

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา

5.1 การกระจายของปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้า

5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธี Sequential extraction

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธี Sequential extraction พบแนวโน้มของรูปแบบแคดเมียม ทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในดินตะกอนผิวหน้าทุกสถานีดังนี้

Cd	$F1 > F2 > F3 > F4 > F5$
Cu	$F5 > F3 > F4 > F2 > F1$
Pb	$F5 > F4 > F2 > F3 > F1$
Zn	$F4, F3, F2 > F5 > F1$

- โดย
- F1 = รูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ง่าย (Exchangeable)
 - F2 = รูปแบบที่จับอยู่กับคาร์บอเนต (Bound to carbonate)
 - F3 = รูปแบบที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ (Bound to Mn oxide)
 - F4 = รูปแบบที่จับอยู่กับเหล็กออกไซด์ (Bound to Fe oxide)
 - F5 = รูปแบบที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (Bound to organic matter)

ก. แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมแต่ละรูปแบบในทุกสถานี พบว่า อยู่ในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable) มากที่สุด (มากกว่า 30%) ซึ่งแคดเมียมในรูปแบบดังกล่าว สามารถถูกชะ (elute) ออกจากดินตะกอนได้ง่าย จึงเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้มาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Yu (1999) ซึ่งศึกษารูปแบบของแคดเมียมดินตะกอนบริเวณชายฝั่ง New Jersey พบว่า ในทุกสถานีที่ศึกษามีแคดเมียมอยู่ในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูงถึง 50% เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Ramos et al. (1997) ที่ศึกษารูปแบบของแคดเมียมในดินตะกอนบริเวณแม่น้ำ Ebro ประเทศสเปน พบว่า แคดเมียมอยู่ในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้มากที่สุดเช่นกัน การที่มีแคดเมียมในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ปริมาณมาก สันนิษฐานได้

ว่า แคลเดียมในบริเวณดังกล่าวอาจมาจากการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic) ดังเช่นที่ Forstner et al. (1982) รายงานว่าโลหะหนักที่มาจากจากการกระทำของมนุษย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะหนักนั้นๆที่อยู่ในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้

ดินตะกอนจากสถานี T11, M3 และ T3 (สถานีวัดประชาชนารณ, วัดโสภณารามและวัดศรีเมือง) มีปริมาณผลรวมของแคลเดียมทั้ง 5 รูปแบบสูงกว่าสถานีอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 2 คลอง พบว่า คลองมหาชัยมีปริมาณแคลเดียมสูงกว่าคลองสุนัขหอน เนื่องจากบริเวณคลองมหาชัย เป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก (ภาคผนวก ๗) คลองมหาชัยตอนในไหลผ่านพื้นที่ในเขตบางขุนเทียน ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมของกรุงเทพฯ จึงทำให้คลองมหาชัยได้รับน้ำเสียมาจากแหล่งอุตสาหกรรมและชุมชนจากเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ปริมาณแคลเดียมที่พบในสถานีเก็บตัวอย่างที่อยู่ตอนในของคลอง เช่น สถานี M3 จึงมีโอกาที่จะมีค่าสูงกว่า สถานีที่อยู่ต้นคลอง เช่น สถานี M1 และสถานี M2

ข. ทองแดง

ปริมาณทองแดงในทุกสถานี พบว่า อยู่ในรูปแบบที่จับกับสารอินทรีย์มากที่สุด โดยปริมาณผลรวมของทองแดงทั้ง 5 รูปแบบ มีค่าสูงที่สุดในสถานี T6, M3 และ T5 (วัดนางสาว, วัดโสภณาราม และวัดอ่างทอง) ปริมาณทองแดงที่มีค่าสูงในสถานี T5 สันนิษฐานได้ว่าทองแดงน่าจะมีแหล่งกำเนิดมาจากคลองภาษีเจริญ เนื่องจาก คลองภาษีเจริญมีโรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรมและแหล่งชุมชนอยู่หนาแน่น นอกจากการทำอุตสาหกรรม กิจกรรมทางการเกษตร เช่น การใช้ปุ๋ย ยาฆ่าเชื้อราและแบคทีเรีย ก็เป็นแหล่งกำเนิดของทองแดงได้เช่นกัน

ปริมาณทองแดงในสถานี T6 มีค่าสูง เนื่องจาก การกระทำของกระแสน้ำ เช่น การพัดพา และการขึ้น-ลงของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการพัดพาเอาทองแดงจากในคลองภาษีเจริญไปสะสมที่สถานี T6 ส่วนในสถานี M3 ที่มีปริมาณทองแดงสูงเช่นกัน มีสาเหตุมาจาก สถานีดังกล่าวอยู่ในคลองมหาชัย ซึ่งได้รับน้ำเสียมาจากแหล่งอุตสาหกรรมและชุมชนจากใน จังหวัดสมุทรสาคร รวมทั้งในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล

ค. ตะกั่ว

ตะกั่วส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่จับกับสารอินทรีย์ และปริมาณตะกั่วรวมทั้ง 5 รูปแบบมีค่าสูงในบริเวณสถานี M2, T10 และ T6 (บริเวณท่าเรือเทศบาล, วัดหอมเกร็ดและวัดนางสาว ตามลำดับ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมหนาแน่น โดยเฉพาะบริเวณท่าเรือเทศบาล มีคราบน้ำมันที่ผิวหน้าน้ำและมีขยะจำนวนมาก จึงสันนิษฐาน

ว่าปริมาณตะกั่วที่พบอาจมาจากคราบน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ

ง. สังกะสี

สังกะสีอยู่ในรูปที่จับอยู่กับเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์และคาร์บอนเนต ในปริมาณใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ รูปแบบที่จับอยู่กับสารอินทรีย์และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้

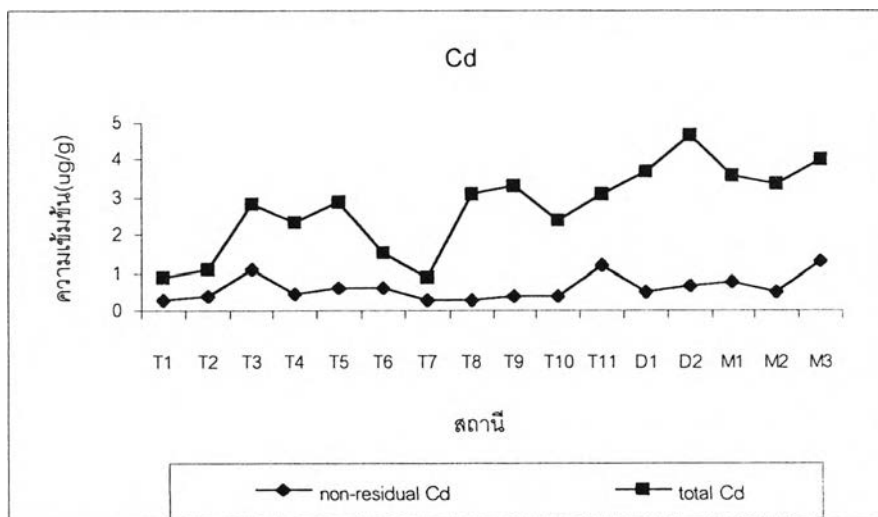
ปริมาณสังกะสีรวมทั้ง 5 รูปแบบมีค่าสูงในสถานี T6, M3 และ T3 (วัดนางสาว, วัดโสมนาราม, วัดศรีเมือง) สันนิษฐานได้ว่า การที่สถานี T6 มีปริมาณสังกะสีรวมทั้ง 5 รูปแบบสูง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการพัดพาและการขึ้น-ลงของกระแสน้ำในคลองภาษีเจริญ พาเอาสังกะสีที่อยู่ในน้ำและดินตะกอนจากในคลองภาษีเจริญมาตกตะกอนและสะสมในดินตะกอนที่สถานี T6 ในสถานี M3 มีปริมาณสังกะสีสูง เนื่องจากอยู่ในคลองมหาชัย ซึ่งรองรับน้ำเสียมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนจำนวนมาก เมื่อได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการพัดพาเอาสังกะสีจากคลองมหาชัยไปสะสมในบริเวณสถานี T3 ได้ โดยปริมาณสังกะสีที่พบอาจมาจากการใช้สังกะสีเป็นส่วนประกอบในสีในโรงงานฟอกย้อมและโรงงานกระดาษที่มีอยู่หลายแห่งในเขต อ. เมือง จ.สมุทรสาคร หรือใช้ในการเกษตรกรรม เช่น เป็นส่วนผสมของปุ๋ยและยาฆ่าแมลงบางชนิด

5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักรวมด้วยวิธี Total digestion

