coprecipitation technique for the preconcentration of trace metal sample. Rhode Island : Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island.

Libes, S.M., 1992. An introduction to marine biogeochemistry. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Loring, D.H. and Rantala, R.T.T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate metter. *Earth Sci. Rev.* 32 : 235 - 283.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (eds.). Method of Soil Analysis, Part II. Chemical and Microbiological Properties. 2nd edition. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Publishers, Madison, Wisconsin, USA. p. 539-579.

Olsen, C.R., Cutshall, N.H. and Larsen, I.L. 1982. Pollutant- particle associations and dynamics in coastal marine environments: a review. *Mar. Chem.* 11: 501-533.

Petpiroon, P. and Petpiroon, S. 1996. Distribution of heavy metals in the Bangpakong river and their variation at the mouth of the river. *In* : Proceedings of the third International Symposium of ETERNET-APR: Conservation of the Hydrospheric Environment. Chulalongkorn Univeristy, Bangkok, Thailand. December 3 - 4, 1996. p. III-8 - III-16.

Randlesorn, J.E. and Aston, S.R. 1980. A rapid method for the determination of mercury in sediments, suspended solids and soils. *Environ. Technol. Lett.* 1 : 3 - 8.

Ross, G.J. and Wang, C. 1993. Extractable Al, Fe, Mn, and Si. In: Carter, M.R. (ed.). Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton: Lewis Publishers. p. 239-241.

Rubio, B., Nombela, M.A. and Vilas, F. 2000. Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 40: 968-980.

Singh, A.K. and Hasnain, S.I. 1999. Environmental geochemistry of Damodar river basin, east coast of India. *Environ. Geol.* 37: 124-136.

Sheldrick, B.H. and Wang, C. 1993. Particle size distribution. In: Carter, M.R. (ed.). Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton: Lewis Publishers. p. 499-511.

Sparks, D.L. 1995. Environmental soil chemistry. San Diego: Academic Press.

Suthanaruk, P., Sukasem, W. and Chongprasith, P. 1995. Water quality in the Upper Gulf of Thailand. *In* : Watson, D., K.S. Ong and G. Vigers (eds.). ASEAN Criteria and Monitoring : Advances in Marine Environmental Management and Human Health Protection. Proceedings of the ASEAN-Canada Midterm Technical Review Conference on Marine Science (24 - 28 October 1994), Singapore. p. 260 - 269.

Taylor, S.R. 1964. Tha abundance of chemical elements in the continental crust- a new table. *Geochim Cosmochim Acta.* 28: 1273-1285.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Terai, A., Sanguansin, J., Kan-Atireklap, S. and Suwanagosoom, S. 1995. Marine environmental monitoring on heavy metal in the Eastern Gulf of Thailand. *In* : Proceeding of International Seminar on Marine Fisheries Environment. March 9 - 10, 1995, Rayong, Thailand, (EMDEC & JICA). p. 215 - 224.

Thongra-ar, W. 2001. Fate of mercury in sediments of the Bangpakong river estuary and its toxicity as influenced by salinity. D.Tech.Sc.Thesis, Asian Institute of Technology. 190 p.

Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 72: 175-192.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

โลหะหนักในน้ำทะเล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ก1 โลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n = 3)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	0.008 ± 0.002	0.040 ± 0.003	0.62 ± 0.05	0.11 ± 0.01	1.53 ± 0.06	1.94 ± 0.03	299.31 ± 40.41	89.93 ± 2.04
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	0.008 ± 0.002	0.014 ± 0.001	0.60 ± 0.05	0.09 ± 0.01	1.65 ± 0.07	1.83 ± 0.08	346.57 ± 29.17	78.65 ± 4.95
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	0.018 ± 0.003	0.015 ± 0.005	0.67 ± 0.37	0.08 ± 0.01	1.51 ± 0.04	1.63 ± 0.04	238.08 ± 5.52	52.03 ± 1.09
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	0.010 ± 0.006	0.016 ± 0.001	0.72 ± 0.01	0.10 ± 0.00	1.92 ± 0.14	1.77 ± 0.05	401.00 ± 10.43	94.70 ± 5.76
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.003 ± 0.003	0.006 ± 0.002	0.62 ± 0.14	0.12 ± 0.01	1.26 ± 0.12	4.36 ± 2.01	208.50 ± 44.41	94.87 ± 15.38
A2.1	ห้วยกะปิ	0.007 ± 0.004	0.011 ± 0.003	0.33 ± 0.03	0.07 ± 0.02	1.08 ± 0.10	1.63 ± 0.10	110.64 ± 17.17	52.87 ± 16.58
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	0.002 ± 0.001	0.006 ± 0.002	0.28 ± 0.03	< 0.054	1.04 ± 0.32	0.94 ± 0.19	78.59 ± 7.31	42.95 ± 0.75
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	0.008 ± 0.001	0.011 ± 0.002	0.35 ± 0.04	0.04 ± 0.03	0.78 ± 0.07	0.82 ± 0.17	72.64 ± 6.53	20.22 ± 1.54
C1.1	บางพระ	0.002 ± 0.001	< 0.004	0.12 ± 0.01	0.18 ± 0.03	0.50 ± 0.05	0.33 ± 0.04	32.40 ± 1.64	5.04 ± 0.32
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	0.002 ± 0.001	0.007 ± 0.003	0.50 ± 0.03	1.16 ± 0.08	1.40 ± 0.23	0.51 ± 0.02	280.16 ± 126.18	24.67 ± 1.25
C2.1	ผาแดง	0.003 ± 0.001	0.011 ± 0.014	0.17 ± 0.05	0.30 ± 0.17	0.52 ± 0.06	0.39 ± 0.01	28.85 ± 0.96	5.86 ± 0.30
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	0.009 ± 0.002	0.020 ± 0.007	0.81 ± 0.79	0.37 ± 0.10	0.72 ± 0.13	0.43 ± 0.00	61.08 ± 2.33	10.26 ± 0.26
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	0.009 ± 0.002	0.016 ± 0.028	0.64 ± 0.94	0.20 ± 0.04	0.64 ± 0.40	0.48 ± 0.29	35.67 ± 2.05	5.51 ± 0.49
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.005	0.31 ± 0.05	0.46 ± 0.07	1.27 ± 0.01	0.34 ± 0.01	77.79 ± 1.52	15.80 ± 0.72
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	0.011 ± 0.001	0.012 ± 0.007	0.15 ± 0.02	0.10 ± 0.06	0.61 ± 0.16	0.33 ± 0.05	15.24 ± 2.69	9.60 ± 3.87
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	0.008 ± 0.001	0.006 ± 0.000	0.46 ± 0.04	0.34 ± 0.02	1.10 ± 0.13	0.51 ± 0.06	195.46 ± 5.40	35.68 ± 9.49
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	0.016 ± 0.006	0.012 ± 0.001	0.18 ± 0.03	0.13 ± 0.14	0.68 ± 0.17	0.36 ± 0.04	56.03 ± 1.25	9.97 ± 0.36
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.013 ± 0.002	0.006 ± 0.002	0.28 ± 0.01	0.13 ± 0.08	0.91 ± 0.03	0.40 ± 0.07	84.34 ± 1.43	23.27 ± 2.13

Burapha University

ตาราง ก1 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	0.006 ± 0.001	0.010 ± 0.006	0.18 ± 0.02	0.26 ± 0.10	0.58 ± 0.05	0.43 ± 0.09	40.76 ± 7.06	7.71 ± 0.74
E1	หนองแฟบ	0.013 ± 0.002	0.028 ± 0.011	0.59 ± 0.11	0.59 ± 0.03	0.55 ± 0.11	0.39 ± 0.04	68.40 ± 14.15	8.71 ± 1.01
E1.1	ปลายท่าเรือ	0.005 ± 0.004	0.039 ± 0.035	0.63 ± 0.44	0.06 ± 0.08	0.30 ± 0.04	0.28 ± 0.05	10.97 ± 0.82	0.57 ± 0.82
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.013 ± 0.002	0.018 ± 0.002	0.41 ± 0.13	1.10 ± 0.05	0.80 ± 0.04	0.35 ± 0.04	12.34 ± 1.54	3.25 ± 0.27
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	0.010 ± 0.003	0.033 ± 0.029	0.45 ± 0.20	0.14 ± 0.13	0.38 ± 0.04	0.33 ± 0.03	48.25 ± 15.10	6.58 ± 0.77
E3	หาดทรายทอง	0.009 ± 0.001	0.050 ± 0.028	0.52 ± 0.22	0.34 ± 0.02	0.70 ± 0.12	0.56 ± 0.03	49.92 ± 0.96	5.25 ± 4.57
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	0.010 ± 0.002	0.017 ± 0.006	0.47 ± 0.13	0.66 ± 0.42	0.66 ± 0.11	0.50 ± 0.02	131.92 ± 36.80	15.44 ± 1.42
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	0.019 ± 0.003	0.016 ± 0.010	0.37 ± 0.08	0.22 ± 0.04	0.55 ± 0.02	0.43 ± 0.08	71.80 ± 17.45	13.32 ± 2.87
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	0.003 ± 0.001	0.007 ± 0.003	0.38 ± 0.12	0.78 ± 0.48	0.98 ± 0.05	0.38 ± 0.01	108.46 ± 3.00	29.14 ± 2.86
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	0.002 ± 0.000	0.007 ± 0.003	0.21 ± 0.05	0.79 ± 0.45	0.38 ± 0.02	0.28 ± 0.01	28.78 ± 4.15	4.75 ± 0.91
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	0.004 ± 0.002	0.006 ± 0.002	0.30 ± 0.10	0.24 ± 0.08	0.44 ± 0.02	0.36 ± 0.10	54.34 ± 3.07	6.47 ± 0.08
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	0.002 ± 0.002	0.008 ± 0.005	0.44 ± 0.06	0.27 ± 0.12	0.46 ± 0.07	0.29 ± 0.02	47.51 ± 5.87	7.41 ± 0.11
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	0.004 ± 0.001	0.012 ± 0.007	0.23 ± 0.23	0.32 ± 0.04	0.71 ± 0.02	0.34 ± 0.02	116.15 ± 27.67	24.06 ± 0.71
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	0.003 ± 0.002	0.072 ± 0.060	0.48 ± 0.06	0.61 ± 0.35	0.59 ± 0.10	0.37 ± 0.04	185.83 ± 53.19	20.15 ± 0.62
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	0.002 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.55 ± 0.07	0.61 ± 0.36	0.52 ± 0.07	0.37 ± 0.01	248.66 ± 31.38	23.48 ± 2.62
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	0.006 ± 0.001	0.014 ± 0.011	0.44 ± 0.08	0.32 ± 0.16	0.46 ± 0.03	0.33 ± 0.02	179.37 ± 12.53	13.91 ± 0.73
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	0.003 ± 0.002	0.009 ± 0.003	2.27 ± 2.25	0.12 ± 0.04	0.45 ± 0.03	0.30 ± 0.01	113.09 ± 28.03	17.10 ± 1.07
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	0.004 ± 0.001	0.013 ± 0.009	0.62 ± 0.14	0.24 ± 0.02	0.55 ± 0.17	0.46 ± 0.24	98.91 ± 8.32	8.82 ± 0.18

