

บทที่ 3

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างและข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนามของพื้นที่เก็บตัวอย่าง

3.1.1 ข้อมูลภาคสนามขณะเก็บตัวอย่างตะกอน

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีภาคสนาม ซึ่งตรวจวัดขณะเก็บตัวอย่างตะกอนจากทั้ง 4 สถานีในคลองอู่ตะเภา (ภาพประกอบ 2-1 ในบทที่ 2) แสดงไว้ในตาราง 3-1 สำหรับลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างตะกอนทุกคอร์ แสดงไว้ในตาราง 3-2

3.1.2 ข้อมูลภาคสนามขณะเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน

ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมีภาคสนาม ขณะเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนแสดงไว้ในตาราง 3-3

ตาราง 3 - 1 ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ขณะเก็บตัวอย่างตะกอน (12 และ 16 มีนาคม 2544)

ข้อมูล	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4
วันที่เก็บตัวอย่าง	12 มีนาคม	12 มีนาคม	16 มีนาคม	16 มีนาคม
เวลาเก็บตัวอย่าง	14.25 น.	12.50 น.	11.45 น.	9.50 น.
ความลึกของน้ำ (m)	1.0	1.0	2.5-3.0	3.5
ความเป็นกรดค่า	9.19	7.45	6.05	6.17
ความขุ่น (NTU)	57.4	44.6	124.0	51.3
ออกซิเจนละลาย (mg/l)	9.83	3.22	4.12	3.47
ความเค็ม (psu)	13	1	0	0
ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (mV)	66	120	150	155
ความนำไฟฟ้า (s/m)	2.180	0.213	0.00172	0.00161
อุณหภูมิ (°C)	31.02	29.34	29.47	29.53
ปริมาณของแข็งละลายรวม(g/l)	14.00	1.40	0.11	0.11

ตาราง 3 - 2 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างตะกอน

ข้อมูล	สถานี 1		สถานี 2		สถานี 3		สถานี 4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
ความสูงของตะกอน (cm)	32	29	31	32	26	29	30	29
สีของตะกอนส่วนบน	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเทา	เทา มีทรายปน	เทา มีสีดำบางส่วน	น้ำตาลแดง	เทา
สีของตะกอนส่วนกลาง	น้ำตาลเทา	เทา	เทา	เทา	เทา มีสีดำบางส่วน	เทา มีสีดำบางส่วน	เทา	เทา
สีของตะกอนส่วนล่าง	เทา	เทา	เทา	เทา	เทา มีสีดำบางส่วน	เทา มีสีดำบางส่วน	เทา	เทา มีสีดำบางส่วน
ลักษณะของตะกอน	ดินละเอียด มีเศษไม้ และสาหร่าย	ดินละเอียด มีเศษไม้ และสาหร่าย	ดินโคลนปน ทรายละเอียด	ดินโคลนปน ทรายละเอียด	ส่วนบน ดินปนทราย ส่วนล่างค่อนข้างละเอียด	ส่วนบน ดินปนทราย ส่วนล่างค่อนข้างละเอียด	ทรายละเอียด มีสีน้ำตาลแดง	ทรายละเอียด มีสีน้ำตาลแดง
สิ่งมีชีวิตหน้าดินที่พบ	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	หอย	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	ไม่พบ	ไม่พบ

ตาราง 3 - 3 ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ-เคมี ขณะเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอน (16 มีนาคม 2544)

ข้อมูล	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4
เวลาเก็บตัวอย่าง	15.15 น.	13.30 น.	11.45 น.	9.50 น.
ความลึกของน้ำ (m)	2.5	4.5	2.5-3.0	3.5
ความเป็นกรดต่าง	5.87	5.60	6.05	6.17
ความขุ่น (NTU)	26.3	44.6	124.0	51.3
ออกซิเจนละลาย (mg/l)	4.99	2.61	4.12	3.47
ความเค็ม (psu)	8	8	0	0
ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ (mV)	92	120	150	155
ความนำไฟฟ้า (s/m)	1.46	1.36	0.00172	0.00161
อุณหภูมิ (°C)	30.55	30.17	29.47	29.53
ปริมาณของแข็งละลายรวม (g/l)	9.00	9.00	0.11	0.11

ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง ในวันที่ 12 มีนาคม 2544 เริ่มเก็บตัวอย่างจากสถานี 2 เวลา 12.50 น. ลักษณะอากาศในขณะเก็บตัวอย่างดี ท้องฟ้าโปร่ง ส่วนสถานี 1 เก็บตัวอย่างเมื่อเวลา 14.25 น. วันเดียวกัน ค่าออกซิเจนละลายในสถานี 1 ขณะเก็บตัวอย่างมีค่าสูงถึง 9.8 mg/l ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นชั่วคราวเนื่องมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไปและเปลี่ยนเป็นออกซิเจน จึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น และการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ผลิตภัณฑ์จากการละลายของก๊าซนี้ในน้ำ คือ กรดคาร์บอนิก (carbonic acid) ลดลง จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้น (Buffle and Stumm, 1994, Stumm and Morgan, 1996) นอกจากนี้ขณะเก็บตัวอย่างคลื่นลมเริ่มจะแรงขึ้นมากจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเติมออกซิเจนจากอากาศ

นอกจากนี้ การที่สถานี 1 เป็นสถานีปากคลอง ได้รับอิทธิพลของน้ำเค็มจากทะเลซึ่งเข้ามาทางทะเลสาบสงขลาตอนล่าง จึงทำให้ตามปกติแล้ว ค่าความเป็นกรดต่าง ความเค็ม ความนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งละลาย จะสูงกว่าสถานีอื่นที่ลึกเข้าไปในลำน้ำ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าดังในวันที่ 16 มีนาคม 2544 (ลักษณะท้องฟ้ามีครึ้มตั้งแต่ช่วงเช้า และมีฝนตกในช่วงบ่าย) พบว่าสถานี 1 มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายต่ำ แสดงถึงความสามารถในการออกซิไดซ์ (oxidizing ability) ต่ำ (Buffle and Stumm, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ที่มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ (ในขณะเก็บตัวอย่างทั้งสองวัน)

คลองอู่ตะเภาเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท มีการใช้ประโยชน์เพื่อการอุตสาหกรรม และสามารถใช้เป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค แต่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน จึงจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ตาราง ๗-1 ภาคผนวก ๗) พบว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของเอสทรีคลองอู่ตะเภาค่อนข้างดี (ตาราง 3-1 และ 3-3)

3.2 เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในน้ำเหนือฝัวดะกอน

ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำเหนือฝัวดะกอนจากทั้ง 4 สถานี (ตาราง 3-4) พบว่ามีความสอดคล้องกับคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีขณะเก็บตัวอย่างตะกอน โดยพบว่าโลหะส่วนใหญ่มีค่าสูงที่สุดในสถานี 1 โดยเฉพาะตะกั่วซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่าสถานีอื่นมากกว่า 30 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณที่เดิมมากขึ้น (ช่วงที่เก็บตัวอย่างมีความเค็ม 13) โลหะมีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปแบบที่ละลายมากกว่า กล่าวคือ เมื่อน้ำนี้มีค่าความเข้มข้นของไอออน (ionic strength) เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนที่สูงขึ้น จะแข่งกับไอออนของโลหะในการจับกับบริเวณ “active site” ของฝัวดินอนุภาคตะกอน ทำให้เกิดการแทนที่ไอออนของโลหะและปลดปล่อยไอออนออกสู่มวลน้ำ ซึ่งเรียกว่ากระบวนการคายออก (desorption) ขณะเดียวกันเมื่อน้ำมีความเค็มและความเป็นกรดค่าสูงขึ้นไป (Luoma, 1990) ดังนั้นน้ำที่อยู่เหนือฝัวดะกอนในบริเวณสถานี 1 จึงยังคงเกิดกระบวนการแรกอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของโลหะในน้ำเหนือฝัวดะกอนสูงกว่าสถานี 2 (ซึ่งมีความเค็มต่ำกว่า) และสถานี 3 และ 4 ซึ่งมีค่าความเค็มเป็นศูนย์

นอกจากนี้การที่ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของสถานี 1 มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นๆ ถึง 2 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำบริเวณนี้มีความสามารถในการออกซิไดซ์ต่ำกว่า ส่งผลให้โลหะส่วนใหญ่มีแนวโน้มคงอยู่ในรูปแบบที่ละลายในมวลน้ำ มากกว่าที่จะเกิดการตกตะกอน (Buffle and Stumm, 1994) ความเข้มข้นของโลหะหนักส่วนใหญ่ในน้ำเหนือฝัวดะกอนบริเวณสถานี 1 จึงมีค่าสูงกว่าสถานีอื่นๆ

ตาราง 3 - 4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในน้ำเหนือฝั้วตะกอน จาก 4 สถานี

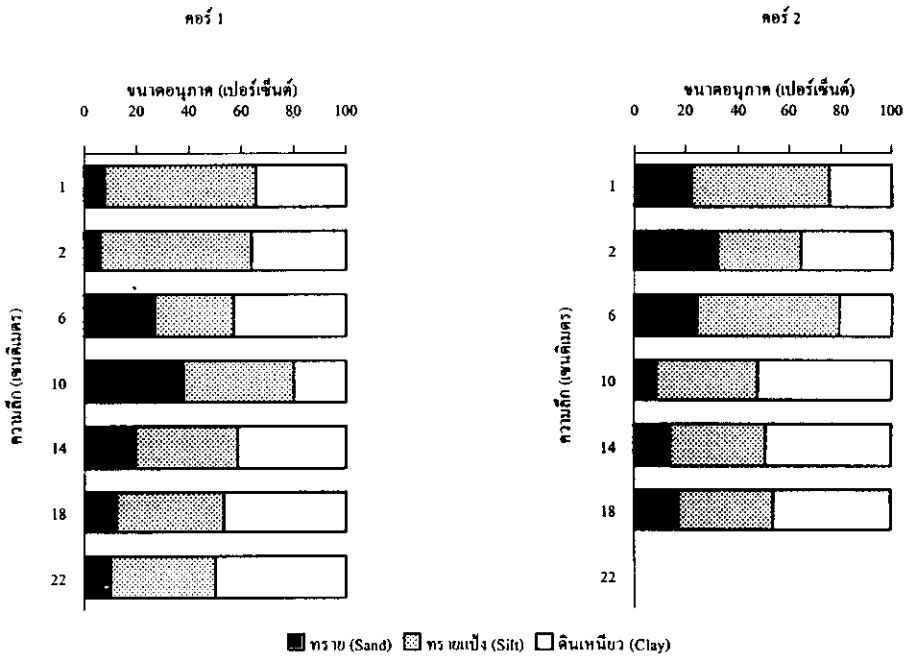
สถานี	เหล็ก (mg/l)	แมงกานีส (mg/l)	สังกะสี (µg/l)	ทองแดง (µg/l)	ตะกั่ว (µg/l)
1	1.42	2.32	146.06	26.06	107.04
2	7.54	2.30	113.79	< 1.07	3.90
3	0.86	0.42	43.33	1.19	< 0.73
4	3.96	1.42	50.82	2.48	< 0.73