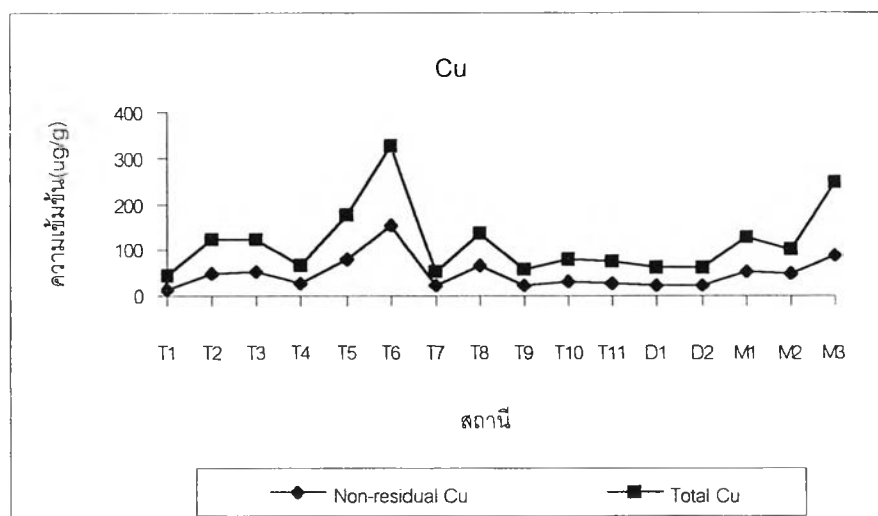
ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธี Total digestion พบว่าปริมาณแคดเมียมในดินตะกอนจากบริเวณคลองสุนัขหอนมีค่าสูงกว่าตามลำน้ำและคลองมหาชัย ส่วนทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในดินตะกอนจากบริเวณคลองมหาชัยมีค่าสูงกว่าตามลำน้ำและคลองสุนัขหอน

เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนผิวหน้าที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Total digestion กับปริมาณผลรวมทั้ง 5 รูปแบบของโลหะหนักที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Sequential extraction (Total non-residual) พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Total digestion มีค่าสูงกว่าปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในรูป Total non-residual (ภาคผนวก ฅม) และมีแนวโน้มที่สอดคล้องไปในทางเดียวกัน โดยเฉพาะทองแดงและตะกั่ว ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ก-ข) และรูปที่ 5.2 (ก-ข)

(ก)

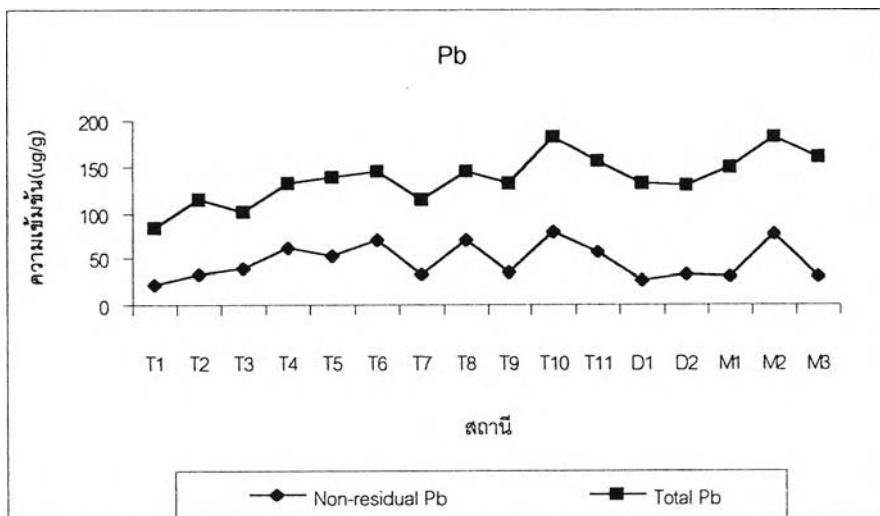


(ข)

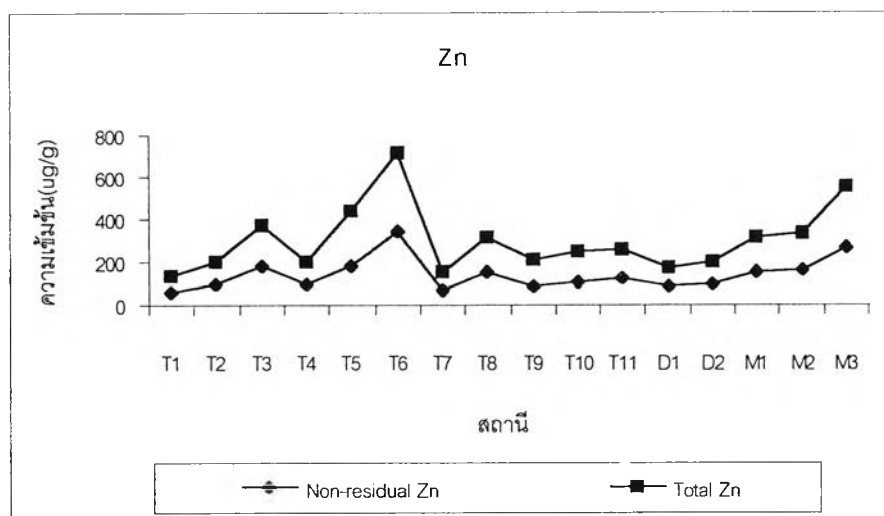


รูปที่ 5.1(ก-ข) ปริมาณแคดเมียมและทองแดงในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าที่อยู่ในรูป Total non-residual และ Total metal