ตาราง ก1 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	0.006 ± 0.002	0.005 ± 0.001	1.10 ± 0.22	0.21 ± 0.12	0.37 ± 0.04	0.35 ± 0.03	205.87 ± 109.56	11.64 ± 3.36
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	0.005 ± 0.001	0.019 ± 0.006	2.58 ± 2.24	0.24 ± 0.03	0.53 ± 0.07	0.32 ± 0.01	159.05 ± 48.91	10.11 ± 1.94
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	0.009 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.21 ± 0.02	0.19 ± 0.09	0.36 ± 0.03	0.29 ± 0.02	159.09 ± 6.33	11.75 ± 0.15
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	0.009 ± 0.002	0.013 ± 0.010	0.35 ± 0.08	0.47 ± 0.44	0.48 ± 0.21	0.40 ± 0.20	100.42 ± 11.88	10.36 ± 3.89
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	0.002 ± 0.001	0.015 ± 0.003	0.84 ± 0.09	1.28 ± 0.06	0.98 ± 0.08	1.06 ± 0.06	912.23 ± 83.90	114.51 ± 6.77
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	0.008 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.81 ± 0.07	1.38 ± 0.07	1.53 ± 0.68	1.04 ± 0.13	1064.92 ± 91.39	112.65 ± 2.89
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	0.005 ± 0.001	0.017 ± 0.001	0.69 ± 0.06	1.48 ± 0.09	0.87 ± 0.10	0.80 ± 0.02	837.88 ± 46.34	90.34 ± 3.71
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	0.008 ± 0.001	0.018 ± 0.017	0.22 ± 0.09	0.43 ± 0.16	0.38 ± 0.05	0.35 ± 0.02	123.26 ± 17.75	13.94 ± 1.44
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	0.011 ± 0.003	0.006 ± 0.003	0.92 ± 0.22	1.43 ± 0.69	0.61 ± 0.09	0.69 ± 0.07	1139.49 ± 572.82	96.93 ± 19.43
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	0.005 ± 0.002	0.005 ± 0.004	0.58 ± 0.16	1.22 ± 0.29	0.48 ± 0.06	0.55 ± 0.07	680.14 ± 89.73	65.95 ± 17.51
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	0.013 ± 0.004	0.004 ± 0.000	0.94 ± 0.08	0.66 ± 0.22	0.62 ± 0.04	0.78 ± 0.01	1147.54 ± 30.76	134.29 ± 8.29
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	0.003 ± 0.002	0.010 ± 0.006	1.05 ± 0.14	1.55 ± 1.46	0.78 ± 0.06	0.76 ± 0.05	1393.62 ± 643.94	117.61 ± 16.32
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	0.012 ± 0.002	0.006 ± 0.004	0.49 ± 0.31	0.27 ± 0.07	1.32 ± 0.15	1.02 ± 0.08	149.86 ± 40.70	60.12 ± 2.66
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	0.004 ± 0.002	0.024 ± 0.006	0.73 ± 0.24	1.42 ± 0.05	2.38 ± 0.16	2.11 ± 0.14	658.77 ± 49.81	86.29 ± 13.99
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	0.008 ± 0.002	0.010 ± 0.005	0.54 ± 0.32	0.83 ± 0.12	1.40 ± 0.18	1.51 ± 0.02	366.10 ± 75.26	37.94 ± 1.55
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	0.008 ± 0.001	0.013 ± 0.009	0.52 ± 0.17	0.70 ± 0.21	1.63 ± 0.22	1.78 ± 0.11	276.46 ± 13.64	52.38 ± 4.95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ก2 โลหะหนักในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n = 3)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	0.009 ± 0.002	0.006 ± 0.008	0.56 ± 0.04	1.09 ± 0.11	1.70 ± 0.05	2.43 ± 0.07	517.69 ± 48.33	72.39 ± 16.19
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	0.005 ± 0.001	< 0.004	0.62 ± 0.03	2.11 ± 0.17	1.86 ± 0.09	2.69 ± 0.08	681.49 ± 113.72	93.88 ± 9.68
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	0.021 ± 0.013	0.007 ± 0.009	0.70 ± 0.06	1.79 ± 0.46	1.97 ± 0.08	2.64 ± 0.04	620.51 ± 62.28	79.28 ± 7.44
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	0.021 ± 0.007	< 0.004	0.73 ± 0.03	1.83 ± 0.53	1.79 ± 0.10	2.64 ± 0.03	571.37 ± 24.66	95.74 ± 20.78
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.028 ± 0.011	< 0.004	0.30 ± 0.02	0.46 ± 0.09	1.21 ± 0.03	1.85 ± 0.08	188.16 ± 18.32	17.67 ± 1.24
A2.1	ห้วยกะปิ	0.013 ± 0.004	< 0.004	0.22 ± 0.08	0.64 ± 0.31	1.35 ± 0.06	1.29 ± 0.05	187.00 ± 20.77	21.60 ± 7.51
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	0.014 ± 0.001	< 0.004	0.16 ± 0.01	0.25 ± 0.06	1.31 ± 0.03	1.10 ± 0.00	139.59 ± 8.01	13.16 ± 0.55
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	0.016 ± 0.004	0.027 ± 0.024	0.24 ± 0.00	22.63 ± 4.65	1.12 ± 0.14	0.89 ± 0.07	86.48 ± 12.75	23.78 ± 8.81
C1.1	บางพระ	0.004 ± 0.002	0.006 ± 0.005	0.13 ± 0.07	0.47 ± 0.15	0.77 ± 0.01	0.69 ± 0.03	28.19 ± 2.48	6.01 ± 0.91
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	0.007 ± 0.002	0.002 ± 0.001	0.64 ± 0.03	1.36 ± 0.14	1.89 ± 0.08	0.99 ± 0.03	181.43 ± 4.67	22.87 ± 1.32
C2.1	ผาแดง	0.007 ± 0.001	< 0.004	0.11 ± 0.03	0.40 ± 0.12	0.67 ± 0.02	0.64 ± 0.02	25.92 ± 5.40	2.90 ± 0.52
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	0.008 ± 0.002	< 0.004	0.22 ± 0.00	0.96 ± 0.04	0.84 ± 0.02	0.68 ± 0.03	38.71 ± 3.46	5.92 ± 0.56
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	0.006 ± 0.001	0.008 ± 0.005	0.16 ± 0.05	1.69 ± 0.56	0.50 ± 0.03	0.51 ± 0.03	13.63 ± 8.13	1.73 ± 1.19
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	0.006 ± 0.003	< 0.004	0.15 ± 0.03	9.76 ± 2.88	0.71 ± 0.05	0.62 ± 0.05	18.68 ± 1.66	2.44 ± 0.44
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	0.011 ± 0.003	< 0.004	0.15 ± 0.07	4.19 ± 3.09	0.54 ± 0.08	0.65 ± 0.27	14.62 ± 2.54	2.06 ± 0.53
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	0.008 ± 0.002	0.004 ± 0.003	0.74 ± 0.05	3.12 ± 0.58	1.41 ± 0.08	0.67 ± 0.20	136.16 ± 7.38	24.49 ± 0.49
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	0.009 ± 0.001	< 0.004	0.16 ± 0.07	2.71 ± 2.71	0.71 ± 0.16	0.51 ± 0.03	23.22 ± 5.37	2.28 ± 1.73
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.009 ± 0.002	< 0.004	0.18 ± 0.03	1.12 ± 0.23	0.81 ± 0.01	0.56 ± 0.02	39.40 ± 4.31	4.58 ± 0.49

Burapha University Research Information System

ตาราง ก2 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	0.005 ± 0.001	0.006 ± 0.003	0.23 ± 0.07	1.25 ± 0.52	0.79 ± 0.15	0.52 ± 0.08	35.01 ± 1.28	5.99 ± 1.70
E1	หนองแฟบ	0.013 ± 0.001	0.044 ± 0.030	0.30 ± 0.03	0.93 ± 0.09	0.50 ± 0.11	0.27 ± 0.02	31.38 ± 3.03	5.10 ± 1.69
E1.1	ปลายท่าเรือ	0.012 ± 0.001	0.004 ± 0.003	0.21 ± 0.04	0.49 ± 0.13	0.25 ± 0.04	0.18 ± 0.02	6.28 ± 0.65	0.74 ± 0.17
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.007 ± 0.001	0.021 ± 0.003	0.17 ± 0.04	1.93 ± 0.54	0.63 ± 0.08	0.31 ± 0.04	6.48 ± 2.29	1.75 ± 0.64
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.002	0.11 ± 0.06	0.64 ± 0.18	0.38 ± 0.09	0.20 ± 0.01	16.34 ± 1.22	1.97 ± 0.33
E3	หาดทรายทอง	0.010 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.15 ± 0.03	1.11 ± 0.10	0.39 ± 0.00	0.36 ± 0.01	31.77 ± 2.28	11.36 ± 4.71
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	0.009 ± 0.001	0.007 ± 0.004	0.13 ± 0.04	1.18 ± 0.10	0.42 ± 0.04	0.37 ± 0.05	25.79 ± 1.45	4.84 ± 0.52
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	0.023 ± 0.002	0.049 ± 0.061	0.11 ± 0.01	1.19 ± 0.51	0.36 ± 0.04	0.21 ± 0.03	10.98 ± 1.21	0.84 ± 0.65
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	0.018 ± 0.001	0.007 ± 0.003	0.35 ± 0.09	1.32 ± 0.41	0.85 ± 0.08	0.38 ± 0.03	105.28 ± 6.17	14.66 ± 3.66
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	0.012 ± 0.001	0.010 ± 0.004	0.20 ± 0.06	0.56 ± 0.05	0.37 ± 0.02	0.22 ± 0.02	30.61 ± 5.24	1.53 ± 0.12
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	0.014 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.19 ± 0.10	0.42 ± 0.29	0.42 ± 0.03	0.27 ± 0.01	31.88 ± 1.76	1.61 ± 0.06
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	0.013 ± 0.002	0.004 ± 0.002	0.17 ± 0.04	0.53 ± 0.16	0.88 ± 0.70	0.26 ± 0.00	34.87 ± 4.14	1.82 ± 0.62
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	0.006 ± 0.003	0.016 ± 0.016	1.17 ± 0.28	0.23 ± 0.03	1.27 ± 0.25	0.82 ± 0.12	549.13 ± 101.41	24.06 ± 0.71
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	0.012 ± 0.003	0.009 ± 0.005	0.40 ± 0.09	0.29 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.53 ± 0.02	160.45 ± 3.56	20.15 ± 0.62
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	0.009 ± 0.002	< 0.004	0.52 ± 0.16	0.25 ± 0.04	0.99 ± 0.05	0.71 ± 0.04	326.76 ± 127.83	23.06 ± 16.16
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	0.009 ± 0.001	< 0.004	1.00 ± 0.06	0.28 ± 0.03	1.30 ± 0.03	0.87 ± 0.04	527.83 ± 19.12	14.25 ± 4.05
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	0.014 ± 0.000	< 0.004	0.29 ± 0.02	0.46 ± 0.30	0.71 ± 0.02	0.47 ± 0.03	234.01 ± 9.68	6.93 ± 0.52
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	0.016 ± 0.001	0.019 ± 0.007	0.43 ± 0.09	0.61 ± 0.25	0.76 ± 0.02	0.51 ± 0.06	173.04 ± 6.61	6.85 ± 0.29