3.3 การกระจายขนาดอนุภาคตะกอน

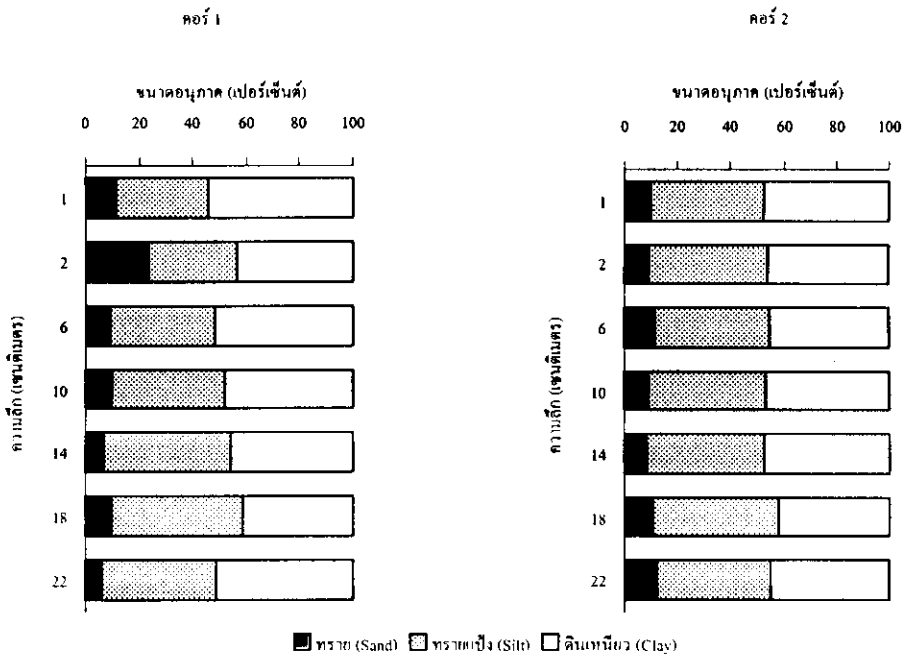
ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน แสดงในตาราง ฅ-1 ในภาคผนวก ฅ การกระจายขนาดอนุภาคเฉลี่ยทั้งคอร์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) สรุปไว้ในตาราง 3-5 และภาพประกอบ 3-1 ถึง 3-4 แสดงแนวโน้มการกระจายขนาดอนุภาคตามระดับความลึกในแต่ละคอร์ตะกอน

ตาราง 3 - 5 การกระจายขนาดอนุภาคของคอร์ตะกอนจาก 4 สถานี (% เฉลี่ย)

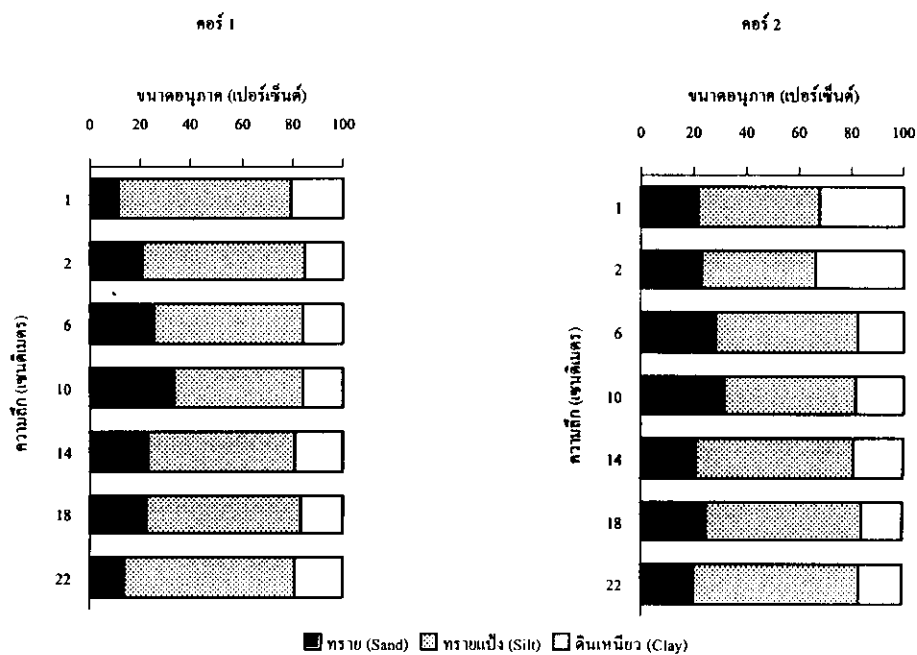
สถานี	ทราย (%)	ทรายแป้ง (%)	ดินเหนียว (%)
1	18.35	43.21	38.44
2	10.45	42.77	46.78
3	22.82	57.47	19.71
4	16.57	38.86	44.56



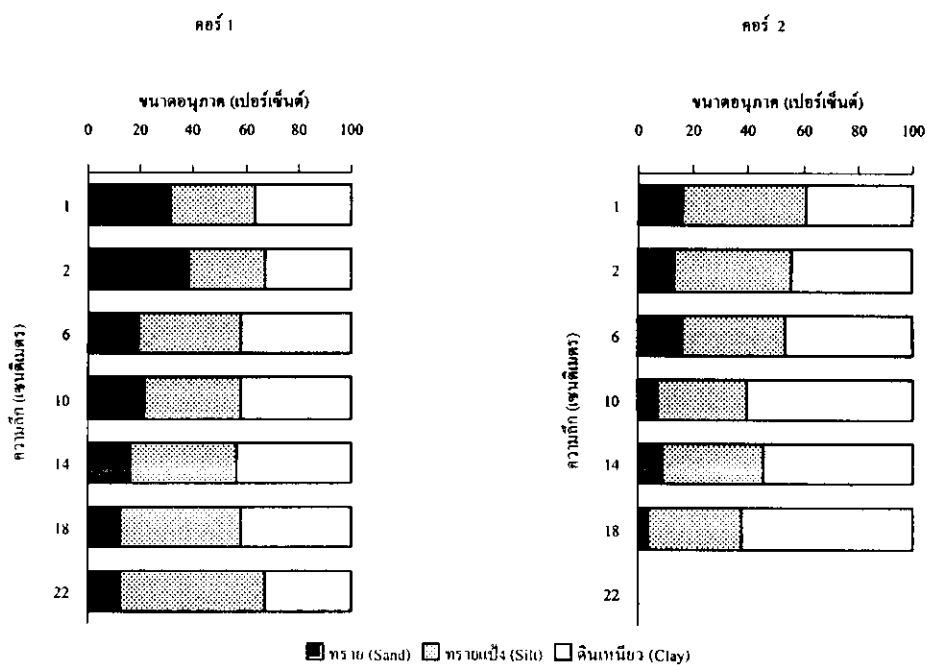
ภาพประกอบ 3 - 1 การกระจายขนาดอนุภาคตามระดับความลึกบริเวณสถานี 1



ภาพประกอบ 3 - 2 การกระจายขนาดอนุภาคตามระดับความลึกบริเวณสถานี 2



ภาพประกอบ 3 - 3 การกระจายขนาดอนุภาคตามระดับความลึกบริเวณสถานี 3



ภาพประกอบ 3 - 4 การกระจายขนาดอนุภาคตามระดับความลึกบริเวณสถานี 4

จากภาพประกอบ 3-1 และตาราง ฅ-1 ในภาคผนวก ฅ การกระจายขนาดอนุภาคตะกอนตามระดับความลึกในสถานี 1 มีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างสองคอร์ที่เก็บตัวอย่างมา อย่างไรก็ตามในสถานี 1 ตะกอนส่วนบนมีลักษณะหยาบกว่าตะกอนส่วนล่าง โดยตะกอนด้านล่างมีลักษณะเป็นโคลนที่มีทรายและทรายแป้งปนอยู่ เรียกว่า “sandy silty clay” ซึ่งละเอียดกว่าตะกอนที่อยู่ด้านบน สำหรับตะกอนด้านบน (ซึ่งหยาบกว่าด้านล่าง) ของคอร์ 1 ละเอียดกว่าของคอร์ 2 เล็กน้อย โดยเป็นทรายแป้งที่มีโคลนปน เรียก “clayey silt” ส่วนคอร์ 2 มีลักษณะเป็นทรายแป้งที่มีทรายและโคลนปน เรียก “sandy clayey silt”

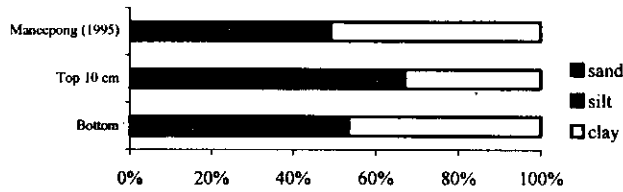
สถานี 2 พบว่าตะกอนด้านบนละเอียดกว่าตะกอนด้านล่างเล็กน้อย (ภาพประกอบ 3-2 และตาราง ฅ-1 ในภาคผนวก ฅ) โดยตะกอนด้านบนมีสัดส่วนของขนาดดินเหนียวมากกว่าขนาดทรายแป้งเล็กน้อย คือ เป็นประเภท “silty clay” ขณะที่ตะกอนด้านล่างเป็นประเภท “clayey silt” คือ มีสัดส่วนของขนาดทรายแป้งมากกว่าขนาดดินเหนียวเล็กน้อย

สถานี 3 อนุภาคส่วนใหญ่เป็นขนาดทรายแป้งรองลงมา คือ ขนาดทราย ส่วนขนาดดินเหนียวมีปริมาณต่ำกว่าสถานีอื่นๆ โดยเป็นขนาดทรายแป้งซึ่งมีโคลนและทรายปน เรียกว่า “sandy clayey silt” (ภาพประกอบ 3-3 และตาราง ฅ-1 ในภาคผนวก ฅ) อย่างไรก็ตามก็มีส่วนกลางของคอร์ที่มีปริมาณของขนาดทรายมากกว่าส่วนบนและส่วนล่างเล็กน้อย

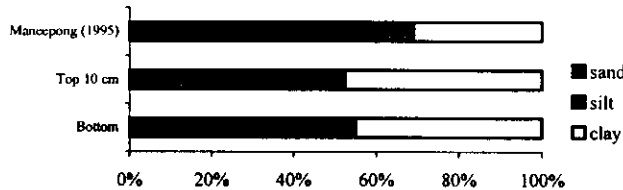
สถานี 4 การแพร่กระจายของขนาดตะกอนค่อนข้างกระจุกกระจาย (ภาพประกอบ 3-4 และตาราง ฅ-1 ในภาคผนวก ฅ) แต่ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม “silty clay” คือ เป็นโคลนที่มีทรายแป้งปน โดยรวมแล้ว ตะกอนคอร์ 2 มีขนาดค่อนข้างละเอียดกว่าคอร์ 1

จากการเปรียบเทียบขนาดตะกอนทั้ง 4 สถานี กับการศึกษาตะกอนในพื้นที่เดียวกันของ Manepong (1995) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-5 พบว่าการกระจายขนาดของตะกอนที่วิเคราะห์ได้โดย Manepong (1995) มีขนาดหยาบกว่าที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งนี้ ยกเว้นสถานี 1 ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน Manepong (1995) เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือตักดิน (grab) ซึ่งมีโอกาสสูญเสียตะกอนละเอียดออกไปได้ถ้าหากว่าการปิดของปากเครื่องมือไม่สนิท การเก็บตะกอนโดยใช้คอร์นั้น จะไม่มีการสูญเสียตะกอนขนาดใด ๆ ออกไปในระหว่างการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นตะกอนละเอียดจึงอยู่ครบถ้วน ขนาดอนุภาคของตะกอนนั้นมีผลต่อการสะสมความเข้มข้นของโลหะในตะกอน พบว่าตะกอนที่มีขนาดละเอียดกว่าขนาดทรายแป้งลงไป (<63 ไมโครเมตร) จะมีโลหะสะสมอยู่มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ ทั้งนี้นอกจากเป็นเพราะองค์ประกอบแร่แล้ว ยังเป็นเพราะพื้นที่ผิวอนุภาคเพิ่มขึ้น (Salomons and Förstner, 1984; Loring and Rantala, 1995; Ujevic, Odzak and Baric, 2000)