(ก)



(ข)



รูปที่ 5.2(ก-ข) ปริมาณตะกั่วและสังกะสีในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าที่อยู่ในรูป Total non-residual และ Total metal

จากรูปที่ 5.1 (ก-ข) และรูปที่ 5.2 (ก-ข) พบว่า ทองแดงและสังกะสี มีแนวโน้มที่คล้ายกัน กล่าวคือ มีปริมาณทองแดงและสังกะสีสูงที่สถานี T6 (วัดนางสาว) รองลงมาคือ สถานี M3 (วัดโสภณาราม) เนื่องจากสถานี T6 (วัดนางสาว) อยู่ในเขต อ. กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (2538) พบว่า ในเขต อ. กระทุ่มแบน เป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอและฟอกย้อมมากที่สุดถึง 26 แห่ง และโรงงานประเภทผลิตภัณฑ์โลหะและอโลหะ 9 แห่ง ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสองประเภทดังกล่าวต้องใช้ทองแดงและสังกะสีเป็นส่วนผสมในสีย้อมผ้าและในการชุบเคลือบโลหะ ดังนั้น ปริมาณทองแดงและสังกะสีที่มีค่าสูงในสถานี T6 จึงอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว นอกจากนี้สถานี T6 ยังอยู่ไม่ไกลจากคลองภาษีเจริญ จึงอาจได้รับทองแดงและสังกะสีมาจากในคลองภาษีเจริญโดยการขุ่นลงของกระแสน้ำ พาเอาทองแดงและสังกะสีไปสะสมในสถานี T6 เช่นเดียวกับการที่สถานี M3 (วัดโสภณาราม) มีปริมาณทองแดงและสังกะสีที่มากรองลงมา เนื่องจากได้รับทองแดงและสังกะสีมาจากในคลองมหาชัย ซึ่งเป็นคลองที่มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก และรองรับน้ำทั้งหมดมาจากทั้งใน จ. สมุทรสาคร ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล

ส่วนแคดเมียมและตะกั่วมีแนวโน้มของรูปแบบ Total non-residual และ Total metal ค่อนข้างไม่สอดคล้องกัน อาจเนื่องจากการที่แคดเมียมและตะกั่วสามารถมาจากแหล่งกำเนิดในอากาศได้อีกด้วย เช่น การใช้น้ำมันซึ่งมีส่วนผสมของแคดเมียมและตะกั่ว ทำให้โลหะทั้งสองสามารถดูดซับอยู่กับฝุ่นละอองในอากาศและถูกลมพัดพา หรือถูกนำสู่แหล่งน้ำพร้อมน้ำฝน นอกเหนือไปจากโลหะหนักที่อยู่ในน้ำและดินตะกอน จึงทำให้ไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับการศึกษาของ สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่า ปริมาณแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ในบริเวณคลองมหาชัย ที่พบในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าอยู่มาก เนื่องจาก ในการศึกษาของ สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ได้เก็บตัวอย่างดินตะกอนเข้าไปคลองมหาชัยเป็นระยะทางที่มากกว่าในการศึกษานี้ คือ ตั้งแต่ปากคลองมหาชัย จนถึงวัดปากน้ำ ภาษีเจริญ ที่เชื่อมต่อกับคลองบางกอกใหญ่ รวมทั้งหมด 10 สถานี ในขณะที่การศึกษานี้เก็บเพียง 3 สถานีบริเวณต้นคลองเท่านั้น ส่วนสถานีตามลำน้ำนั้นศึกษาในพื้นที่และสถานีใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า ปริมาณแคดเมียม ทองแดง และสังกะสี ที่ศึกษาในครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.2, 81.0 และ 159.0 ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ สูงกว่าการศึกษาของ สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542)

ตารางที่ 5.1 ปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่างที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Total digestion จากการศึกษาของ สนิท อักษรแก้วและคณะ (2542) เปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้