ตาราง ก2 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ L^{-1}$)	Cd ($\mu g\ L^{-1}$)	Pb ($\mu g\ L^{-1}$)	Zn ($\mu g\ L^{-1}$)	Cu ($\mu g\ L^{-1}$)	Ni ($\mu g\ L^{-1}$)	Fe ($\mu g\ L^{-1}$)	Mn ($\mu g\ L^{-1}$)
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	0.033 ± 0.008	0.004 ± 0.003	0.26 ± 0.01	0.42 ± 0.17	0.63 ± 0.01	0.46 ± 0.01	182.67 ± 4.24	9.54 ± 0.26
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	0.069 ± 0.009	0.012 ± 0.006	0.25 ± 0.05	0.38 ± 0.22	0.72 ± 0.07	0.38 ± 0.03	134.88 ± 17.35	5.87 ± 0.88
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	0.006 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.24 ± 0.03	0.46 ± 0.12	0.63 ± 0.06	0.69 ± 0.03	342.35 ± 95.91	11.18 ± 1.05
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	0.006 ± 0.003	0.002 ± 0.003	0.29 ± 0.06	0.53 ± 0.08	0.66 ± 0.07	0.64 ± 0.01	299.03 ± 27.77	12.13 ± 0.32
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	0.007 ± 0.001	0.000 ± 0.000	0.25 ± 0.04	0.52 ± 0.24	0.62 ± 0.03	0.60 ± 0.02	236.47 ± 27.79	14.16 ± 1.29
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	0.009 ± 0.002	0.002 ± 0.003	0.45 ± 0.08	0.94 ± 0.17	0.98 ± 0.10	0.60 ± 0.03	277.88 ± 37.08	22.95 ± 4.31
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	0.006 ± 0.001	0.003 ± 0.003	0.42 ± 0.08	0.85 ± 0.23	0.59 ± 0.03	0.49 ± 0.01	342.81 ± 39.04	27.00 ± 5.80
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	0.018 ± 0.006	0.006 ± 0.002	1.50 ± 0.26	1.29 ± 0.11	1.02 ± 0.10	0.80 ± 0.05	1224.40 ± 243.54	133.39 ± 26.42
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	0.024 ± 0.005	0.002 ± 0.002	0.84 ± 0.18	0.78 ± 0.23	0.75 ± 0.06	0.65 ± 0.13	408.81 ± 298.93	62.18 ± 11.81
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	0.021 ± 0.007	0.001 ± 0.002	0.32 ± 0.05	0.41 ± 0.11	0.47 ± 0.04	0.35 ± 0.02	154.83 ± 11.87	12.78 ± 1.75
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	0.018 ± 0.006	0.000 ± 0.000	0.17 ± 0.01	0.68 ± 0.05	0.79 ± 0.00	0.45 ± 0.07	346.81 ± 2.81	9.54 ± 2.58
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	0.014 ± 0.003	0.004 ± 0.001	0.20 ± 0.01	0.59 ± 0.11	0.77 ± 0.06	0.41 ± 0.02	125.88 ± 26.20	14.46 ± 2.21
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	0.010 ± 0.002	0.015 ± 0.011	0.21 ± 0.11	0.77 ± 0.13	0.75 ± 0.29	0.35 ± 0.02	47.28 ± 3.78	4.72 ± 1.36
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	0.021 ± 0.006	0.003 ± 0.001	0.18 ± 0.01	0.76 ± 0.32	0.77 ± 0.05	0.52 ± 0.04	188.37 ± 31.33	16.46 ± 1.22

Burapha University

ภาคผนวก ข

คุณภาพน้ำทะเล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ข1 คุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	10.2	33.1	28	5.7	7.7	71.3	1.70	67.22
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	3.5	29.1	27	8.7	8.0	58.2	1.50	58.76
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	2.2	30.4	27	8.8	8.5	61.9	1.43	56.03
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	4.5	29.0	27	6.8	8.0	76.9	1.75	64.05
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.8	31.2	29	5.6	8.1	71.9	1.41	48.42
A2.1	ห้วยกะปิ	3.0	30.0	31	5.9	7.9	48.9	0.88	37.17
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	2.1	30.0	31	5.1	8.0	45.3	0.51	20.70
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	2.8	29.8	31	5.6	8.2	32.9	0.42	17.70
C1.1	บางพระ	4.6	29.0	31	5.5	8.2	24.6	0.27	11.46
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	2.0	29.4	31	5.2	8.2	36.4	0.35	13.64
C2.1	ผานแดง	8.7	28.5	32	5.1	8.2	24.3	0.30	12.03
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	4.3	28.8	32	4.9	8.2	25.4	0.25	11.27
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	19.5	28.2	32	5.7	8.2	25.1	0.26	11.85
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	12.8	29.3	31	6.0	8.2	33.2	0.23	9.63
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	13.8	28.5	32	5.9	8.2	21.2	0.24	10.88
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	1.1	31.4	33	5.7	8.4	49.6	0.47	20.47
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	4.7	29.7	32	5.9	8.2	26.2	0.26	8.91
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.9	30.8	32	6.2	8.4	28.2	0.34	12.71

Burapha University

ตาราง ข1 (ต่อ)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	8.3	29.1	32	6.1	8.2	31.0	0.23	8.20
E1	หนองแฟบ	4.1	29.1	33	6.1	8.2	27.7	0.18	7.24
E1.1	ปลายท่าเรือ	14.5	28.9	33	6.0	8.2	19.5	0.17	6.50
E2	มาบตาพุด (โรงงานปิโตรเคมี)	11.0	28.9	33	5.8	8.2	20.4	0.17	7.21
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	8.3	28.7	32	6.9	8.3	25.7	0.26	11.53
E3	หาดทรายทอง	3.5	29.0	32	6.2	8.1	33.9	0.29	12.21
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	3.3	28.6	32	6.5	8.3	28.9	0.30	12.04
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	5.0	28.6	32	7.3	8.3	23.8	0.26	10.82
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	4.1	29.1	32	4.6	8.3	36.2	0.26	9.97
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	10.2	29.0	33	4.7	8.3	20.2	0.20	7.34
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	8.1	29.0	33	4.3	8.3	21.6	0.24	7.50
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	9.7	29.1	32	4.6	8.3	23.9	0.18	7.46
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	5.3	28.9	33	4.8	8.1	22.9	0.46	16.35
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	3.1	29.1	32	5.6	8.2	36.1	0.24	9.96
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	2.3	29.2	32	5.4	8.2	36.5	0.27	9.86
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	2.5	29.2	32	5.6	8.2	28.9	0.30	10.85
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	3.5	29.4	32	5.9	8.2	20.2	0.24	9.68
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	2.5	29.7	32	5.9	8.2	23.0	0.25	8.98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ข1 (ต่อ)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	1.9	29.8	32	6.0	8.3	28.1	0.24	9.33
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	2.0	30.0	32	6.0	8.2	26.5	0.23	10.09
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	1.6	30.0	32	6.4	8.3	23.5	0.19	8.03
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	5.1	30.0	32	6.5	8.3	18.0	0.17	7.52
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	6.8	32.0	32	5.4	7.9	81.9	0.81	34.95
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	5.5	31.0	32	5.4	8.0	84.9	0.56	22.38
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	4.0	31.0	32	5.6	8.0	87.5	0.49	19.73
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	4.7	31.0	32	6.1	8.2	24.8	0.25	10.94
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	2.6	29.0	32	6.0	8.3	69.7	0.19	7.27
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	5.5	29.0	31	6.2	8.3	82.2	0.17	8.29
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	6.0	29.0	32	6.1	8.3	86.2	0.16	8.04
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	4.3	29.0	32	5.9	8.2	99.2	0.26	12.00
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	3.3	31.7	30	5.6	7.7	25.6	0.79	40.94
G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	1.5	30.0	32	6.1	8.1	90.1	0.42	17.96
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	2.8	31.0	31	5.4	7.9	48.9	0.39	16.34
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	1.1	30.3	31	6.1	8.1	106.7	0.68	32.87

Burapha University

ตาราง ข2 คุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ในฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
A1	แม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	10.6	29.3	0	3.6	7.4	184.9	5.14	95.89
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	2.2	29.5	0	4.2	7.9	364.0	4.25	97.95
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	1.3	29.8	0	4.2	7.8	328.6	4.21	95.44
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	4.1	29.5	0	3.6	7.9	195.4	4.52	96.58
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	1.1	32.8	4	9.3	9.0	148.9	2.41	95.45
A2.1	ห้วยกะปิ	0.6	31.2	6	7.9	8.5	287.2	2.23	89.86
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	0.8	31.1	10	5.2	8.2	130.9	1.68	73.90
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	1.5	30.1	19	4.7	8.3	17.8	1.12	54.08
C1.1	บางพระ	2.3	29.7	22	6.1	8.3	16.1	0.74	37.66
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	0.6	29.9	23	6.2	8.3	157.2	0.78	39.69
C2.1	ผาแดง	6.7	29.5	25	5.2	8.4	15.4	0.60	31.23
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	3.9	29.4	24	5.6	8.4	20.7	0.57	30.95
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	18.9	29.6	28	5.0	8.2	14.5	0.39	19.88
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	12.3	29.5	28	4.1	8.3	16.1	0.43	22.68
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	14.2	29.5	29	4.7	8.2	15.7	0.38	19.95
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	2.2	30.5	22	6.3	8.6	49.1	0.69	34.91
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	5.7	29.7	25	6.0	8.5	17.2	0.47	24.72
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.6	31.3	24	6.3	8.5	39.4	0.57	29.11

Burapha University

ตาราง ข2 (ต่อ)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	5.7	29.6	27	5.0	8.4	19.4	0.44	24.02
E1	หนองแฟบ	3.8	31.1	33	5.4	8.3	25.5	0.18	7.59
E1.1	ปลายท่าเรือ	14.4	29.7	33	4.9	8.3	16.9	0.12	5.71
E2	มาบตาพุด (โรงงานปิโตรเคมี)	3.8	30.1	33	6.2	8.2	17.7	0.20	7.62
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	7.9	29.6	33	5.2	8.2	20.5	0.21	5.46
E3	หาดทรายทอง	3.7	30.6	33	5.8	8.2	29.8	0.31	13.28
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	2.9	30.8	32	5.7	8.2	19.3	0.20	11.48
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	4.5	29.9	33	6.2	8.1	18.5	0.14	5.49
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	3.5	30.3	32	5.6	8.3	19.2	0.73	36.34
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	8.9	30.0	33	5.2	8.2	18.3	0.19	7.04
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	8.5	30.5	33	5.8	8.3	17.9	0.26	11.87
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	7.0	30.0	33	5.3	8.2	18.2	0.23	9.55
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	4.7	28.5	1	5.3	8.1	108.9	4.69	100.82
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	3.4	29.5	23	4.3	7.5	28.2	1.17	53.83
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	1.4	29.5	18	5.1	8.1	49.8	3.05	70.33
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	2.0	29.0	8	4.7	7.7	93.8	2.89	96.37
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	2.2	29.3	19	6.0	8.2	65.6	1.08	45.59
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	2.4	30.2	21	5.6	7.9	44.0	0.69	33.06

บูรพาวิทยาลัย Burapha University

ตาราง ข2 (ต่อ)

Station Code	Location	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	DO (mg L^{-1})	pH	SS (mg L^{-1})	DOC Fluorescence (Unit)	
								Humic Acid	Fulvic Acid
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	0.5	30.0	26	6.7	8.4	60.6	0.89	37.52
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	3.0	29.2	26	3.9	8.1	37.3	0.61	26.36
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	7.1	29.3	10	5.0	7.5	21.3	1.35	49.67
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	4.4	29.3	13	4.6	8.0	50.7	0.75	33.62
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	3.9	29.2	10	4.7	7.6	18.6	1.09	42.53
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	2.8	29.6	16	5.5	8.0	80.7	0.82	33.88
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	3.4	29.9	23	6.9	8.2	112.7	0.94	34.28
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	6.0	30.0	23	5.0	8.6	411.9	0.90	31.47
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	6.5	29.9	24	5.8	8.1	184.9	1.29	45.80
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	6.0	30.0	25	5.8	8.3	30.9	0.55	21.61
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	3.8	30.9	1	5.4	8.2	24.3	0.92	36.79
G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	2.0	30.1	20	5.0	8.0	50.0	0.50	20.17
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	2.8	30.3	13	5.2	8.0	90.2	0.63	29.96
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	1.7	29.9	17	5.3	8.1	71.3	0.54	24.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
Burapha University