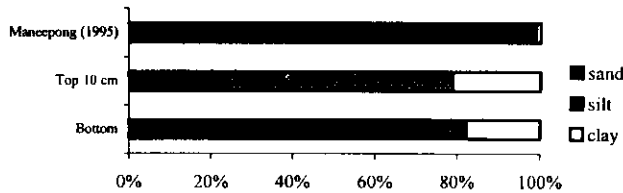
สถานี 1



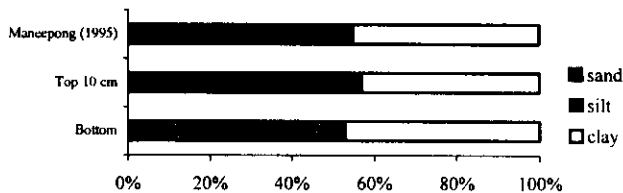
สถานี 2



สถานี 3



สถานี 4



ภาพประกอบ 3 - 5 การกระจายขนาดตะกอนเปรียบเทียบระหว่างการศึกษารั้งนี้กับ Maneepong (1995)

3.4 การกระจายตัวของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ตามระดับความลึก

การกระจายตัวของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในน้ำระหว่างตะกอนและในตะกอนตามระดับความลึก (depth profile) บอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นโลหะดังกล่าวในแต่ละระดับความลึก โดยในน้ำระหว่างตะกอนศึกษาความเข้มข้นทั้งหมด ส่วนในตะกอนศึกษารูปแบบของโลหะที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ในระดับความลึกต่าง ๆ โดยการสกัดด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์

¹ การสกัดด้วยกรดอะซิติกจะได้โลหะเฉพาะส่วนที่สามารถแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมภายนอกได้เท่านั้น (Loring and Rantala, 1995)

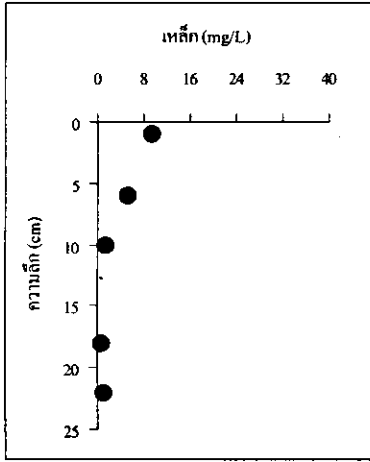
ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะทั้ง 5 ชนิด ในน้ำระหว่างตะกอน และรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอน แสดงไว้ในตาราง ฅ-1 และ ฅ-2 ในภาคผนวก ฅ

3.4.1 เหล็ก

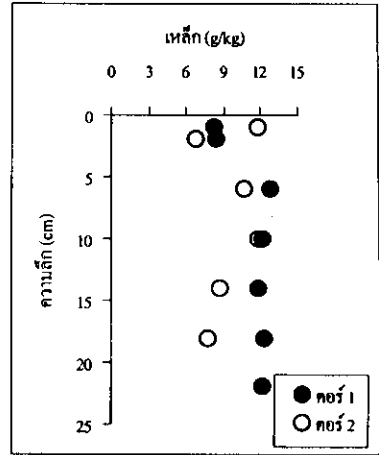
ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง 0.07 – 71.10 mg/l และในตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.50– 13.54 g/kg ภาพประกอบ 3-6 ถึง 3-9 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเหล็กตามความลึก ในน้ำระหว่างตะกอน (ภาพ ก) และในตะกอน (ภาพ ข)

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนจากสถานี 1 และ 3 (ภาพประกอบ 3-6ก และ 3-8ก) มีค่าสูงสุดในระดับตะกอนผิวหน้า จากนั้นลดลงและค่อนข้างคงที่ในระดับความลึกที่มากกว่า 6 เซนติเมตร การกระจายตัวลักษณะเดียวกันนี้พบในน้ำระหว่างตะกอนบางบริเวณในอ่าวปาปัว (Gulf of Papua) ประเทศปาปัวนิวกินี (Alongi *et al.*, 1996) และในเดลตาอิกลาอูน (Deltaic lagoon) ประเทศอิตาลี (Viel *et al.*, 1991) ส่วนสถานี 2 และ 4 (ภาพประกอบ 3-7ก และ 3-9ก) ความเข้มข้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก จนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับลึก 10 เซนติเมตร จากนั้นความเข้มข้นก็จะลดลง บริเวณนี้จึงเป็นชั้นทรานซิชัน (transition layer) ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นออกซิไดซิงค์และรีดิวซิงค์ เนื่องจากในสภาวะที่ขาดออกซิเจน เหล็กออกซิไฮดรอกไซด์ (Fe-oxyhydroxide) ในตะกอนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ ทำให้ในสภาวะรีดิวซิงค์เช่นนี้เหล็กจะละลายจะถูกปลดปล่อยออกสู่น้ำระหว่างตะกอน เรียกว่า “reductive dissolution” (Ciceri *et al.*, 1992; Mayer, Ptacek and Zanini, 1999) อย่างไรก็ตามในบริเวณที่ลึกมากขึ้น ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนลดลง เนื่องจากถูกควบคุมโดยกระบวนการตกตะกอนของเหล็กกับแอนไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอนนั้น เกิดเป็นเหล็กรูปแบบที่ไม่ละลาย เช่น เหล็กตกตะกอนกับซัลไฟด์ เกิดเป็น iron monosulfides (FeS) และ pyrite (FeS₂) (Viel *et al.*, 1991) หรือถูกควบคุมโดยคาร์บอเนตและฟอสเฟต โดยตกตะกอนไปเป็น siderite (FeCO₃) และ vivianite (Fe₃(PO₄)₂·8H₂O (Burdige, 1993) เป็นต้น

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับบริเวณอื่น (ตาราง 1-2 ในบทที่ 1) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนจากคลองอู่ตะเภา มีค่าสูงกว่าในแม่น้ำบางปะกงมาก

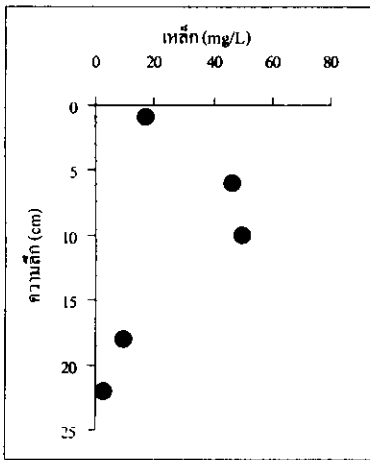


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

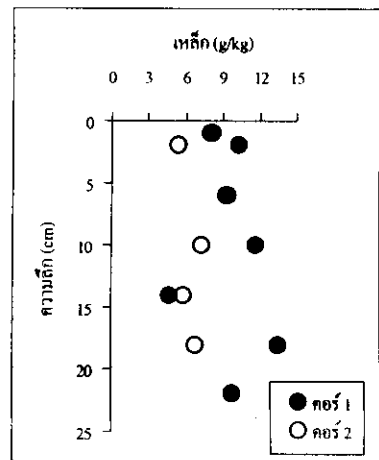


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 6 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของเหล็กในสถานี 1

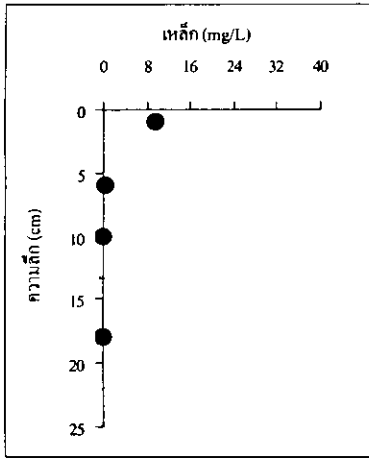


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

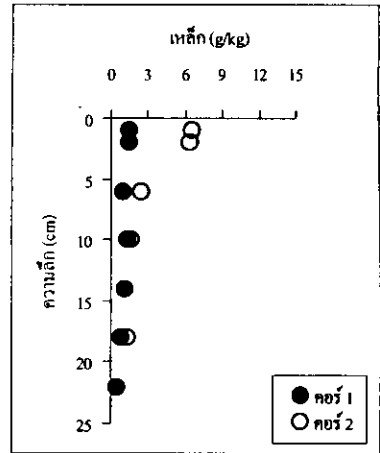


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 7 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของเหล็กในสถานี 2

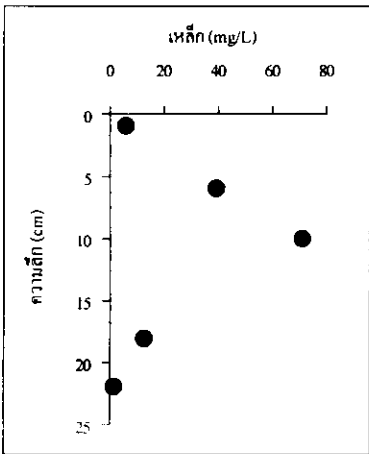


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

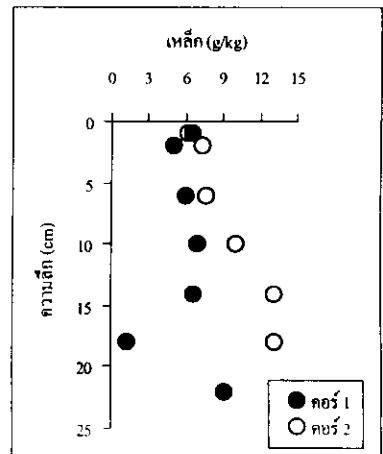


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 8 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของเหล็กในสถานี 3



(ก) น้ำระหว่างตะกอน



(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 9 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของเหล็กในสถานี 4

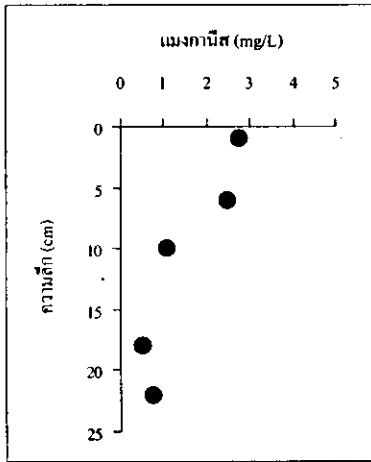
ส่วนในตะกอนนั้น การกระจายตัวตามความลึกของเหล็กรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ (ภาพประกอบ 3-6ข ถึง 3-9ข) ไม่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดยเหล็กจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตามความลึก โดยเฉพาะสถานี 3 ความเข้มข้นของเหล็กที่สถานี 1, 2 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วง 8-13 g/kg ส่วนสถานี 3 มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่น ๆ คือ อยู่ในช่วง 0.5-6 g/kg ทั้งนี้เนื่องจากกรดอะซิดิกไม่สามารถสกัดเหล็กที่อยู่ในรูปเหล็กซัลไฟด์ (Loring and Rantala, 1995)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนส่วนที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ที่วิเคราะห์ได้จากกรวยนี้ กับบริเวณอื่น ๆ (ตาราง 1-1 ในบทที่ 1) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงปกติ และอยู่ในช่วงความเข้มข้นเดียวกับตะกอนหน้าดินคลองอยู่ตะกา (Maneepong and Angsupanich, 1999) แต่มีความเข้มข้นต่ำกว่าตะกอนจากอ่าวไทย (ซึ่งอยู่ในเขตที่เป็นน้ำเค็ม) (Sompongchaiyakul, 1989) เล็กน้อย