ภาคผนวก ค

โลหะหนักในดินตะกอน

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตาราง ค1 โลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n = 2)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	0.063 ± 0.002	0.043 ± 0.008	22.55 ± 0.86	102.4 ± 1.08	34.56 ± 1.19	36.59 ± 0.78	39,549 ± 71	1,711 ± 11
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	0.069 ± 0.007	0.038 ± 0.007	19.93 ± 0.93	89.49 ± 2.49	33.69 ± 0.02	33.38 ± 0.99	38,862 ± 1,104	1,337 ± 38
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	0.051 ± 0.005	0.024 ± 0.006	16.14 ± 3.86	92.61 ± 0.43	28.44 ± 2.43	27.61 ± 0.50	40,451 ± 469	995 ± 17
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	0.071 ± 0.007	0.037 ± 0.007	24.16 ± 0.30	107.2 ± 1.86	38.96 ± 0.01	38.43 ± 0.52	40,175 ± 17	1,645 ± 45
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.121 ± 0.016	0.189 ± 0.033	24.35 ± 0.38	130.5 ± 0.43	46.00 ± 2.42	45.62 ± 0.72	33,492 ± 47	1,008 ± 33
A2.1	ห้วยกะปิ	0.018 ± 0.003	0.030 ± 0.014	14.85 ± 0.18	21.32 ± 0.02	14.37 ± 2.50	5.19 ± 0.79	8,312 ± 208	394 ± 39
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	0.025 ± 0.004	0.045 ± 0.011	19.02 ± 1.48	30.79 ± 2.41	24.90 ± 0.03	5.30 ± 0.91	9,438 ± 11	528 ± 69
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	0.020 ± 0.001	0.038 ± 0.009	17.26 ± 0.74	21.74 ± 0.63	17.88 ± 0.02	5.28 ± 0.10	8,210 ± 1,174	281 ± 13
C1.1	บางพระ	0.010 ± 0.000	0.031 ± 0.007	17.88 ± 0.20	17.42 ± 0.64	17.88 ± 0.03	6.45 ± 0.06	15,356 ± 601	292 ± 57
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	0.033 ± 0.023	0.016 ± 0.012	5.80 ± 0.36	20.85 ± 0.60	25.77 ± 1.23	1.61 ± 0.76	5,695 ± 1,098	116 ± 30
C2.1	ผาแดง	0.060 ± 0.002	0.154 ± 0.007	19.86 ± 0.65	56.30 ± 0.64	38.99 ± 2.47	22.29 ± 1.29	22,325 ± 83	558 ± 9
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	0.117 ± 0.052	0.061 ± 0.007	12.88 ± 0.04	33.79 ± 0.62	28.40 ± 0.01	6.54 ± 0.07	8,550 ± 179	184 ± 5
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	0.035 ± 0.001	0.059 ± 0.010	21.20 ± 0.82	42.45 ± 1.90	32.81 ± 3.78	20.35 ± 0.32	18,146 ± 25	411 ± 9
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	0.041 ± 0.006	0.089 ± 0.013	35.48 ± 0.82	64.45 ± 0.02	45.98 ± 0.01	16.95 ± 0.14	18,184 ± 152	294 ± 3
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	0.036 ± 0.001	0.039 ± 0.000	33.02 ± 0.90	42.88 ± 0.02	31.93 ± 2.50	19.94 ± 0.90	20,618 ± 672	395 ± 2
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	0.012 ± 0.003	0.011 ± 0.001	8.38 ± 0.27	7.48 ± 0.01	22.26 ± 1.22	< 0.64	1,847 ± 97	61 ± 12
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	0.016 ± 0.003	0.018 ± 0.001	9.41 ± 1.80	13.95 ± 0.60	27.53 ± 1.27	6.58 ± 0.30	6,113 ± 399	140 ± 20
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.012 ± 0.002	0.008 ± 0.001	10.99 ± 0.17	10.93 ± 0.00	21.37 ± 2.48	5.03 ± 0.10	2,841 ± 41	75 ± 0

Bibliography Chulalongkorn University

ตาราง ค1 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	0.029 ± 0.003	0.028 ± 0.000	14.86 ± 0.77	26.91 ± 0.63	26.66 ± 2.46	14.39 ± 0.80	11,681 ± 127	285 ± 12
E1	หนองแฟบ	0.013 ± 0.008	< 0.006	11.88 ± 1.97	15.68 ± 0.58	18.75 ± 1.27	4.15 ± 1.33	2,364 ± 101	124 ± 37
E1.1	ปลายท่าเรือ	0.012 ± 0.001	< 0.006	2.37 ± 0.79	9.64 ± 0.59	20.51 ± 3.70	8.77 ± 0.62	2,897 ± 275	29 ± 1
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.074 ± 0.003	0.125 ± 0.001	36.76 ± 0.19	70.57 ± 3.69	24.05 ± 1.24	32.28 ± 1.00	6,355 ± 39	28 ± 3
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	0.049 ± 0.003	0.058 ± 0.002	66.25 ± 2.74	57.98 ± 0.51	35.45 ± 2.43	5.04 ± 0.48	24,494 ± 308	194 ± 7
E3	หาดทรายทอง	0.116 ± 0.001	0.168 ± 0.001	59.40 ± 0.23	106.8 ± 1.31	31.07 ± 1.27	22.18 ± 1.27	23,484 ± 177	248 ± 9
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	0.007 ± 0.000	0.007 ± 0.002	8.07 ± 0.22	11.81 ± 1.24	25.80 ± 1.28	4.15 ± 1.32	2,296 ± 2	51 ± 1
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	0.008 ± 0.004	0.006 ± 0.003	1.69 ± 0.08	7.49 ± 0.00	25.80 ± 1.24	5.15 ± 0.93	1,170 ± 7	31 ± 3
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	0.016 ± 0.002	0.045 ± 0.004	13.19 ± 1.80	24.74 ± 1.22	37.19 ± 2.48	8.35 ± 2.12	5,629 ± 420	34 ± 4
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	0.075 ± 0.012	0.084 ± 0.005	52.14 ± 7.49	60.54 ± 3.07	40.70 ± 2.50	25.88 ± 1.54	22,413 ± 1,088	161 ± 66
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	0.084 ± 0.005	0.093 ± 0.010	49.88 ± 2.98	68.79 ± 1.09	53.03 ± 2.38	23.58 ± 2.47	24,061 ± 511	344 ± 2
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	0.080 ± 0.009	0.067 ± 0.014	49.34 ± 4.25	61.53 ± 0.58	66.31 ± 16.15	21.45 ± 0.79	23,109 ± 128	410 ± 4
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	0.007 ± 0.001	0.009 ± 0.000	6.53 ± 2.41	19.57 ± 0.03	69.73 ± 3.63	9.85 ± 0.98	11,280 ± 71	171 ± 12
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	0.018 ± 0.001	0.020 ± 0.000	10.08 ± 0.17	25.65 ± 0.02	84.78 ± 4.91	15.12 ± 0.78	16,567 ± 73	219 ± 25
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	0.009 ± 0.005	0.009 ± 0.002	8.65 ± 0.82	21.72 ± 0.61	69.70 ± 16.15	11.61 ± 0.38	13,115 ± 365	268 ± 5
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	0.028 ± 0.007	0.045 ± 0.005	17.26 ± 0.55	36.87 ± 1.19	103.22 ± 1.16	19.57 ± 0.71	24,637 ± 738	243 ± 21
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	0.027 ± 0.002	0.050 ± 0.000	17.90 ± 0.52	31.26 ± 0.63	68.05 ± 13.73	20.35 ± 0.01	30,093 ± 194	679 ± 16
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	0.007 ± 0.002	0.010 ± 0.013	11.40 ± 0.09	26.04 ± 0.61	46.87 ± 1.24	16.01 ± 1.56	68,035 ± 604	1,162 ± 0

ตาราง ค1 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	0.005 ± 0.002	< 0.006	9.37 ± 0.02	25.21 ± 0.61	91.80 ± 2.49	14.63 ± 0.91	66,872 ± 5,459	1,128 ± 0
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	0.006 ± 0.001	0.042 ± 0.050	5.37 ± 0.04	16.97 ± 0.01	99.58 ± 1.16	13.41 ± 0.27	18,366 ± 587	424 ± 11
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	0.010 ± 0.001	0.012 ± 0.004	4.05 ± 0.01	10.49 ± 0.61	101.28 ± 3.73	10.96 ± 0.73	7,184 ± 31	109 ± 1
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	0.025 ± 0.004	0.059 ± 0.038	12.78 ± 0.18	20.01 ± 0.60	57.45 ± 38.58	15.39 ± 1.28	15,685 ± 237	252 ± 19
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	0.033 ± 0.002	0.041 ± 0.001	16.71 ± 0.26	37.24 ± 0.60	30.16 ± 2.48	27.81 ± 1.82	24,697 ± 681	382 ± 6
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	0.028 ± 0.002	0.029 ± 0.001	18.39 ± 0.09	32.52 ± 0.02	24.02 ± 1.26	23.40 ± 0.31	23,867 ± 238	506 ± 8
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	0.024 ± 0.000	0.033 ± 0.001	15.28 ± 0.20	28.66 ± 0.62	19.65 ± 2.49	20.68 ± 0.15	20,440 ± 470	440 ± 7
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	0.022 ± 0.000	0.048 ± 0.007	12.35 ± 0.48	25.58 ± 2.44	15.22 ± 1.24	18.50 ± 0.36	18,522 ± 7	328 ± 13
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	0.065 ± 0.032	0.034 ± 0.011	20.49 ± 0.38	41.22 ± 1.22	19.66 ± 2.49	31.28 ± 0.44	43,292 ± 1,154	607 ± 48
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	0.055 ± 0.032	0.025 ± 0.002	18.08 ± 0.67	31.25 ± 0.57	14.37 ± 0.02	24.25 ± 0.43	32,534 ± 172	689 ± 27
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	0.069 ± 0.006	0.036 ± 0.006	22.18 ± 0.58	40.77 ± 0.61	18.77 ± 1.24	31.16 ± 1.27	44,469 ± 2,307	736 ± 39
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	0.063 ± 0.005	0.041 ± 0.011	21.08 ± 1.00	40.31 ± 0.06	17.88 ± 0.03	31.03 ± 0.31	32,412 ± 67	726 ± 27
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	0.024 ± 0.009	0.016 ± 0.004	2.21 ± 0.21	43.34 ± 0.61	17.88 ± 0.00	32.37 ± 1.08	36,645 ± 3,221	207 ± 0
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	0.081 ± 0.005	0.049 ± 0.002	8.72 ± 0.57	96.83 ± 0.66	45.99 ± 0.03	76.72 ± 1.18	17,445 ± 24,671	705 ± 5
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	0.076 ± 0.001	0.049 ± 0.003	9.87 ± 0.17	100.8 ± 1.28	49.55 ± 0.03	79.90 ± 0.28	50,934 ± 1,715	612 ± 1
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	0.071 ± 0.009	0.039 ± 0.003	9.31 ± 0.24	86.51 ± 0.61	46.01 ± 0.00	76.77 ± 0.21	92,773 ± 42	718 ± 44