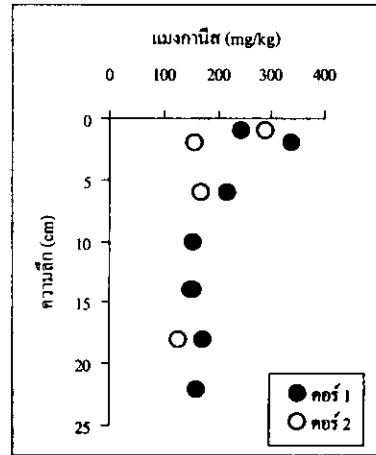
3.4.2 แมงกานีส

ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง 0.17 – 14.87 mg/l ส่วนในตะกอน แมงกานีสในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 38.00–362.50 mg/kg ภาพประกอบ 3-10 ถึง 3-13 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแมงกานีสตามความลึก ในน้ำระหว่างตะกอน (ภาพ ก) และในตะกอน (ภาพ ข)

แม้ว่าระดับความเข้มข้นแมงกานีส จะต่ำกว่าเหล็กถึง 5 เท่า แต่แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกในน้ำระหว่างตะกอนของแมงกานีสและเหล็กมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ในสถานี 1 และ 3 (ภาพประกอบ 3-10ก และ 3-12ก) แมงกานีสมีความเข้มข้นสูงที่ระดับผิวน้ำ จากนั้นจะลดลง โดยในสถานี 3 พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนในสถานี 2 และ 4 (ภาพประกอบ 3-11ก และ 3-13ก) ความเข้มข้นของแมงกานีสเพิ่มขึ้นตามความลึกลงไปจนสูงสุดที่ระดับ 10 เซนติเมตร หลังจากนั้นความเข้มข้นจะลดลง แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของแมงกานีสเช่นนี้ พบในน้ำระหว่างตะกอนบางบริเวณในอ่าวป่าปิว ประเทศปาปัวนิวกินี (Alongi *et al.*, 1996) อธิบายได้เช่นเดียวกับเหล็กว่า ในที่ลึกลงไปซึ่งจะมีออกซิเจนต่ำกว่าบริเวณผิวน้ำ ทั้งเหล็กและแมงกานีสออกซีไฮดรอกไซด์ (Fe and Mn-oxyhydroxide) ที่อยู่ในตะกอนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนเพิ่มขึ้น (Ciceri *et al.*, 1992; Mayer, Ptacek and Zanini, 1999)

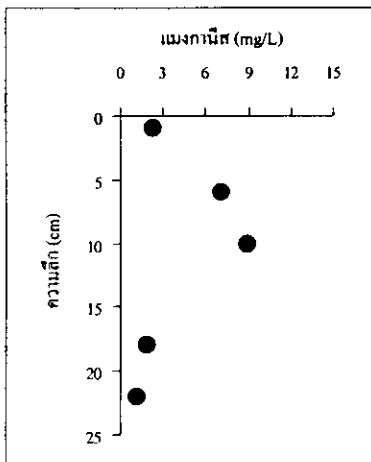


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

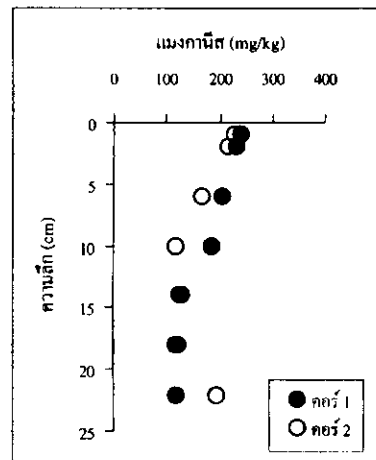


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 10 แนวโน้มการกระจายตัวของระดับความลึกของแมงกานีสในสถานี 1

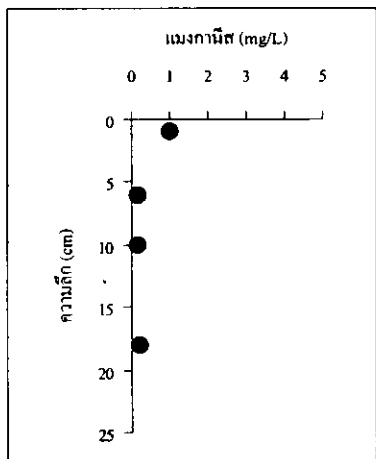


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

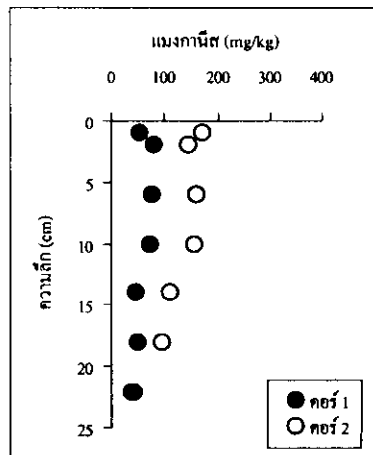


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 11 แนวโน้มการกระจายตัวของระดับความลึกของแมงกานีสในสถานี 2

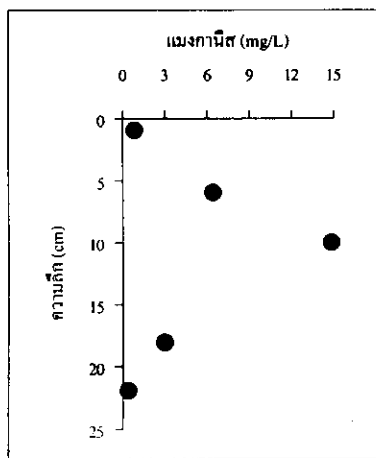


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

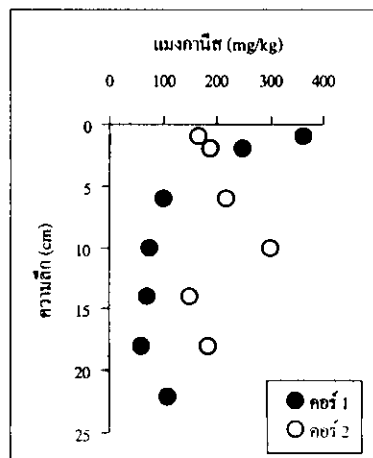


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 12 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของแอมโมเนียมในสถานี 3



(ก) น้ำระหว่างตะกอน



(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 13 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของแอมโมเนียมในสถานี 4

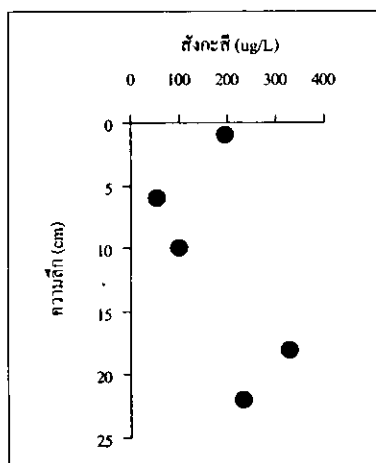
เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น (ตาราง 1-2 ในบทที่ 1) ระดับความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับที่มีการรายงานในบางบริเวณ เช่น อ่าวปาปิัว ประเทศปาปัวนิวกินี (Alongi *et al.*, 1996) และทะเลไอริชตะวันออกเฉียงเหนือ (north-eastern Irish sea) (William *et al.*, 1998) ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่พบในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณอื่นเล็กน้อย แต่ยังต่ำกว่าที่พบในบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำลีนา ในทะเลแลพทีฟ (Lena delta, Laptev sea) (Nolting, Dalen and Helder, 1966)

ความเข้มข้นของแมงกานีสรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอน มีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกในช่วงแคบ (ภาพประกอบ 3-10ข ถึง 3-13ข) โดยที่ระดับผิวหน้าจะมีความเข้มข้น สูงกว่าระดับลึกลงไปเล็กน้อย ยกเว้นสถานี 4 ซึ่งคอร์ 1 มีแมงกานีสที่ระดับผิวหน้าสูงกว่าในที่ลึกค่อนข้างมาก ในขณะที่คอร์ 2 ค่าความเข้มข้นที่ผิวหน้าไม่แตกต่างจากด้านล่างมากนัก จากการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของแมงกานีสในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอนกับบริเวณอื่น ๆ (ตาราง 1-1 ในบทที่ 1) พบว่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับที่พบในตะกอนจากที่อื่น แต่อยู่ในระดับที่สูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในตะกอนที่เก็บจากบริเวณท่าเรือเวลลิงตัน (Wellington harbour) ประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งมีความเข้มข้นเพียง 17 mg/kg (Dickinson, Dumber and McLeod, 1996) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแมงกานีสในตะกอนผิวหน้าของคลองอู่ตะเภาที่เคยมีการศึกษามาแล้ว (Maneepong and Angsupanich, 1999) (ดูตาราง 1-1 ในบทที่ 1) พบว่าอยู่ในระดับเดียวกับผลการศึกษาในครั้งนี้ และเช่นเดียวกับเหล็ก แมงกานีสในตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย (Sompongchaiyakul, 1989) จะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในตะกอนคลองอู่ตะเภาเล็กน้อย

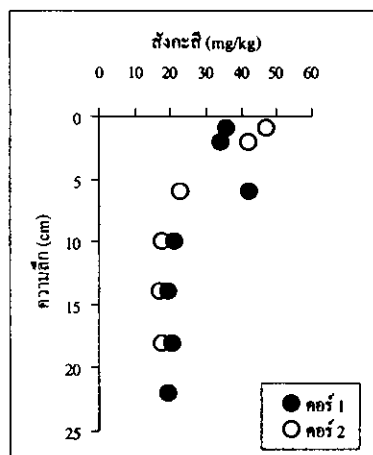
3.4.3 สังกะสี

ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง 2.89 - 330.30 $\mu\text{g/l}$ ส่วนในตะกอน สังกะสีในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 9.41 - 48.93 mg/kg ภาพประกอบ 3-14 ถึง 3-17 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสังกะสีตามความลึก ในน้ำระหว่างตะกอน (ภาพ ก) และในตะกอน (ภาพ ข)

จากภาพประกอบ 3-14ก ถึง 3-17ก เห็นได้ว่าการกระจายตัวของสังกะสีในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกในสถานี 1 และ 2 จะมีความเข้มข้นมากที่ระดับผิว และมีแนวโน้มลดลงจนถึงระดับความลึก 6 เซนติเมตร จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีกตามระดับความลึก ส่วนสถานี 3 และ 4 ความเข้มข้นที่ผิวบนมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในน้ำระหว่างตะกอนจากทุกระดับความลึก มีค่าสูงที่สุดที่สถานี 1 (ปากคลองอู่ตะเภา) และลดลงเมื่อลึกเข้าไปในลำน้ำ โดยมีค่าต่ำสุดที่สถานี 3

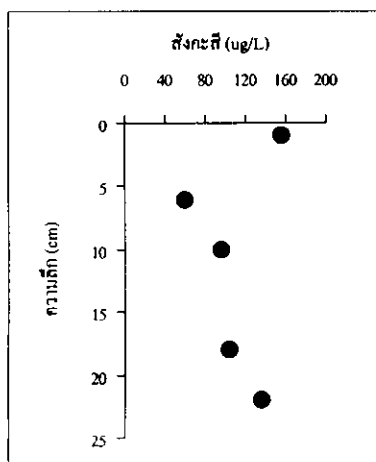


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

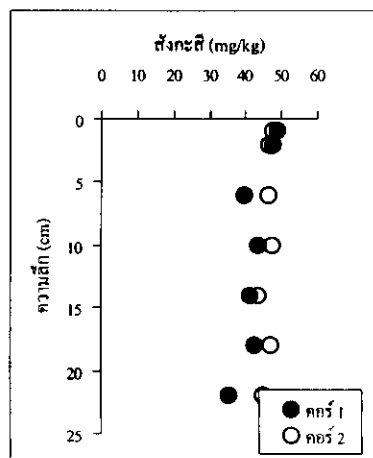


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 14 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของสังกะสีในสถานี 1

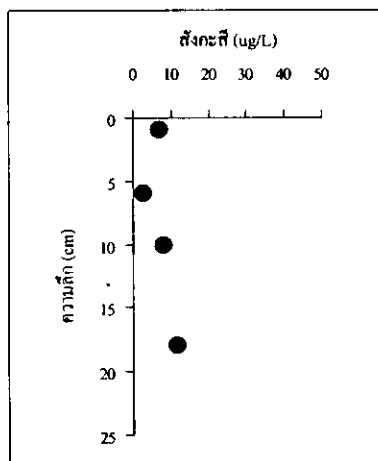


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

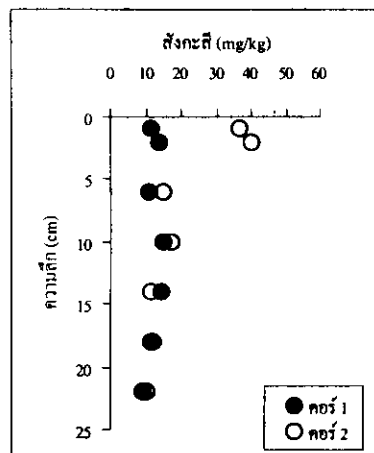


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 15 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของสังกะสีในสถานี 2

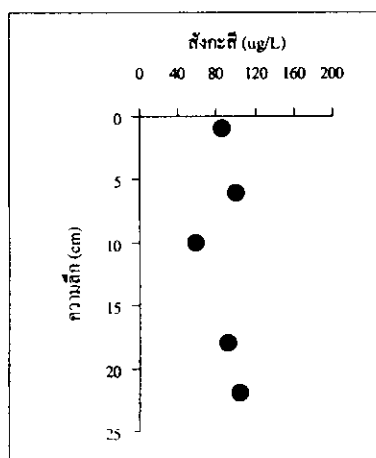


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

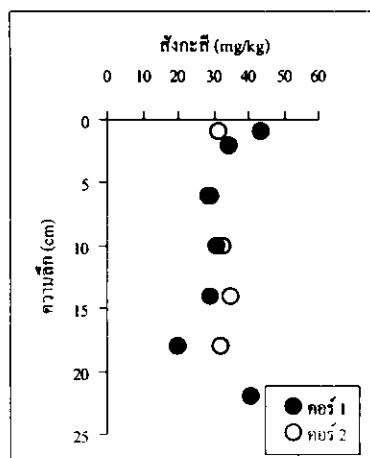


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 16 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของสังกะสีในสถานี 3



(ก) น้ำระหว่างตะกอน



(ข) ตะกอน

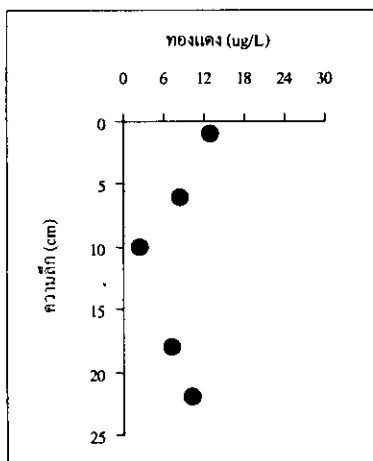
ภาพประกอบ 3 - 17 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของสังกะสีในสถานี 4

ช่วงความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำระหว่างตะกอนจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าสูงกว่าในน้ำระหว่างตะกอนที่เก็บจากแม่น้ำบางปะกง (Cheevapom, Jacinto and San Diego-McGlone, 1995) ซึ่งเป็นพื้นที่เอสทูรีในเขตร้อนเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามก็ตีระดับความเข้มข้นสูงสุดของสังกะสีที่พบในน้ำระหว่างตะกอนจากพื้นที่ที่อยู่ตะกอนอยู่ในช่วงเดียวกับบางพื้นที่ และต่ำกว่าที่พบในอีกหลายพื้นที่ (ดูตาราง 1-2 ในบทที่ 1)

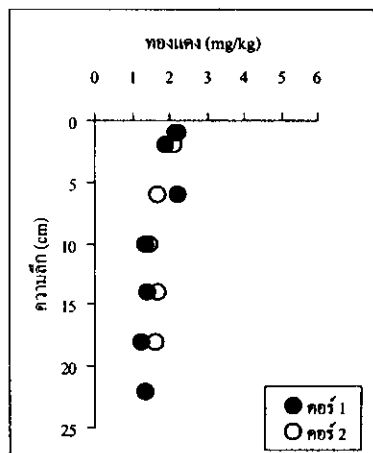
การกระจายตัวของสังกะสีในตะกอนมีแนวโน้มคงที่ตามระดับความลึกของตะกอน (ภาพประกอบ 3-14ข และ 3-17ข) ที่สถานี 1 และ สถานี 3 คอร์ 2 มีความเข้มข้นสูงที่ผิว จากนั้นความเข้มข้นลดลงและมีแนวโน้มคงที่ที่ระดับลึก ความเข้มข้นของตะกอนชั้นบนจากทุกสถานีมีความเข้มข้นประมาณ 30-45 mg/kg ยกเว้นในสถานี 3 คอร์ 1 มีความเข้มข้นต่ำกว่าประมาณ 4 เท่า ความเข้มข้นของตะกอนที่ระดับลึกในสถานี 1 และ 3 มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 15-19 mg/kg สถานี 2 และ 4 มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 30-40 mg/kg ลักษณะการกระจายตัวตามความลึกรูปแบบเดียวกันนี้พบในอ่าวกาลเวสตัน (Galveston bay) รัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา (Warnken *et al.*, 2001) สังกะสีรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอนที่ศึกษาครั้งนี้มีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วงเดียวกับที่เคยมีรายงานไว้ในการศึกษาตะกอนคลองอู่ตะเภาที่เก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2539 (Maneepong and Angsupanich, 1999) และมีค่าใกล้เคียงกับตะกอนในพื้นที่อื่นๆ (ดูตาราง 1-1 ในบทที่ 1) ยกเว้นบริเวณชายหาดไควโว (Chivo beach) ประเทศคิวบา (Gonzalez *et al.*, 1999) ซึ่งมีความเข้มข้นสูงมากถึง 1,668 g/kg ความเข้มข้นของสังกะสีรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ที่มีอยู่ในตะกอนจากคลองอู่ตะเภาจึงอยู่ในช่วงระดับความเข้มข้นปกติที่พบในธรรมชาติ ซึ่งเป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดภาวะมลพิษในสิ่งแวดล้อมนั่นเอง

3.4.4 ทองแดง

ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนคลองอู่ตะเภา (ทั้งรูปแบบที่อยู่ในน้ำระหว่างตะกอน และรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอน) มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับโลหะสังกะสีและตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะที่มีการปนเปื้อนและก่อปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง <math><1.07-19.30 \mu\text{g/l}</math> ขณะที่ทองแดงในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.03 – 4.15 mg/kg ภาพประกอบ 3-18 ถึง 3-21 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทองแดงตามความลึก ในน้ำระหว่างตะกอน (ภาพ ก) และในตะกอน (ภาพ ข)

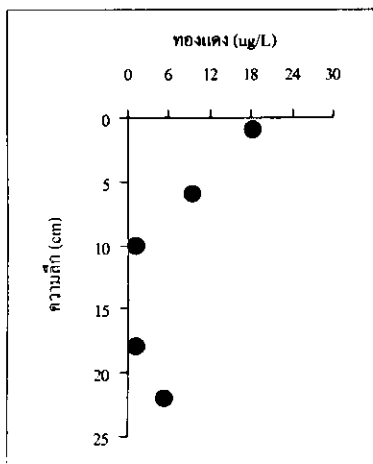


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

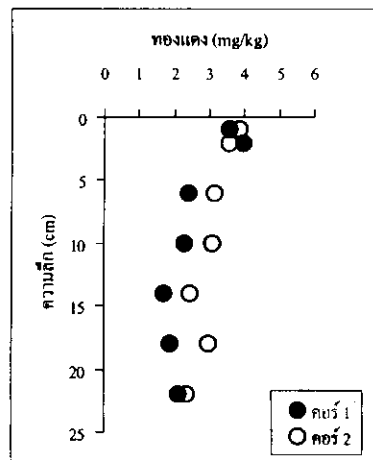


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 18 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของทองแดงในสถานี 1

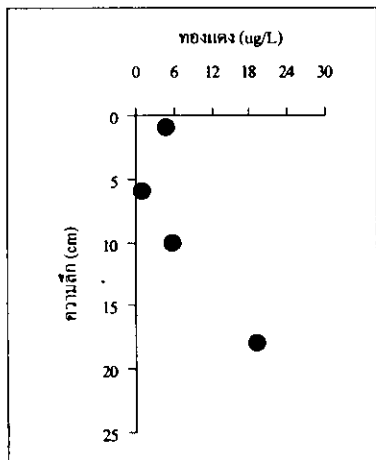


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

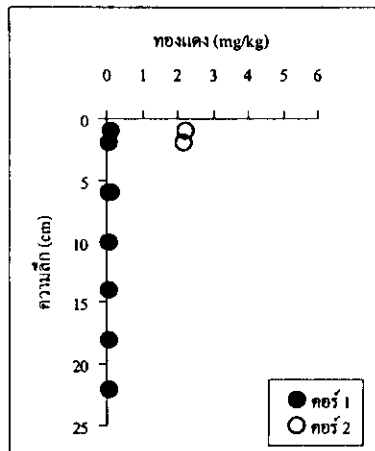


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 19 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของทองแดงในสถานี 2

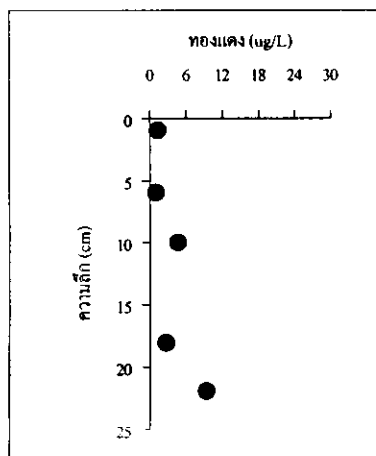


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

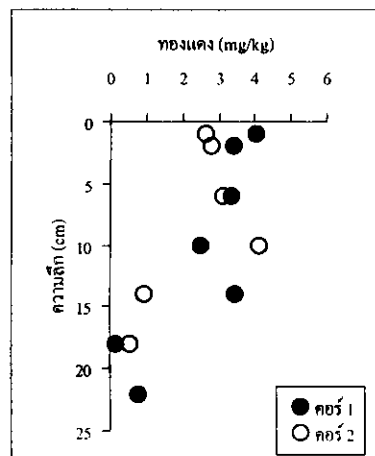


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 20 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของทองแดงในสถานี 3



(ก) น้ำระหว่างตะกอน



(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 21 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของทองแดงในสถานี 4