Burapha University

ตาราง ค2 โลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n = 2)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	0.032 ± 0.007	0.020 ± 0.005	19.68 ± 1.03	46.42 ± 0.53	13.39 ± 0.01	25.84 ± 1.40	30,231 ± 659	654 ± 9
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	0.088 ± 0.022	0.042 ± 0.002	12.47 ± 14.52	77.75 ± 6.25	23.18 ± 0.01	40.49 ± 0.08	41,665 ± 124	1,243 ± 10
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	0.078 ± 0.001	0.020 ± 0.003	23.37 ± 1.86	64.51 ± 11.39	23.20 ± 0.01	38.85 ± 1.83	40,893 ± 284	1,316 ± 19
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	0.093 ± 0.001	0.036 ± 0.004	21.12 ± 4.57	77.39 ± 9.03	29.75 ± 0.03	44.03 ± 1.23	46,541 ± 229	1,875 ± 2
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.092 ± 0.014	0.083 ± 0.038	22.40 ± 3.64	63.70 ± 0.13	24.84 ± 2.27	26.87 ± 0.22	29,977 ± 382	1,233 ± 15
A2.1	ห้วยกะปิ	0.026 ± 0.001	0.044 ± 0.015	13.62 ± 0.11	8.06 ± 4.56	3.55 ± 0.00	< 0.64	9,272 ± 57	315 ± 3
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	0.027 ± 0.004	0.026 ± 0.003	14.62 ± 0.62	11.70 ± 0.56	5.19 ± 6.96	< 0.64	6,228 ± 88	288 ± 19
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	0.033 ± 0.011	0.030 ± 0.002	15.05 ± 0.41	14.09 ± 1.72	3.54 ± 0.00	< 0.64	8,061 ± 50	330 ± 13
C1.1	บางพระ	0.009 ± 0.003	0.018 ± 0.001	17.86 ± 0.19	9.67 ± 1.13	< 1.92	< 0.64	10,994 ± 556	248 ± 6
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	0.024 ± 0.004	0.021 ± 0.006	5.44 ± 0.19	19.34 ± 2.27	< 1.92	< 0.64	4,799 ± 28	102 ± 14
C2.1	ผาแดง	0.086 ± 0.012	0.126 ± 0.012	18.73 ± 0.32	43.55 ± 0.07	16.65 ± 0.03	19.01 ± 1.06	19,964 ± 225	613 ± 15
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	0.089 ± 0.007	0.074 ± 0.009	11.25 ± 0.28	23.36 ± 0.01	6.82 ± 0.00	< 0.64	7,926 ± 74	166 ± 1
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	0.037 ± 0.004	0.073 ± 0.018	20.70 ± 1.13	35.06 ± 0.55	13.37 ± 0.01	15.66 ± 0.64	18,293 ± 37	504 ± 25
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	0.052 ± 0.013	0.119 ± 0.006	33.66 ± 1.05	49.93 ± 3.40	25.63 ± 1.15	12.04 ± 2.78	15,999 ± 154	262 ± 5
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	0.052 ± 0.010	0.044 ± 0.004	28.37 ± 0.80	27.39 ± 1.16	13.36 ± 0.01	16.65 ± 2.64	18,274 ± 261	423 ± 8
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	0.016 ± 0.006	0.016 ± 0.004	4.29 ± 0.53	< 1.28	< 1.92	< 0.64	3,224 ± 1	29 ± 0
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	0.023 ± 0.000	0.019 ± 0.002	8.18 ± 0.09	9.27 ± 0.57	3.55 ± 0.00	< 0.64	7,117 ± 87	105 ± 0
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	0.011 ± 0.001	0.008 ± 0.002	26.04 ± 0.46	5.25 ± 0.58	< 1.92	< 0.64	2,532 ± 41	76 ± 6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ค2 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	0.038 ± 0.003	0.023 ± 0.001	37.38 ± 4.76	16.52 ± 0.57	6.82 ± 0.00	1.87 ± 0.18	8,845 ± 319	244 ± 30
E1	หนองแฟบ	0.341 ± 0.012	0.509 ± 0.010	69.52 ± 4.44	129.40 ± 6.49	21.56 ± 2.35	13.40 ± 0.04	19,787 ± 532	652 ± 25
E1.1	ปลายท่าเรือ	0.020 ± 0.010	0.006 ± 0.001	7.22 ± 0.49	5.55 ± 0.87	< 1.92	9.74 ± 0.43	1,953 ± 95	< 20 0
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.156 ± 0.012	0.180 ± 0.040	60.48 ± 6.54	84.63 ± 1.12	13.37 ± 0.00	16.26 ± 1.53	14,830 ± 157	51 ± 11
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	0.049 ± 0.001	0.061 ± 0.004	91.93 ± 0.91	63.45 ± 0.85	10.09 ± 0.00	< 0.64	21,718 ± 8	79 ± 11
E3	หาดทรายทอง	0.169 ± 0.002	0.236 ± 0.024	76.78 ± 3.35	92.25 ± 0.65	17.46 ± 1.17	9.97 ± 0.83	20,872 ± 369	355 ± 25
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	0.017 ± 0.003	0.023 ± 0.003	15.06 ± 2.40	22.81 ± 0.92	< 1.92	< 0.64	3,979 ± 2	100 ± 21
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	0.005 ± 0.004	< 0.006	6.61 ± 0.03	4.32 ± 2.62	< 1.92	< 0.64	863 ± 123	19 ± 21
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	0.035 ± 0.008	0.059 ± 0.005	12.45 ± 2.33	37.64 ± 0.93	13.38 ± 0.02	< 0.64	7,119 ± 204	50 ± 9
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	0.098 ± 0.003	0.094 ± 0.006	62.26 ± 6.14	86.93 ± 4.34	21.55 ± 2.31	16.11 ± 1.40	23,812 ± 668	335 ± 41
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	0.089 ± 0.006	0.078 ± 0.002	35.12 ± 0.38	74.00 ± 1.91	15.01 ± 0.03	11.49 ± 0.57	17,525 ± 264	316 ± 2
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	0.082 ± 0.006	0.062 ± 0.005	41.87 ± 1.34	66.60 ± 0.07	16.65 ± 0.02	11.36 ± 2.82	19,612 ± 740	253 ± 8
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	0.021 ± 0.001	0.024 ± 0.001	12.25 ± 1.03	35.75 ± 5.16	11.73 ± 2.29	5.95 ± 3.13	20,565 ± 1570	349 ± 89
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	0.029 ± 0.001	0.032 ± 0.003	18.08 ± 0.53	48.15 ± 0.04	14.20 ± 1.17	7.41 ± 2.26	21,025 ± 4	361 ± 11
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	0.033 ± 0.010	0.029 ± 0.000	12.09 ± 0.24	32.67 ± 0.89	10.09 ± 0.01	< 0.64	13,433 ± 594	183 ± 0
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	0.026 ± 0.010	0.029 ± 0.002	12.84 ± 0.36	61.58 ± 26.11	11.72 ± 0.00	1.88 ± 2.18	21,997 ± 287	334 ± 6
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	0.016 ± 0.001	0.015 ± 0.004	12.31 ± 0.55	30.86 ± 1.77	10.11 ± 0.01	< 0.64	21,234 ± 243	483 ± 24
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	0.018 ± 0.004	0.024 ± 0.007	14.99 ± 0.86	33.30 ± 1.68	10.92 ± 1.14	2.97 ± 2.08	20,669 ± 705	476 ± 47

Burapha University

ตาราง ค2 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg ($\mu g\ g^{-1}$)	Cd ($\mu g\ g^{-1}$)	Pb ($\mu g\ g^{-1}$)	Zn ($\mu g\ g^{-1}$)	Cu ($\mu g\ g^{-1}$)	Ni ($\mu g\ g^{-1}$)	Fe ($\mu g\ g^{-1}$)	Mn ($\mu g\ g^{-1}$)
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	0.026 ± 0.005	0.009 ± 0.001	4.50 ± 0.21	11.24 ± 0.54	6.83 ± 0.00	< 0.64	8,906 ± 198	186 ± 3
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	0.024 ± 0.011	0.019 ± 0.009	13.45 ± 0.74	20.49 ± 0.55	10.09 ± 0.00	< 0.64	15,651 ± 539	300 ± 11
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	0.033 ± 0.009	0.025 ± 0.003	11.56 ± 2.05	37.53 ± 0.57	16.65 ± 0.01	< 0.64	21,292 ± 382	389 ± 1
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	0.036 ± 0.003	0.026 ± 0.007	14.88 ± 2.10	33.25 ± 2.19	15.82 ± 1.16	< 0.64	22,884 ± 421	615 ± 9
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	0.052 ± 0.022	0.020 ± 0.006	12.63 ± 0.10	43.35 ± 2.14	18.29 ± 2.34	< 0.64	26,044 ± 43	733 ± 86
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	0.007 ± 0.001	0.006 ± 0.001	5.42 ± 0.75	16.63 ± 0.54	6.82 ± 0.00	< 0.64	12,112 ± 2,118	258 ± 27
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	0.073 ± 0.013	0.040 ± 0.001	22.67 ± 1.13	53.78 ± 1.55	26.47 ± 0.04	< 0.64	38,757 ± 33	1,068 ± 1
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	0.086 ± 0.013	0.040 ± 0.006	23.55 ± 0.63	39.88 ± 2.75	19.93 ± 0.01	< 0.64	33,967 ± 1,093	955 ± 10
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	0.082 ± 0.004	0.043 ± 0.004	24.91 ± 0.65	44.81 ± 2.19	20.71 ± 1.16	< 0.64	32,741 ± 660	946 ± 138
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	0.109 ± 0.001	0.056 ± 0.004	22.12 ± 2.60	54.12 ± 3.33	26.44 ± 0.02	< 0.64	47,238 ± 2,474	1,064 ± 65
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	0.049 ± 0.003	0.021 ± 0.001	7.28 ± 1.90	83.31 ± 4.91	36.35 ± 0.01	1.72 ± 0.14	66,743 ± 1,854	539 ± 11
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	0.099 ± 0.011	0.049 ± 0.000	7.61 ± 2.69	91.27 ± 5.60	40.36 ± 1.10	1.62 ± 0.00	69,918 ± 492	715 ± 58
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	0.108 ± 0.005	0.060 ± 0.001	8.48 ± 0.90	99.08 ± 0.03	49.40 ± 0.01	1.92 ± 0.14	83,237 ± 1,720	704 ± 11
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	0.097 ± 0.004	0.046 ± 0.009	7.38 ± 0.60	85.92 ± 4.26	45.31 ± 1.09	1.82 ± 0.00	70,989 ± 662	812 ± 27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ง

ค่าดัชนีวัดการสะสมทางธรณี

(geoaccumulation index, I*geo*)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตาราง ง1 ค่า *Igeo* ของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (คำนวณโดยใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961))

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	-2.25	-2.35	-0.29	-0.33	-0.67	-1.03	-0.58	0.29
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	-2.16	-2.46	-0.41	-0.47	-0.69	-1.12	-0.60	0.05
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	-2.47	-2.93	-0.62	-0.43	-0.86	-1.31	-0.56	-0.25
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	-2.13	-2.51	-0.22	-0.28	-0.55	-0.98	-0.57	0.25
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	-1.60	-0.87	-0.21	-0.09	-0.38	-0.80	-0.75	-0.23
A2.1	ห้วยกะปิ	-3.51	-2.70	-0.70	-1.90	-1.55	-2.98	-2.14	-1.17
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	-3.18	-2.31	-0.46	-1.53	-1.00	-2.96	-2.02	-0.88
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	-3.40	-2.47	-0.55	-1.88	-1.33	-2.96	-2.15	-1.51
C1.1	บางพระ	-4.09	-2.67	-0.52	-2.10	-1.33	-2.76	-1.53	-1.47
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	-2.90	-3.36	-1.64	-1.92	-0.96	-4.15	-2.52	-2.40
C2.1	ผานแดง	-2.30	-1.07	-0.41	-0.93	-0.55	-1.52	-1.15	-0.83
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	-1.63	-2.00	-0.85	-1.44	-0.87	-2.75	-2.11	-1.93
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	-2.84	-2.04	-0.35	-1.21	-0.72	-1.61	-1.36	-1.13
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	-2.68	-1.62	0.17	-0.79	-0.38	-1.79	-1.36	-1.47
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	-2.81	-2.44	0.10	-1.20	-0.75	-1.63	-1.23	-1.17
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	-3.91	-3.75	-1.28	-2.95	-1.11	-5.07	-3.65	-3.04
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	-3.62	-3.23	-1.16	-2.32	-0.90	-2.74	-2.45	-2.21
C6	คลาคนาเกลือ (ใน)	-3.91	-4.01	-1.00	-2.57	-1.15	-3.01	-3.22	-2.84
C6.1	คลาคนาเกลือ (นอก)	-3.03	-2.76	-0.70	-1.67	-0.93	-1.96	-1.80	-1.50
E1	หนองแฟบ	-3.83	-4.32	-0.93	-2.21	-1.28	-3.20	-3.40	-2.33
E1.1	ปลายท่าเรือ	-3.91	-4.32	-2.54	-2.69	-1.19	-2.45	-3.20	-3.78
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	-2.09	-1.28	0.20	-0.70	-1.03	-1.15	-2.41	-3.81
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	-2.51	-2.04	0.79	-0.90	-0.64	-3.01	-1.06	-1.88
E3	หาดทรายทอง	-1.64	-0.99	0.68	-0.29	-0.78	-1.53	-1.10	-1.64
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	-4.45	-4.11	-1.31	-2.49	-0.96	-3.20	-3.43	-3.22
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	-4.32	-4.35	-2.87	-2.95	-0.96	-2.99	-4.10	-3.70
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	-3.62	-2.31	-0.82	-1.75	-0.60	-2.50	-2.53	-3.63
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	-2.08	-1.68	0.55	-0.86	-0.51	-1.37	-1.15	-2.07
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	-1.97	-1.58	0.51	-0.73	-0.24	-1.46	-1.08	-1.31
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	-2.01	-1.91	0.50	-0.84	-0.02	-1.56	-1.12	-1.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Burapha University