ในสถานี 2, 3 และ 4 ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนบางระดับความลึกมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด ($<1.071 \mu\text{g/l}$) ของวิธีวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม จากภาพประกอบ 3-18g ถึง 3-21g) จะเห็นแนวโน้มการกระจายตัวของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนที่ 10 เซนติเมตรแรกจะลดลงตามระดับความลึก จากนั้นจึงมีแนวโน้มสูงขึ้นในระดับที่ลึกลงไป สองสถานีแรกจากปากคลองเข้าไป (สถานี 1 และ 2) พบว่า ความเข้มข้นบริเวณตะกอนผิวหน้ามีค่าสูงมากกว่า $15 \mu\text{g/l}$ (ภาพประกอบ 3-18g และ 3-19g) ซึ่งตรงข้ามกับสองสถานีที่ลึกเข้าไปในเขตน้ำจืด (สถานี 3 และ 4) (ภาพประกอบ 3-20g และ 3-21g) ซึ่งค่าความเข้มข้นสูงที่ระดับลึกลงไปกว่า 10 เซนติเมตร จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงกว่าที่ตะกอนผิวหน้า

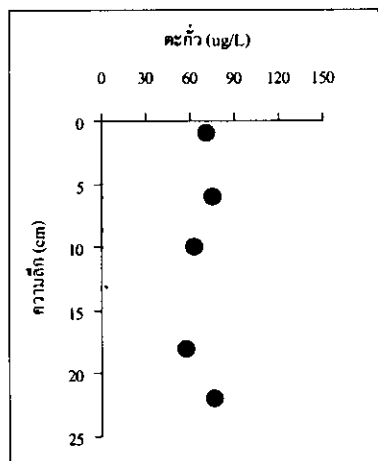
ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนที่ตรวจพบจากงานวิจัยครั้งนี้ มีค่าน้อยกว่าที่พบในแม่น้ำบางปะกง (Cheevaporn, Jacinto and San Diego-McGlone, 1995) แต่อยู่ในช่วงเดียวกับที่พบในอ่าวปาปิัว ประเทศปาปัวนิวกินี (Alongi *et al.*, 1996) และใกล้เคียงกับที่พบในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณอื่นของโลก (ตาราง 1-2 ในบทที่ 1)

ความเข้มข้นของทองแดงรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในตะกอน ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง $0.18 - 4.03 \text{ mg/kg}$ ยกเว้นสถานี 3 ซึ่งจากลักษณะทางกายภาพของคอร์ตะกอน (ดูตาราง 3-2) ตะกอนน่าจะมีสภาวะรีดิวซ์สูง ทองแดงรูปแบบนี้ในสถานี 3 มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงต่ำกว่าสถานีอื่นมาก (ภาพประกอบ 3-20ข) ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนตามระดับความลึกในสถานี 1 และ 2 มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตามความลึก (ภาพประกอบ 3-18ข และ 3-19ข) ส่วนสถานี 3 นั้นความเข้มข้นของทองแดงต่ำมาก สำหรับสถานี 4 ค่าความเข้มข้นที่ระดับ 15 เซนติเมตรแรกค่อนข้างคงที่ และลดลงในที่ลึกลงไป (ภาพประกอบ 3-21ข)

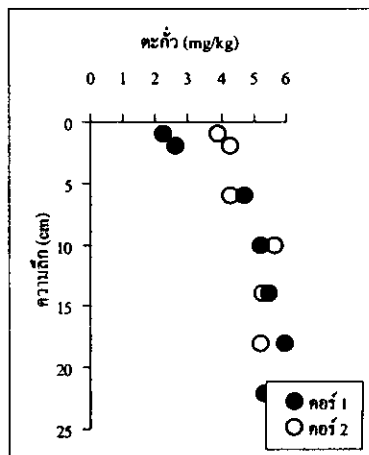
ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนจากงานวิจัยครั้งนี้ มีช่วงความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นทองแดงในตะกอนในพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่างบริเวณใกล้ปากคลองอู่ตะเภา ซึ่งสกัดด้วย 0.01 M DTPA (Manepong, 1996) แต่มีค่าต่ำกว่าทองแดงในตะกอนหน้าดินคลองอู่ตะเภาที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2539 ซึ่งสกัดโดยใช้ 1 M HCl (Manepong and Angsupanich, 1999) และน้อยกว่าที่พบในบริเวณอื่นของโลก (ตาราง 1-1 ในบทที่ 1)

3.4.5 ตะกั่ว

ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง $<0.73-75.90 \mu\text{g/l}$ ส่วนตะกั่วในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในตะกอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง $0.45-5.91 \text{ mg/kg}$ แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วตามความลึกในน้ำระหว่างตะกอนแสดงในภาพประกอบ 3-22g ถึง 3-25g และความเข้มข้นในตะกอนแสดงไว้ในภาพประกอบ 3-22ข ถึง 3-25ข

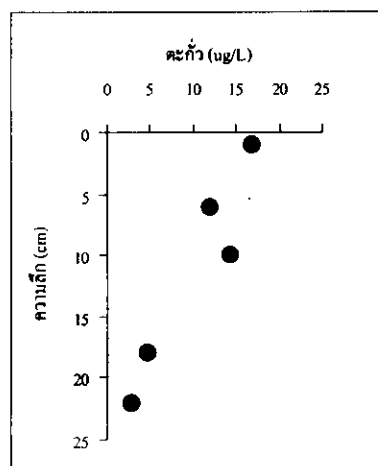


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

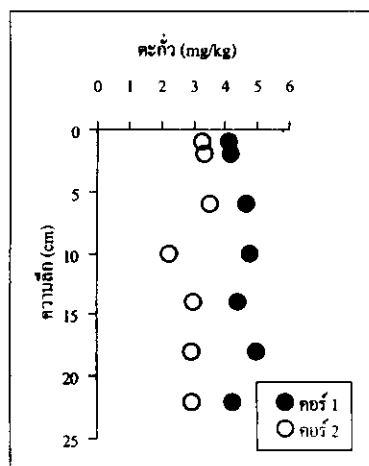


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 22 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของตะกั่วในสถานี 1

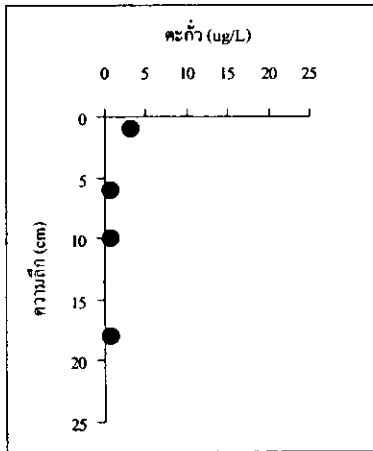


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

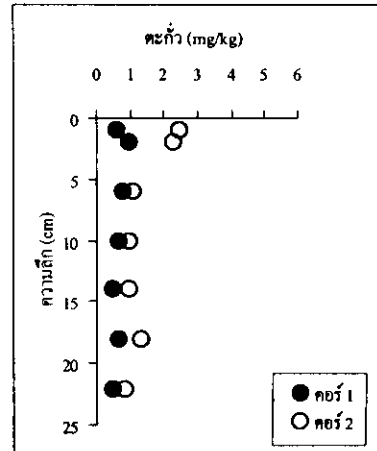


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 23 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของตะกั่วในสถานี 2

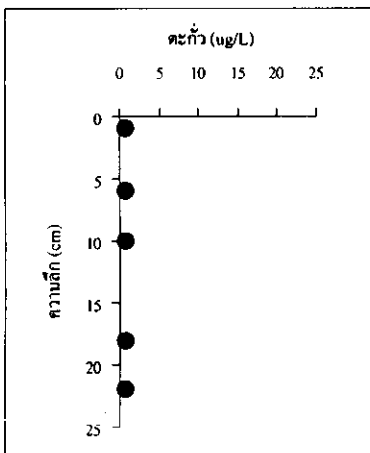


(ก) น้ำระหว่างตะกอน

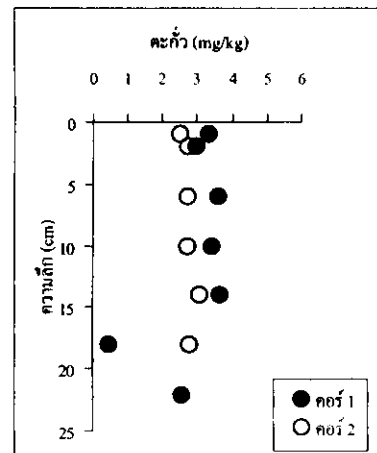


(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 24 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของตะกั่วในสถานี 3



(ก) น้ำระหว่างตะกอน



(ข) ตะกอน

ภาพประกอบ 3 - 25 แนวโน้มการกระจายตัวตามระดับความลึกของตะกั่วในสถานี 4

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก จากสถานีต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงที่สุดในสถานี 1 (ภาพประกอบ 3-22ก) และลดลงเมื่อลึกเข้ามาในลำน้ำ และโดยทั่วไปมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึก ลักษณะแนวโน้มการกระจายตัวของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกแบบเดียวกันนี้ พบในอ่าวแอซีโดเนีย (Ansedonia Bay) (Ciceri *et al.*, 1992)

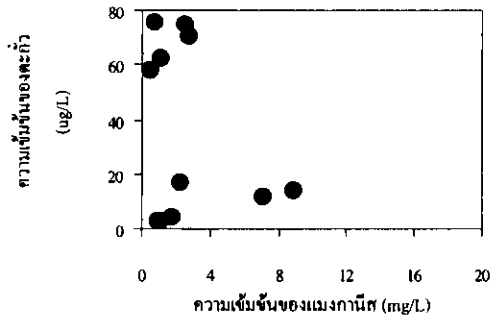
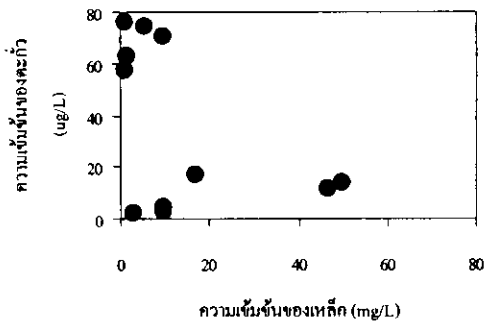
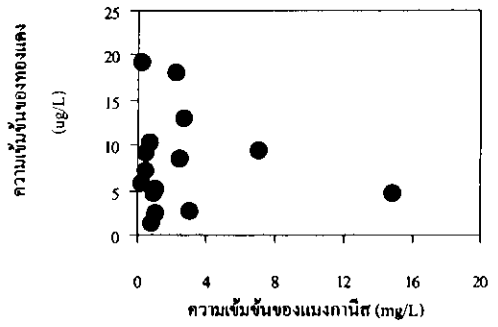
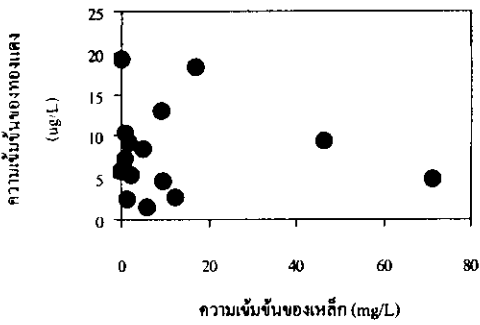
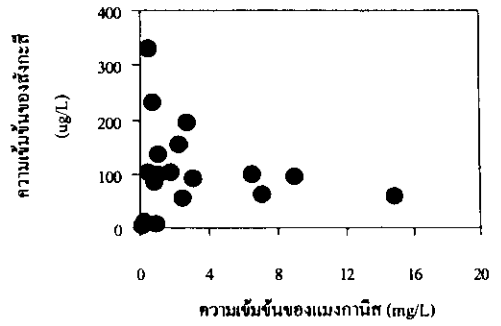
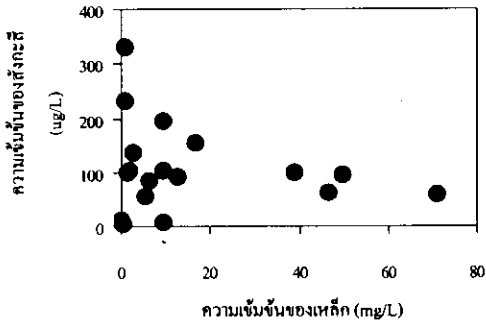
ในสถานี 3 และ 4 (ภาพประกอบ 3-24ก และ 3-25ก) ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับสองสถานีปากคลองซึ่งมีค่าความเค็มที่สูงกว่า และส่วนใหญ่มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด ($<0.73 \mu\text{g/l}$) ยกเว้นในน้ำระหว่างตะกอนที่ผิวหน้าของสถานี 3 (ระดับความลึก 1 เซนติเมตร) ที่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนได้ $3.15 \mu\text{g/l}$ ดังนั้นโดยทั่วไปตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนจากสถานี 3 และ 4 มีค่าต่ำมาก และไม่สามารถเห็นแนวโน้มลักษณะการกระจายตัวตามระดับความลึก (ภาพประกอบ 3-24ก และ 3-25ก)