ตาราง ง1 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	-4.45	-3.87	-1.52	-1.99	0.03	-2.34	-1.84	-2.01
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	-3.51	-3.09	-1.09	-1.71	0.23	-1.91	-1.45	-1.76
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	-4.20	-3.89	-1.24	-1.88	0.03	-2.17	-1.69	-1.56
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	-3.06	-2.30	-0.55	-1.35	0.42	-1.65	-1.06	-1.66
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	-3.10	-2.19	-0.52	-1.52	0.01	-1.61	-0.86	-0.63
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	-4.45	-3.77	-0.97	-1.70	-0.36	-1.85	-0.04	-0.09
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-4.79	-4.32	-1.16	-1.73	0.31	-1.94	-0.06	-0.12
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-4.61	-2.38	-1.72	-2.13	0.39	-2.03	-1.35	-1.10
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	-4.09	-3.64	-2.00	-2.61	0.41	-2.23	-2.29	-2.46
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	-3.18	-2.03	-0.85	-1.96	-0.16	-1.89	-1.51	-1.62
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	-2.90	-2.39	-0.59	-1.34	-0.81	-1.30	-1.05	-1.20
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	-3.06	-2.73	-0.49	-1.48	-1.03	-1.47	-1.09	-0.92
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	-3.22	-2.62	-0.67	-1.60	-1.23	-1.60	-1.24	-1.06
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	-3.31	-2.23	-0.89	-1.72	-1.49	-1.71	-1.34	-1.36
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	-2.22	-2.59	-0.38	-1.24	-1.23	-1.18	-0.49	-0.74
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	-2.39	-2.87	-0.51	-1.52	-1.55	-1.44	-0.78	-0.62
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	-2.16	-2.53	-0.30	-1.25	-1.28	-1.19	-0.47	-0.55
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	-2.25	-2.40	-0.35	-1.26	-1.33	-1.19	-0.78	-0.56
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	-3.22	-3.34	-2.61	-1.19	-1.33	-1.15	-0.66	-1.82
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	-2.00	-2.21	-1.24	-0.39	-0.38	-0.28	-1.40	-0.59
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	-2.07	-2.21	-1.11	-0.35	-0.31	-0.24	-0.33	-0.73
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	-2.13	-2.44	-1.17	-0.50	-0.38	-0.28	0.27	-0.57
	Min	-4.79	-4.35	-2.87	-2.95	-1.55	-5.07	-4.10	-3.81
	Max	-1.60	-0.87	0.79	-0.09	0.42	-0.24	0.27	0.29

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง2 ค่า *Igeo* ของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (คำนวณโดยใช้ average shale ของ Turekian and Wedepohl (1961))

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	-2.93	-3.10	-0.42	-1.12	-1.62	-1.37	-0.85	-0.67
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	-1.92	-2.37	-0.88	-0.61	-1.07	-0.92	-0.53	-0.03
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	-2.04	-3.10	-0.25	-0.79	-1.07	-0.97	-0.55	0.03
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	-1.86	-2.52	-0.35	-0.61	-0.82	-0.84	-0.42	0.39
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	-1.88	-1.70	-0.29	-0.81	-1.00	-1.33	-0.86	-0.03
A2.1	ห้วยกะปิ	-3.14	-2.33	-0.79	-2.87	-2.95	-5.07	-2.03	-1.40
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	-3.10	-2.84	-0.72	-2.50	-2.57	-5.07	-2.43	-1.49
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	-2.90	-2.72	-0.69	-2.31	-2.95	-5.07	-2.17	-1.35
C1.1	บางพระ	-4.20	-3.22	-0.52	-2.69	-3.56	-5.07	-1.86	-1.64
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	-3.22	-3.06	-1.71	-2.00	-3.56	-5.07	-2.69	-2.53
C2.1	ผาแดง	-1.94	-1.27	-0.47	-1.19	-1.40	-1.68	-1.27	-0.73
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	-1.91	-1.80	-0.98	-1.81	-2.29	-5.07	-2.19	-2.04
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	-2.79	-1.82	-0.37	-1.40	-1.62	-1.87	-1.35	-0.93
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	-2.45	-1.33	0.12	-1.05	-0.97	-2.14	-1.49	-1.58
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	-2.45	-2.31	-0.06	-1.65	-1.62	-1.81	-1.35	-1.10
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	-3.62	-3.34	-1.94	-4.71	-3.97	-4.38	-3.09	-3.77
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	-3.26	-3.18	-1.30	-2.73	-2.95	-5.07	-2.30	-2.50
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	-4.00	-3.99	-0.14	-3.30	-3.56	-5.07	-3.33	-2.82
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	-2.76	-2.98	0.22	-2.15	-2.29	-4.00	-2.08	-1.65
E1	หนองแฟบ	-0.57	0.12	0.84	-0.10	-1.14	-2.03	-1.27	-0.67
E1.1	ปลายท่าเรือ	-3.40	-4.35	-1.42	-3.25	-3.56	-2.35	-3.59	-4.15
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	-1.35	-0.92	0.70	-0.52	-1.62	-1.84	-1.56	-3.22
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	-2.51	-2.01	1.12	-0.81	-1.90	-5.07	-1.18	-2.78
E3	หาดทรายทอง	-1.27	-0.65	0.94	-0.43	-1.35	-2.33	-1.22	-1.28
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	-3.56	-2.99	-0.69	-1.83	-3.56	-5.07	-2.88	-2.55
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	-4.79	-4.32	-1.51	-3.50	-3.56	-5.07	-4.41	-4.19
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	-2.84	-2.03	-0.88	-1.33	-1.62	-5.07	-2.30	-3.25
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	-1.81	-1.57	0.73	-0.49	-1.14	-1.85	-1.09	-1.34
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	-1.91	-1.75	0.16	-0.66	-1.50	-2.18	-1.40	-1.40
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	-1.99	-1.98	0.33	-0.76	-1.40	-2.19	-1.28	-1.62

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง2 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	-3.35	-2.93	-0.90	-1.38	-1.75	-2.84	-1.24	-1.30
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	-3.03	-2.63	-0.51	-1.09	-1.56	-2.62	-1.21	-1.26
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	-2.90	-2.73	-0.91	-1.47	-1.90	-5.07	-1.66	-1.94
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	-3.14	-2.74	-0.85	-0.84	-1.75	-3.99	-1.17	-1.34
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	-3.62	-3.40	-0.89	-1.53	-1.90	-5.07	-1.20	-0.97
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	-3.51	-2.91	-0.69	-1.45	-1.82	-3.54	-1.23	-0.98
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	-3.14	-3.97	-1.90	-2.54	-2.29	-5.07	-2.07	-1.93
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	-3.22	-3.18	-0.80	-1.94	-1.90	-5.07	-1.51	-1.45
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	-2.90	-2.89	-0.95	-1.33	-1.40	-5.07	-1.20	-1.19
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	-2.81	-2.84	-0.70	-1.46	-1.45	-5.07	-1.13	-0.73
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	-2.45	-3.10	-0.87	-1.19	-1.31	-5.07	-1.00	-0.55
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	-4.45	-4.30	-1.71	-2.15	-2.29	-5.07	-1.77	-1.60
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	-2.11	-2.43	-0.28	-0.97	-0.94	-5.07	-0.60	-0.18
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	-1.94	-2.41	-0.24	-1.27	-1.22	-5.07	-0.73	-0.29
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	-1.99	-2.34	-0.19	-1.16	-1.18	-5.07	-0.77	-0.30
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	-1.71	-2.09	-0.30	-0.97	-0.94	-5.07	-0.40	-0.18
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	-2.51	-3.06	-1.42	-0.54	-0.62	-4.08	-0.06	-0.86
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	-1.80	-2.22	-1.37	-0.45	-0.51	-4.14	-0.01	-0.58
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	-1.71	-2.01	-1.26	-0.36	-0.31	-3.97	0.16	-0.39
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	-1.82	-2.29	-1.40	-0.51	-0.40	-4.03	0.00	-0.45
	Min	-4.79	-4.35	-1.94	-4.71	-3.97	-5.07	-4.41	-4.19
	Max	-0.57	0.12	1.12	-0.10	-0.31	-0.84	0.16	0.39

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง3 ค่า I*geo* ของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547) (คำนวณโดยใช้ crustal average ของ Taylor (1964))

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	-0.64	-1.95	0.18	-0.02	-0.87	-1.12	-0.76	0.18
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	-0.55	-2.06	0.06	-0.16	-0.90	-1.22	-0.78	-0.06
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	-0.86	-2.52	-0.15	-0.13	-1.06	-1.40	-0.74	-0.36
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	-0.52	-2.10	0.25	0.02	-0.75	-1.07	-0.74	0.14
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	0.01	-0.46	0.26	0.22	-0.58	-0.90	-0.92	-0.35
A2.1	ห้วยกะปิ	-1.90	-2.30	-0.23	-1.59	-1.75	-3.08	-2.32	-1.29
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	-1.57	-1.91	0.01	-1.23	-1.20	-3.06	-2.19	-0.99
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	-1.79	-2.06	-0.08	-1.57	-1.53	-3.06	-2.33	-1.63
C1.1	บางพระ	-2.48	-2.26	-0.05	-1.80	-1.53	-2.86	-1.70	-1.59
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	-1.29	-2.95	-1.17	-1.62	-1.16	-4.25	-2.70	-2.51
C2.1	ผานเคง	-0.69	-0.67	0.06	-0.62	-0.75	-1.62	-1.33	-0.94
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	-0.03	-1.59	-0.38	-1.13	-1.07	-2.84	-2.29	-2.05
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	-1.23	-1.63	0.12	-0.91	-0.92	-1.71	-1.54	-1.24
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	-1.07	-1.22	0.64	-0.49	-0.58	-1.89	-1.54	-1.58
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	-1.20	-2.04	0.57	-0.90	-0.95	-1.73	-1.41	-1.28
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	-2.30	-3.34	-0.81	-2.64	-1.31	-5.17	-3.82	-3.15
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	-2.01	-2.83	-0.69	-2.02	-1.10	-2.84	-2.63	-2.32
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	-2.30	-3.61	-0.53	-2.26	-1.35	-3.11	-3.39	-2.95
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	-1.42	-2.36	-0.23	-1.36	-1.13	-2.06	-1.98	-1.61
E1	หนองแฟบ	-2.22	-3.91	-0.46	-1.90	-1.48	-3.30	-3.58	-2.44
E1.1	ปลายท่าเรือ	-2.30	-3.91	-2.07	-2.39	-1.39	-2.55	-3.37	-3.89
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	-0.48	-0.88	0.67	-0.40	-1.23	-1.25	-2.59	-3.93
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	-0.90	-1.64	1.26	-0.59	-0.84	-3.11	-1.24	-2.00
E3	หาดทรายทอง	-0.03	-0.58	1.15	0.02	-0.98	-1.62	-1.28	-1.75
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	-2.84	-3.70	-0.84	-2.19	-1.16	-3.30	-3.61	-3.33
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	-2.71	-3.95	-2.40	-2.64	-1.16	-3.08	-4.28	-3.82
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	-2.01	-1.91	-0.35	-1.45	-0.80	-2.60	-2.71	-3.74
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	-0.47	-1.28	1.02	-0.55	-0.71	-1.47	-1.33	-2.18
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	-0.36	-1.17	0.98	-0.42	-0.44	-1.56	-1.26	-1.42
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	-0.41	-1.50	0.97	-0.53	-0.22	-1.66	-1.30	-1.25

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง3 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	-2.84	-3.47	-1.05	-1.68	-0.17	-2.44	-2.01	-2.12
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	-1.90	-2.69	-0.62	-1.41	0.03	-2.01	-1.63	-1.87
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	-2.59	-3.48	-0.77	-1.58	-0.17	-2.27	-1.86	-1.67
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	-1.46	-1.89	-0.08	-1.05	0.22	-1.75	-1.23	-1.77
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	-1.49	-1.78	-0.05	-1.21	-0.19	-1.71	-1.03	-0.74
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	-2.84	-3.37	-0.50	-1.39	-0.57	-1.95	-0.22	-0.20
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-3.18	-3.91	-0.69	-1.43	0.11	-2.04	-0.23	-0.23
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-3.00	-1.98	-1.25	-1.82	0.19	-2.13	-1.53	-1.21
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	-2.48	-3.24	-1.53	-2.30	0.21	-2.33	-2.46	-2.57
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	-1.57	-1.62	-0.38	-1.66	-0.36	-1.99	-1.68	-1.73
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	-1.29	-1.99	-0.12	-1.04	-1.01	-1.40	-1.23	-1.32
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	-1.46	-2.32	-0.02	-1.17	-1.23	-1.57	-1.26	-1.04
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	-1.61	-2.22	-0.20	-1.30	-1.43	-1.69	-1.42	-1.18
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	-1.70	-1.82	-0.42	-1.41	-1.69	-1.81	-1.52	-1.47
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	-0.61	-2.18	0.09	-0.94	-1.43	-1.28	-0.67	-0.85
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	-0.78	-2.47	-0.04	-1.21	-1.75	-1.53	-0.95	-0.73
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	-0.55	-2.12	0.17	-0.95	-1.48	-1.28	-0.64	-0.66
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	-0.64	-2.00	0.12	-0.96	-1.53	-1.29	-0.96	-0.67
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	-1.61	-2.93	-2.14	-0.88	-1.53	-1.25	-0.83	-1.93
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	-0.39	-1.81	-0.77	-0.08	-0.58	-0.38	-1.58	-0.70
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	-0.46	-1.80	-0.64	-0.04	-0.51	-0.34	-0.51	-0.84
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	-0.52	-2.04	-0.70	-0.19	-0.58	-0.38	0.09	-0.69
	Min	-3.18	-3.95	-2.40	-2.64	-1.75	-5.17	-4.28	-3.93
	Max	0.01	-0.46	1.26	0.22	0.22	-0.34	0.09	0.18

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง4 ค่า *Igeo* ของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูฝน (สิงหาคม 2547) (คำนวณโดยใช้ crustal average ของ Taylor (1964))

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	-1.32	-2.70	0.05	-0.82	-1.82	-1.47	-1.03	-0.78
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	-0.31	-1.96	-0.41	-0.30	-1.27	-1.02	-0.71	-0.14
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	-0.43	-2.70	0.22	-0.49	-1.27	-1.06	-0.73	-0.08
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	-0.25	-2.12	0.12	-0.31	-1.02	-0.94	-0.60	0.27
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	-0.27	-1.29	0.18	-0.50	-1.20	-1.43	-1.04	-0.14
A2.1	ห้วยกะปิ	-1.53	-1.92	-0.32	-2.57	-3.15	-5.17	-2.21	-1.51
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	-1.49	-2.44	-0.25	-2.19	-2.77	-5.17	-2.61	-1.60
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	-1.29	-2.31	-0.22	-2.01	-3.15	-5.17	-2.35	-1.46
C1.1	บางพระ	-2.59	-2.81	-0.05	-2.38	-3.76	-5.17	-2.04	-1.75
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	-1.61	-2.65	-1.24	-1.69	-3.76	-5.17	-2.87	-2.64
C2.1	ผาแดง	-0.33	-0.87	0.00	-0.88	-1.60	-1.78	-1.44	-0.84
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	-0.30	-1.40	-0.51	-1.50	-2.49	-5.17	-2.37	-2.15
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	-1.18	-1.41	0.10	-1.10	-1.82	-1.97	-1.53	-1.04
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	-0.84	-0.92	0.59	-0.74	-1.17	-2.23	-1.66	-1.69
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	-0.84	-1.91	0.41	-1.34	-1.82	-1.91	-1.53	-1.22
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	-2.01	-2.93	-1.47	-4.41	-4.17	-4.48	-3.27	-3.88
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	-1.65	-2.77	-0.83	-2.43	-3.15	-5.17	-2.47	-2.61
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	-2.39	-3.58	0.33	-3.00	-3.76	-5.17	-3.51	-2.93
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	-1.15	-2.57	0.69	-1.85	-2.49	-4.10	-2.26	-1.76
E1	หนองแฟบ	1.04	0.53	1.31	0.21	-1.34	-2.13	-1.45	-0.78
E1.1	ปลายท่าเรือ	-1.79	-3.95	-0.95	-2.94	-3.76	-2.45	-3.77	-4.27
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	0.26	-0.51	1.17	-0.22	-1.82	-1.93	-1.74	-3.33
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	-0.90	-1.60	1.59	-0.50	-2.10	-5.17	-1.36	-2.89
E3	หาดทรายทอง	0.34	-0.24	1.41	-0.13	-1.55	-2.42	-1.40	-1.39
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	-1.95	-2.58	-0.22	-1.53	-3.76	-5.17	-3.06	-2.66
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	-3.18	-3.91	-1.04	-3.19	-3.76	-5.17	-4.58	-4.30
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	-1.23	-1.63	-0.41	-1.03	-1.82	-5.17	-2.47	-3.36
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	-0.20	-1.17	1.20	-0.19	-1.34	-1.94	-1.27	-1.45
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	-0.30	-1.34	0.63	-0.35	-1.70	-2.28	-1.57	-1.51
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	-0.38	-1.57	0.80	-0.46	-1.60	-2.29	-1.46	-1.73

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตาราง ง4 (ต่อ)

Station Code	Location	Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Mn
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	-1.74	-2.52	-0.43	-1.08	-1.95	-2.94	-1.41	-1.41
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	-1.42	-2.22	-0.04	-0.78	-1.76	-2.72	-1.39	-1.37
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	-1.29	-2.32	-0.44	-1.17	-2.10	-5.17	-1.84	-2.05
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	-1.53	-2.33	-0.38	-0.53	-1.95	-4.09	-1.35	-1.45
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	-2.01	-3.00	-0.42	-1.22	-2.10	-5.17	-1.38	-1.08
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	-1.90	-2.51	-0.22	-1.15	-2.02	-3.63	-1.41	-1.10
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	-1.53	-3.56	-1.43	-2.23	-2.49	-5.17	-2.25	-2.04
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	-1.61	-2.78	-0.33	-1.63	-2.10	-5.17	-1.69	-1.56
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	-1.29	-2.49	-0.48	-1.03	-1.60	-5.17	-1.38	-1.30
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	-1.20	-2.43	-0.23	-1.15	-1.65	-5.17	-1.31	-0.84
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	-0.84	-2.70	-0.40	-0.88	-1.51	-5.17	-1.18	-0.66
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	-2.84	-3.90	-1.24	-1.84	-2.49	-5.17	-1.94	-1.71
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	-0.50	-2.03	0.19	-0.67	-1.14	-5.17	-0.78	-0.29
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	-0.33	-2.00	0.23	-0.97	-1.42	-5.17	-0.91	-0.40
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	-0.38	-1.94	0.28	-0.85	-1.38	-5.17	-0.95	-0.41
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	-0.10	-1.68	0.17	-0.66	-1.14	-5.17	-0.58	-0.29
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	-0.90	-2.66	-0.95	-0.23	-0.82	-4.18	-0.24	-0.97
G6.1	ปากแม่น้ำตราด (ทุ่น 1)	-0.19	-1.81	-0.90	-0.14	-0.71	-4.24	-0.19	-0.69
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	-0.11	-1.60	-0.79	-0.06	-0.51	-4.07	-0.01	-0.71
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	-0.21	-1.88	-0.93	-0.20	-0.60	-4.13	-0.17	-0.56
	Min	-3.18	-3.95	-1.47	-4.41	-4.17	-5.17	-4.58	-4.30
	Max	1.04	0.53	1.59	0.21	-0.51	-0.94	-0.01	0.27

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก จ

คุณภาพดินตะกอน

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตาราง จ1 คุณภาพดินตะกอนบางประการในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูแล้ง (มีนาคม 2547)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	7.5	1.20	2.5	33.60	1.53	1.95	7.1	75.3	17.6	Silt loam
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	7.5	0.41	3.3	31.00	1.74	1.37	30.8	46.0	23.2	Loam
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	7.3	0.43	4.2	36.20	2.24	2.04	30.8	49.0	20.2	Loam
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	7.8	0.50	3.0	26.00	6.62	0.82	23.8	48.0	28.2	Clay loam
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	8.0	0.73	5.0	33.40	0.94	0.87	35.8	45.0	19.2	Loam
A2.1	ห้วยกะปิ	8.2	4.69	0.8	7.00	1.48	0.35	65.1	18.6	16.3	Sandy loam
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	8.1	4.58	2.2	7.60	1.59	0.63	66.4	18.5	15.2	Sandy loam
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	8.3	3.82	1.6	5.40	1.24	0.36	68.4	16.6	15.0	Sandy loam
C1.1	บางพระ	8.9	10.58	0.6	4.20	0.49	0.12	90.1	2.9	7.0	Sand
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	8.5	4.12	1.2	2.80	0.95	0.10	85.2	7.1	7.7	Loamy sand
C2.1	ผาแดง	8.2	10.21	4.0	21.00	1.55	0.34	27.4	56.6	15.9	Silt loam
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	8.4	5.86	3.1	5.80	1.14	0.14	67.2	25.4	7.4	Sandy loam
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	8.2	12.40	2.7	16.80	0.92	0.26	29.8	52.3	17.9	Silt loam
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	8.3	3.66	1.3	18.40	1.77	0.23	22.1	61.3	16.6	Silt loam
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	8.1	6.23	3.4	21.20	1.21	0.31	29.1	55.1	15.8	Silt loam
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	8.8	2.64	0.6	2.00	0.34	0.05	90.1	3.5	6.4	Sand
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	8.5	6.13	2.9	5.20	0.74	0.10	67.7	19.0	13.3	Sandy loam
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	8.7	6.26	0.5	1.80	0.44	0.04	91.4	1.6	7.0	Sand
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	8.2	11.43	4.1	9.80	1.11	0.20	55.2	36.1	8.7	Sandy loam