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตะกั่วรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอนตามระดับความลึกในสถานี 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ขณะที่สถานี 2, 3 และ 4 มีค่าค่อนข้างคงที่ (ภาพประกอบ 3-22ข ถึง 3-25ข) ความเข้มข้นของตะกั่วจากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าโดยทั่วไปมีค่าต่ำกว่าในตะกอนจากบริเวณอื่นของโลก (ตาราง 1-1 ในบทที่ 1) และมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการศึกษาตะกอนหน้าดินคลองอู่ตะเภาในปี พ.ศ. 2539 โดย Maneepong and Angsupanich (1999)

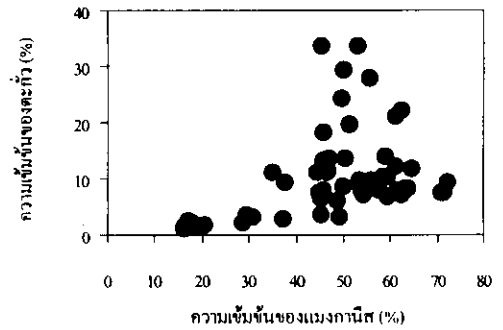
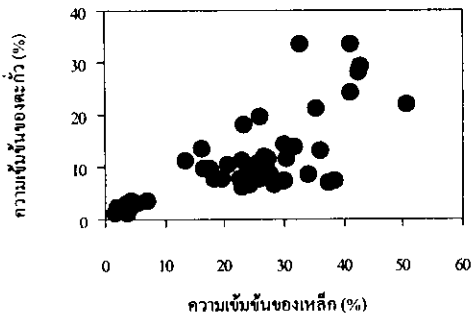
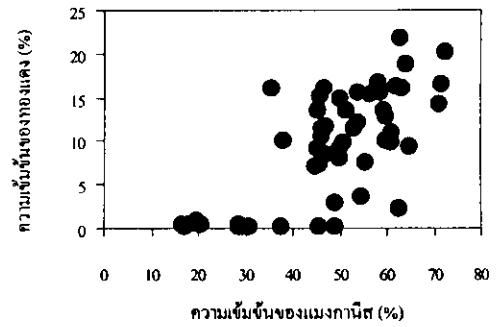
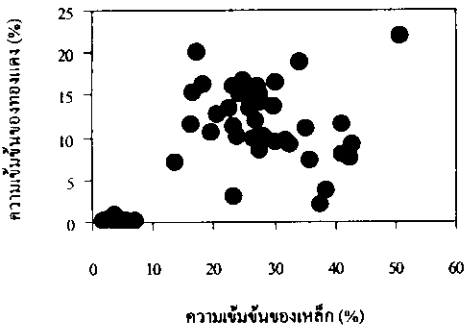
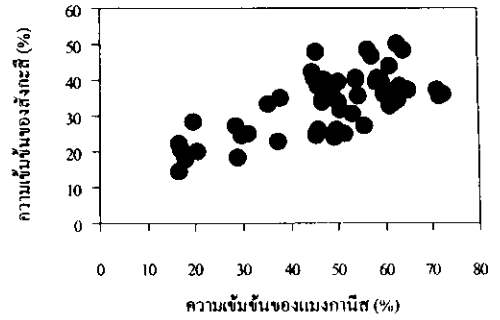
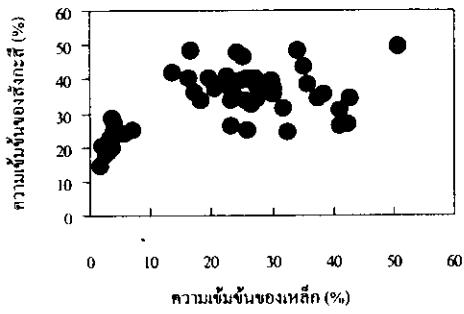
3.5 ความสัมพันธ์ของเหล็กและแมงกานีส กับสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว

เนื่องจากเหล็กและแมงกานีสออกไซด์เป็นตัวรับอิเลคตรอนที่สำคัญในหลายสภาวะ และส่งผลต่อรูปแบบของโลหะอื่นในตะกอน (Salomons and Förstner 1984) ดังนั้นจึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว กับเหล็ก และแมงกานีส ในน้ำระหว่างตะกอน และในตะกอน รูปแบบความสัมพันธ์ในน้ำระหว่างตะกอนแสดงไว้ในภาพประกอบ 3-26 และรูปแบบความสัมพันธ์ในตะกอนแสดงไว้ในภาพประกอบ 3-27

จากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางสถิติ (correlation coefficients, r) ดังแสดงในตาราง 3-6 พบว่าในน้ำระหว่างตะกอน สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางผกผันกันกับเหล็กและแมงกานีส (negative correlation) (ตาราง 3-6 และภาพประกอบ 3-26) โดยความสัมพันธ์ระหว่างโลหะทั้งสามกับเหล็กและแมงกานีส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 3 - 26 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและแมงกานีสกับสังกะสี ทองแดงและตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนจากทุกสถานีทุกระดับความลึก



ภาพประกอบ 3 - 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและแมงกานีส กับสังกะสี ทองแดงและตะกั่วในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ ในตะกอน จากทุกสถานีทุกระดับความลึก

ตาราง 3 - 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและแมงกานีส กับ สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในน้ำระหว่างตะกอน

	Fe	Mn
Zn	-0.1476	-0.1175
Cu	-0.0821	-0.1298
Pb	-0.4610	-0.3071

ในกรณีตะกอนพบว่า สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว มีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกับเหล็กและแมงกานีส (positive correlation) และมากกว่าในกรณีของน้ำระหว่างตะกอนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (ตาราง 3-7 และภาพประกอบ 3-27) การที่ในน้ำระหว่างตะกอนพบความสัมพันธ์ในทิศทางผกผัน ต่างจากในตะกอนซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน อาจเนื่องจากปริมาณของโลหะในรูปแบบที่ละลายในน้ำระหว่างตะกอนนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสภาวะฟิสิกเคมีกัล ณ บริเวณนั้น ๆ เช่น ศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ ออกซิเจนละลาย โดยเฉพาะเหล็กและแมงกานีส (ซึ่งเป็นตัวที่ควบคุมโลหะอื่น) ซึ่งสภาวะดังกล่าวนอกจากจะควบคุมรูปแบบของเหล็กและแมงกานีสแล้วยังควบคุมรูปแบบของโลหะต่าง ๆ และการดูดซับหรือคายออกจากตะกอนของโลหะนั้น ๆ ได้โดยตรง (Salomons and Förstner, 1984; Tessier, Carignan and Belzile, 1994)

จากตาราง 3-7 ตะกั่วมีความสัมพันธ์กับเหล็กมากที่สุดแต่มีความสัมพันธ์กับแมงกานีสน้อยที่สุด สังกะสีและทองแดงจะมีความสัมพันธ์กับแมงกานีสมากกว่าเหล็กเล็กน้อย โดยสรุปความสัมพันธ์กับเหล็กตามลำดับความสำคัญได้ดังนี้ ตะกั่ว > ทองแดง > สังกะสี ส่วนลำดับความสัมพันธ์กับแมงกานีสพบว่า ทองแดง > สังกะสี > ตะกั่ว

ตาราง 3 - 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของความสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและแมงกานีส กับ สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในตะกอน

	Fe	Mn
Zn	0.5687	0.6773
Cu	0.6042	0.7223
Pb	0.7436	0.3928

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตาราง 3-7 พบว่า สังกะสีในตะกอนรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ได้ น่าจะเกิดจากการตกตะกอนร่วมกับทั้งเหล็กและแมงกานีสออกไซด์รอกไซด์พอ ๆ กัน โดยมีแนวโน้มที่จะตกตะกอนร่วมกับแมงกานีสมากกว่า เช่นเดียวกันกับทองแดง สำหรับตะกั่ว น่าจะเกิดจากการตกตะกอนร่วมเป็นสารประกอบตะกั่วกับเหล็กออกไซด์-โครออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ (Salomons and Förstner, 1984)

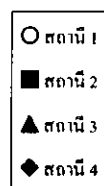
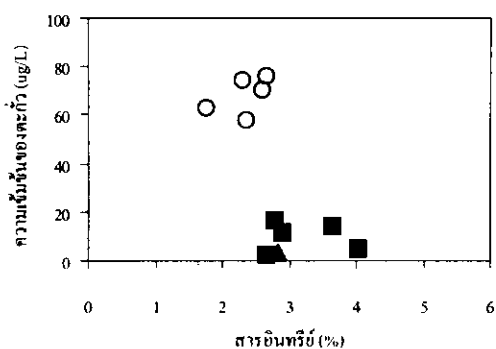
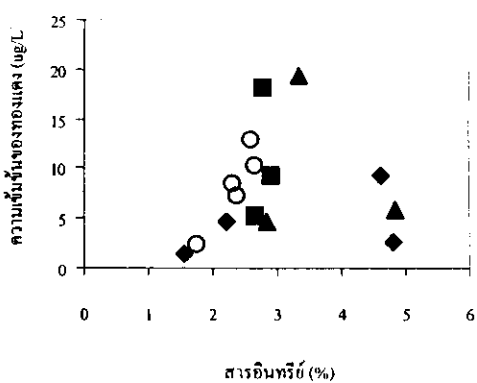
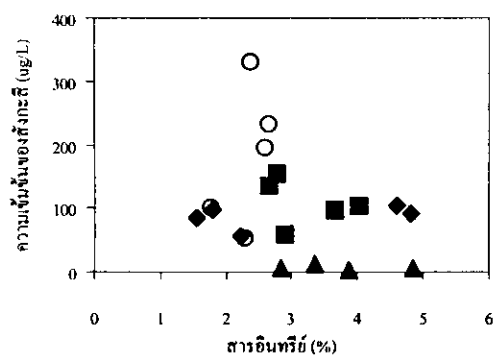
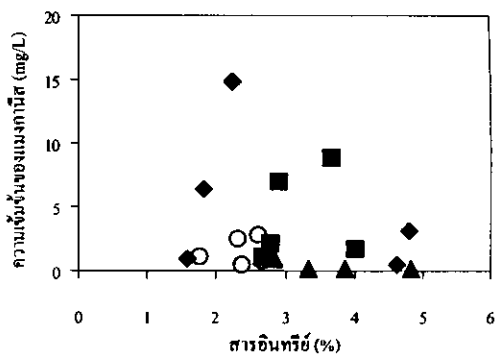
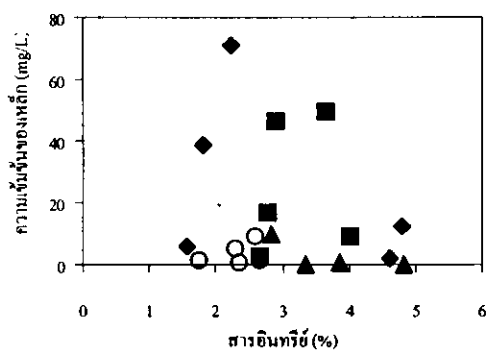
3.6 ความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์กับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ (readily oxidisable organic matter) ที่มีอยู่ในตะกอนตามระดับความลึกตะกอน แสดงในตาราง ๓-1 (ภาคผนวก ๓) และพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 1.18 – 7.30 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารอินทรีย์ในสถานี 1 ถึง 4 มีค่า 2.30, 3.12, 3.69 และ 2.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งพบปริมาณสารอินทรีย์สูงสุดในสถานี 3