ตาราง จ1 (ต่อ)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
E1	หนองแฟบ	8.9	5.33	0.2	3.60	0.40	0.07	92.4	1.5	6.1	Sand
E1.1	ปลายท่าเรือ	8.9	2.78	0.3	1.80	0.27	0.03	89.6	3.8	6.6	Sand
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	8.3	0.86	0.4	4.60	0.35	0.03	66.6	8.3	25.1	Sandy clay loam
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	7.9	2.83	2.8	14.60	1.36	0.17	54.5	53.1	37.8	Sandy clay
E3	หาดทรายทอง	7.3	1.21	4.3	19.60	5.82	0.27	32.2	50.6	17.2	Silt loam
E4	ปากคลองบ้านตากวน (ใน)	8.8	8.76	2.2	2.20	0.40	0.05	92.9	1.1	6.0	Sand
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	8.7	6.39	2.1	1.40	0.19	0.02	93.4	0	6.7	Sand
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	8.4	0.48	1.3	4.20	1.22	0.03	79.2	12.7	8.0	Loamy sand
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	7.8	3.18	3.5	16.60	2.50	0.18	18.1	62.6	19.4	Silt loam
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	7.9	4.29	3.7	16.80	2.82	0.32	22.4	60.0	17.6	Silt loam
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	7.7	2.08	3.6	26.00	3.35	0.27	18.4	65.0	16.6	Silt loam
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	8.4	3.48	1.0	5.80	0.46	0.08	79.2	11.1	9.7	Loamy sand
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	8.0	3.89	1.4	7.20	4.32	0.13	71.8	16.2	12.0	Sandy loam
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	7.8	1.88	1.9	7.60	5.40	0.15	69.1	19.7	11.2	Sandy loam
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	8.5	0.76	0.6	3.20	2.48	0.15	85.3	6.7	8.0	Loamy sand
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	8.9	4.35	2.7	11.00	4.62	0.53	38.5	44.5	17.0	Loam
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	7.7	6.08	0.6	6.40	2.53	0.50	91.7	1.0	7.3	Sand
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	7.7	0.91	0.6	4.20	1.66	0.26	75.6	17.6	6.9	Loamy sand
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	7.7	1.48	0.5	3.40	1.67	0.20	81.2	12.5	6.3	Loamy sand

Burapha University

ตาราง จ1 (ต่อ)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	8.6	2.52	1.8	2.20	1.39	0.05	70.0	23.1	6.8	Sandy loam
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	8.0	1.59	0.5	7.00	2.27	0.18	16.1	70.6	13.3	Silt loam
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	7.6	1.48	4.6	13.60	3.99	0.24	40.4	39.6	19.9	Loam
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	7.7	2.87	2.9	12.60	4.74	0.46	17.4	65.8	16.8	Silt loam
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	7.8	2.00	1.8	8.20	3.33	0.20	20.1	63.3	16.6	Silt loam
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	7.8	4.57	2.1	11.20	3.93	0.30	29.4	53.6	17.0	Silt loam
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	7.8	0.14	3.4	33.40	6.42	0.32	23.5	59.0	17.5	Silt loam
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	7.7	1.94	4.0	14.80	5.61	0.48	19.4	65.0	15.6	Silt loam
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	7.6	2.63	5.3	26.00	9.03	0.60	17.4	61.8	20.8	Silt loam
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	7.5	5.22	6.2	24.20	6.48	0.52	24.6	57.3	18.1	Silt loam
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	7.6	0.13	1.7	7.00	4.30	0.13	70.7	10.6	18.6	Sandy loam
G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	7.3	0.47	3.6	18.40	7.58	0.37	16.4	61.5	22.2	Silt loam
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	7.5	1.22	4.9	18.00	7.29	0.59	19.5	62.0	18.5	Silt loam
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	7.0	0.18	3.2	28.80	7.79	0.32	20.2	61.3	18.5	Silt loam

Burapha University

ตาราง จ2 คุณภาพดินตะกอนบางประการในบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกในฤดูฝน (สิงหาคม 2547)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
A1	ปากแม่น้ำบางปะกง (วัดบน)	8.1	4.85	3.7	27.20	0.30	0.17	4.8	46.0	49.2	Silty clay
A1.1	ปากแม่น้ำบางปะกง (ทุ่น 7)	7.7	2.65	3.1	34.20	2.03	0.72	17.8	47.6	34.6	Silty clay loam
A1.2	ปากแม่น้ำบางปะกง (ขวา)	7.6	1.79	4.5	38.60	2.43	1.35	14.1	53.0	32.9	Silty clay loam
A1.3	ปากแม่น้ำบางปะกง (ซ้าย)	7.3	2.24	3.6	34.00	2.08	0.77	2.8	60.0	37.2	Silty clay loam
A2	อ่าวชลบุรี (หน้าศาลากลาง)	7.7	9.51	4.4	23.60	0.49	0.49	17.4	56.6	25.9	Silt loam
A2.1	ห้วยกะปิ	8.6	6.46	1.6	6.20	0.28	0.11	69.1	13.0	17.9	Sandy loam
A3	อ่างศิลา (ท่าเรือประมง)	8.4	7.35	0.7	4.00	0.25	0.16	80.8	8.0	11.2	Loamy sand
A3.1	อ่างศิลา (คลองโปรง)	8.2	9.17	1.5	4.20	0.36	0.06	61.4	22.6	15.9	Sandy loam
C1.1	บางพระ	8.4	20.51	0.7	3.80	0.23	0.09	90.76	1.6	7.6	Sand
C2	ศรีราชา (เกาะลอย)	8.5	6.70	0.6	2.00	0.30	0.06	79.2	3.6	17.2	Sandy loam
C2.1	ผาแดง	8.0	14.39	4.5	18.40	0.36	0.23	21.1	62.0	16.9	Silt loam
C3	อ่าวอุดม (กลางอ่าว)	8.4	12.24	1.9	4.80	0.33	0.06	40.2	44.6	15.2	Loam
C3.1	แหลมฉบัง (หัวเขา)	8.3	18.83	3.2	15.60	0.31	0.17	32.8	46.0	21.2	Loam
C4	ท่าเรือแหลมฉบัง	8.9	6.04	2.9	21.80	0.67	0.11	32.8	49.2	17.9	Silt loam
C4.1	แหลมฉบัง (แนวกันคลื่น)	8.2	11.63	2.9	18.00	0.30	0.17	25.1	57	17.9	Silt loam
C5	โรงโป๊ะ (ใน)	8.4	9.19	0.6	2.20	0.27	0.03	86.9	6.3	6.8	Loamy sand
C5.1	โรงโป๊ะ (นอก)	8.3	8.82	1.9	2.80	0.30	0.05	67.4	18.6	13.9	Sandy loam
C6	ตลาดนาเกลือ (ใน)	8.2	7.58	0.5	5.20	0.15	0.03	91.9	1.1	7.0	Sand
C6.1	ตลาดนาเกลือ (นอก)	8.2	12.48	2.2	1.00	0.26	0.08	57.8	27.3	14.9	Sandy loam

ตาราง จ2 (ต่อ)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
E1	หนองแฟบ	7.8	11.66	3.7	6.40	1.11	0.45	19.8	62.5	17.7	Silt loam
E1.1	ปลายท่าเรือ	8.6	4.55	1.0	18.60	0.12	0.02	91.9	2.1	6.0	Sand
E2	มาบตาพุด (ปิโตรเคมี)	8.0	3.01	1.5	17.60	0.46	0.04	26.2	40.6	33.2	Clay loam
E2.1	สันเขื่อนใกล้เกาะสะเก็ด	7.7	4.18	2.3	2.20	0.42	0.04	10.4	3.7	85.8	Clay
E3	หาดทรายทอง	7.3	4.29	3.8	10.80	1.00	0.18	27.4	54.6	17.9	Silt loam
E4	ปากคลองบ้านตากวน(ใน)	8.5	20.65	1.7	10.60	0.28	0.07	87.4	4.0	8.6	Loamy sand
E4.1	ปากคลองบ้านตากวน (นอก)	8.2	4.91	0.3	2.40	0.04	0.02	92.6	1.5	5.9	Sand
E5	ปากแม่น้ำระยอง (ใน)	8.0	2.32	0.8	5.60	0.85	0.03	76.7	8.8	14.5	Sandy loam
E5.1	ปากแม่น้ำระยอง (นอก)	7.8	6.78	3.3	16.60	1.06	0.07	17.8	62.3	19.9	Silt loam
E5.2	ปากแม่น้ำระยอง (ขวา)	7.8	6.86	1.9	14.60	0.80	0.14	5.8	61.3	32.9	Silty clay loam
E5.3	ปากแม่น้ำระยอง (ซ้าย)	7.9	9.03	2.3	13.00	0.63	0.12	24.8	55.3	19.9	Silt loam
G1	แม่น้ำประแสร์ (ใน)	7.9	5.41	2.0	8.00	1.04	0.20	42.8	76.0	38.4	Clay loam
G1.1	ปากแม่น้ำประแสร์ (นอก)	7.6	5.74	4.2	12.40	1.23	0.16	42.8	36	21.2	Loam
G1.2	ปากแม่น้ำประแสร์ (ขวา)	7.9	4.86	2.5	5.60	0.74	0.10	66.2	15.6	18.2	Sandy loam
G1.3	ปากแม่น้ำประแสร์ (ซ้าย)	7.9	5.63	2.1	7.20	0.76	0.10	60.4	19.6	19.9	Sandy loam
G2	แม่น้ำพังราด (ใน)	8.1	4.89	1.3	7.60	0.63	0.17	58.7	31.8	9.5	Sandy loam
G2.1	ปากแม่น้ำพังราด (นอก)	7.9	6.55	2.6	6.60	0.95	0.27	43.8	37	19.2	Loam
G2.2	ปากแม่น้ำพังราด (ขวา)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G2.3	ปากแม่น้ำพังราด (ซ้าย)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Burapha University

ตาราง จ2 (ต่อ)

Station Code	Location	pH	$CaCO_3$ Equivalent (%)	Organic Matter (%)	CEC (cmol kg^{-1})	Total Oxides (mg g^{-1})		Particle Size Distribution (%)			Texture Class
						Fe	Mn	Sand	Silt	Clay	
G3	อ่าวคุ้งกระเบน (ใน)	8.5	4.43	0.3	2.60	0.24	0.06	80.9	13.5	5.6	Loamy sand
G3.1	อ่าวคุ้งกระเบน (นอก)	8.0	5.66	1.6	7.80	0.66	0.13	20.8	66.0	13.2	Silt loam
G4	แม่น้ำจันทบุรี (ใน)	8.0	2.96	3.2	13.40	1.20	0.21	49.8	32.0	18.2	Loam
G4.1	ปากแม่น้ำจันทบุรี (นอก)	7.8	5.20	3.2	11.60	0.83	0.29	7.8	76.0	16.2	Silt loam
G4.2	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ขวา)	8.6	3.10	0.2	2.40	0.41	0.16	88.9	4.5	6.6	Sand
G4.3	ปากแม่น้ำจันทบุรี (ซ้าย)	7.8	6.21	3.8	16.80	1.15	0.40	21.8	61.0	17.2	Silt loam
G5	แม่น้ำเวฬุ (ใน)	7.5	3.05	11.9	31.20	1.91	0.51	13.8	67.0	19.2	Silt loam
G5.1	ปากแม่น้ำเวฬุ (นอก)	7.7	4.51	12.4	20.60	1.44	0.40	22.8	59.0	18.2	Silt loam
G5.2	ปากแม่น้ำเวฬุ (ขวา)	7.5	3.70	10.8	32.40	1.51	0.55	8.8	73.6	17.6	Silt loam
G5.3	ปากแม่น้ำเวฬุ (ซ้าย)	7.6	4.06	8.1	27.20	1.39	0.49	20.8	61.6	17.6	Silt loam
G6	แม่น้ำตราด (ทุ่น 7)	6.5	1.68	0.6	12.60	0.75	0.07	50.8	21.6	27.6	Sandy clay loam
G6.1	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 1	7.4	2.76	2.0	16.20	2.04	0.28	22.5	53.0	24.5	Silt loam
G6.2	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 3 (ขวา)	7.2	2.35	2.5	18.80	2.19	0.27	13.5	55.1	31.4	Silty clay loam
G6.3	ปากแม่น้ำตราด ทุ่น 2 (ซ้าย)	7.1	2.31	2.4	19.80	1.95	0.19	15.5	56.0	28.5	Silt loam

Burapha University บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

209066