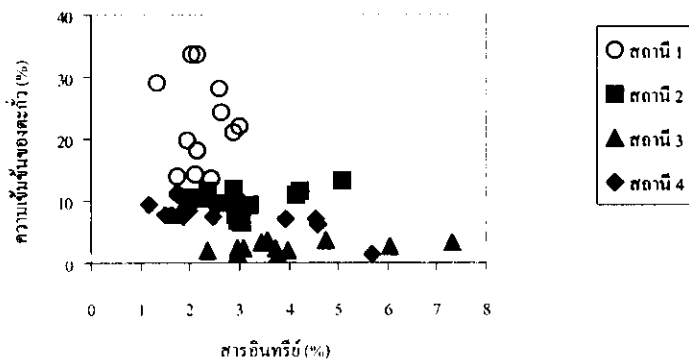
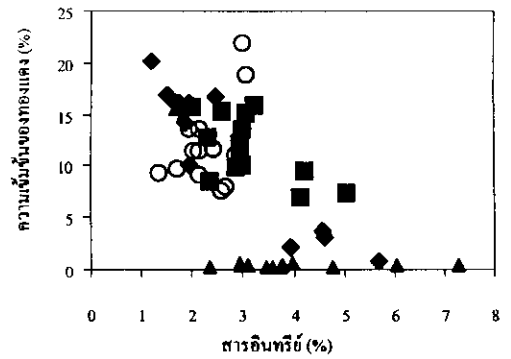
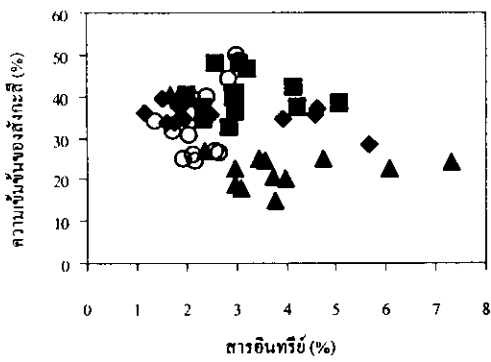
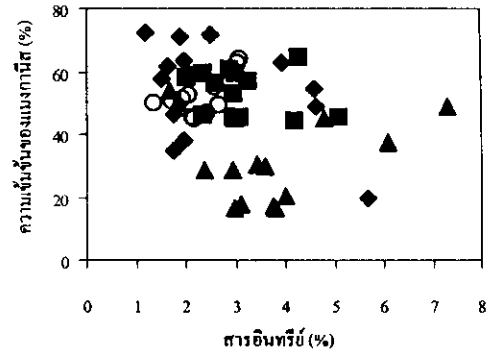
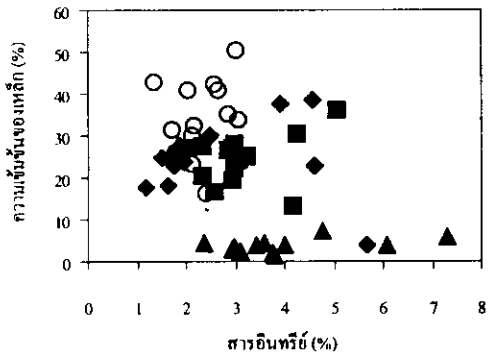
รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว กับเหล็ก และแมงกานีส ในน้ำระหว่างตะกอน กับสารอินทรีย์ประเภทออกซิไดซ์ได้ง่ายในตะกอน แสดงไว้ในภาพประกอบ 3-28 ส่วนรูปแบบความสัมพันธ์ของโลหะทั้ง 5 ในตะกอน กับสารอินทรีย์ประเภทออกซิไดซ์ได้ง่ายในตะกอน แสดงไว้ในภาพประกอบ 3-29

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ในตะกอน กับความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว ในน้ำระหว่างตะกอน (ตาราง 3-8) และความเข้มข้นของโลหะทั้ง 5 ในตะกอน (ตาราง 3-9) พบว่าในภาพรวม (ภาพประกอบ 3-28 และ 3-29) ไม่สามารถเห็นความสัมพันธ์ได้ชัดเจน และค่าสหสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางที่ผกผันกับปริมาณสารอินทรีย์

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์แยกตามสถานี พบว่าสถานีปากคลอง (สถานี 1) เป็นสถานีเดียวที่โลหะทุกชนิดทั้งที่อยู่ในน้ำระหว่างตะกอนและในตะกอนนั้น มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับสารอินทรีย์ ยกเว้นแต่เพียงตะกั่วในตะกอนเท่านั้นที่เป็นไปในทางผกผัน นอกจากนี้ยังพบว่าในสถานีดังกล่าว ทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในตะกอนสูงกว่าโลหะชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงถึงความชอบของแดงที่จะจับกับสารอินทรีย์ในตะกอน (Coquery and Welbourn, 1995) สำหรับสถานี 2, 3 และ 4 นั้น ส่วนใหญ่พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างโลหะและสารอินทรีย์เป็นไปในทิศทางผกผัน โดยเฉพาะในสถานี 3 พบเพียงแมงกานีสในตะกอนเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับสารอินทรีย์ แต่ก็มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ($r = 0.1262$, $P\text{-value} < 0.05$)



ภาพประกอบ 3 - 28 ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์กับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และ ตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอน จากทุกสถานีทุกระดับความลึก



ภาพประกอบ 3 - 29 ความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์กับเฮลิค แมนนानीส สังกะสี ทองแดงและตระกั่ว ในรูปที่สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ ในตะกอนจากทุกสถานีทุกระดับความลึก

ตาราง 3 - 8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ในตะกอนกับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในน้ำระหว่างตะกอน

	สารอินทรีย์				
	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	รวมทุกสถานี
Fe	0.3288	0.1424	-0.6940	-0.4677	-0.1905
Mn	0.1770	0.2109	-0.7014	-0.3813	-0.2030
Zn	0.4874	-0.3416	-0.1437	0.3974	-0.2900
Cu	0.9350	0.2883	-0.2015	0.5097	0.1006
Pb	0.5116	-0.1348	ND	ND	-0.6317

หมายเหตุ : ND คือ Not Detectable เนื่องจากความเข้มข้นของโลหะต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด

ตาราง 3 - 9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์กับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว ในตะกอน

	สารอินทรีย์				
	สถานี 1	สถานี 2	สถานี 3	สถานี 4	รวมทุกสถานี
Fe	0.2090	0.3100	-0.4585	-0.0733	-0.3735
Mn	0.6299	-0.2273	0.1262	-0.4631	-0.3187
Zn	0.5573	0.0065	-0.4220	-0.4595	-0.2530
Cu	0.4916	-0.5796	-0.5323	-0.9393	-0.6439
Pb	-0.2690	0.3614	-0.3821	-0.7931	-0.4044

3.7 การถ่ายเทโดยการแพร่ของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดงและตะกั่ว

ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว แสดงในตาราง 3-10 โดยเหล็กเป็นโลหะที่มีค่าการถ่ายเทโดยการแพร่จากตะกอนสู่น้ำเหนือผิวตะกอน (หน่วยเป็นไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อปี) สูงที่สุด ตามด้วยแมงกานีส สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง ตามลำดับ ค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ของเหล็กอยู่ในช่วงกว้างและสูงกว่าโลหะชนิดอื่น และเป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่ทุกสถานีมีทิศทางการถ่ายเทโดยการแพร่ออกจากตะกอนสู่น้ำเหนือผิวตะกอน คือ มีค่าเป็นบวก (positive fluxes) ส่วนสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว มีค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ต่ำและบางสถานีมีค่าเป็นลบ (negative fluxes) การถ่ายเทโดยการแพร่ของ

โลหะที่มีค่าเป็นลบ หมายถึง ทิศทางการแพร่ของโลหะเหล่านั้นเป็นไปในทิศทางตรงข้าม กล่าวคือ เป็นการแพร่จากมวลน้ำผิวหน้าลงมาสู่ตะกอนท้องน้ำ (sediment uptake) (Burner, 1980; Alongi *et al.*, 1996) ที่สถานีปากคลอง โลหะส่วนใหญ่ (ยกเว้นทองแดงและตะกั่ว) มีค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ออกจากตะกอนสู่มวลน้ำเหนือผิวตะกอนสูงกว่าในสถานีที่ลึกเข้าไปในลำน้ำ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการเป็นแหล่งที่มาของโลหะที่ปนเปื้อนในมวลน้ำเหนือผิวตะกอน

ตาราง 3 - 10 ค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ของโลหะหนักจากแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานี	ค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ ($\mu\text{g cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$)				
	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี	ทองแดง	ตะกั่ว
1	377.69	19.48	2.28	-0.64	-2.30
2	347.20	-1.69	1.56	0.65	0.63
3	348.51	21.82	-1.47	0.14	0.13
4	72.86	-17.35	1.15	-0.04	0.00

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาคั้งนี้กับการศึกษาในพื้นที่อื่น (ตาราง 1-3 ในบทที่ 1) พบว่า แม้ว่าค่าการถ่ายเทโดยการแพร่ของเหล็กที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ จะมีค่าสูง แต่ก็ยังต่ำกว่าค่าสูงสุดที่พบในบริเวณอ่าวปาปัว ประเทศปาปัวนิวกินี (Alongi *et al.*, 1996) ส่วนแมงกานีสในคลองอุตะเกาสวนที่ลึกเข้าไปในลำน้ำ (น้ำจืด) จะมีค่าการการถ่ายเทโดยการแพร่ในทิศทางลบ ต่างไปจากบริเวณอื่นของโลกที่เป็นทะเล ซึ่งมีทิศทางการถ่ายเทโดยการแพร่เป็นบวก

การถ่ายเทโดยการแพร่ของสังกะสี ทองแดง และตะกั่ว บริเวณเอสทูรีอุตะเกาสวนส่วนใหญ่มีค่าค่อนข้างต่ำ และอยู่ในช่วงแคบ สังกะสีมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในแม่น้ำบางปะกง (Cheevapom *et al.*, 1995) ซึ่งเป็นเอสทูรีในเขตร้อน และบริเวณอื่น ๆ ซึ่งเป็นเอสทูรีในเขตอบอุ่น (ตาราง 1-3 ในบทที่ 1) ส่วนทองแดงพบค่าการถ่ายเทโดยการแพร่เป็นลบในบางสถานี ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับที่พบในบริเวณเอสทูรีของแม่น้ำเวสเซอร์ (Weser river) ประเทศเยอรมัน (Skowronek *et al.*, 1994) สำหรับตะกั่ว มีค่าการถ่ายเทโดยการแพร่อยู่ในช่วงเดียวกับบริเวณอื่น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงต่ำ และมีค่าเป็นลบในบางสถานี