สถานี	ผู้ศึกษา	ค่า	ปริมาณโลหะหนัก(ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง)			
			Cd	Cu	Pb	Zn
คลอง มหาชัย	สนิท อักษร แก้ว และ คณะ, 2542	ค่าเฉลี่ย	4.6	105.1	50.2	488.6
		พิสัย	3.31-6.1	12.5-566	14.6-72.7	50.0-1409
	การศึกษา ครั้งนี้	ค่าเฉลี่ย	2.8	95.4	117.9	205.8
		พิสัย	2.7-2.9	54.6-157.0	107.5-129.0	165.8-284.6
ตามลำน้ำ	สนิท อักษร แก้ว และ คณะ, 2542	ค่าเฉลี่ย	2.7	42.8	50.9	123.6
		พิสัย	1.2-6.7	18.3-59.0	42.0 - 61.5	30.4-198.0
	การศึกษา ครั้งนี้	ค่าเฉลี่ย	1.7	65.2	81.0	159.0
		พิสัย	0.6-2.9	29.9-171.9	59.9-103.5	77-369.5

ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.8, 50.9, และ 123.6 ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง ตามลำดับ ส่วนแคดเมียมจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7 ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง ต่ำกว่าการศึกษาของสนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ที่มีค่าเท่ากับ 2.7 ไมโครกรัม/กรัม นน.แห้ง อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของวิธีการย่อยตัวอย่างอาจทำให้ประสิทธิภาพของการย่อยแตกต่างกัน ในการเปรียบเทียบข้อมูลจึงต้องคำนึงถึงวิธีการย่อยตัวอย่างด้วย เช่น ในการศึกษาของสนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542) ใช้กรด HNO_3 ในการย่อย ซึ่งต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้ HNO_3 , HClO_4 และ HF

จากการเปรียบเทียบการศึกษาในดินตะกอนบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในครั้งนี้กับบริเวณปากแม่น้ำอื่นๆ ดังตารางที่ 5.2 พบว่า ปริมาณโลหะที่พบในการศึกษานี้ มีค่าสูงเกินกว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่พบในเปลือกโลกและมีค่าต่ำกว่าบริเวณปากแม่น้ำอื่นๆ อยู่มาก จึงอาจกล่าวได้ว่า บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนได้รับมลพิษจากโลหะหนักในระดับต่ำเมื่อเทียบกับปากแม่น้ำอื่นๆ ดังกล่าว

ตารางที่ 5.2 ค่าความเข้มข้นสูงสุดของปริมาณโลหะหนักรวม (ppm) ในดินตะกอนจากบริเวณ
เอสทูร์ต่างๆ

	Cd	Cu	Pb	Zn
Average shale	0.3	45	20	95
Rio Tinto Estuary (Spain) ^a	4.1	1,400	1,600	3,100
Restronguet Estuary (U.K.) ^b	12	4,500	1,620	3,000
Acushnet Estuary (New Bedford Hr.) ^c	76	7,500	560	2,300
Derwent Estuary (Tasmania/Australia) ^d	862	-	1,000	10,000
Tha – Chin Estuary (Thailand, This study)	4.0	157	129	369

^a Stenner and Nickless, 1975. ^b Thomton et al., 1975. ^c Summerhayes et al., 1977. ^d Bloom and Ayling, 1977.

5.2 การกระจายของโลหะหนักในตัวอย่างดินตะกอนตามความลึก

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีที่มี
อยู่ในแต่ละรูปแบบของดินตะกอนตามความลึก พบแนวโน้มดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่พบในรูปแบบต่างๆของดินตะกอนตามความลึก

โลหะหนัก	C1	C2	C3
Cd	F5 > F1 > F4 > F2 > F3	F4 > F2 > F5 > F1 > F3	F4 > F1 > F2 > F3 > F5
Cu	F3 > F5 > F2 > F1 > F4	F5 > F3 > F4 > F2 > F1	F5 > F3 > F4 > F2 > F1
Pb	F3 > F2 > F4 > F5 > F1	F4 > F2 > F3 > F5 > F1	F4 > F5 > F2 > F1, F3
Zn	F4 > F3 > F5 > F2 > F1	F4, F5 > F3 > F2 > F1	F4 > F5 > F2 > F1, F3

- หมายเหตุ F1 = รูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ง่าย (Exchangeable)
 F2 = รูปแบบที่จับอยู่กับคาร์บอเนต (Bound to carbonate)
 F3 = รูปแบบที่จับอยู่กับแมงกานีสออกไซด์ (Bound to Mn oxide)
 F4 = รูปแบบที่จับอยู่กับเหล็กออกไซด์ (Bound to Fe oxide)
 F5 = รูปแบบที่จับอยู่กับสารอินทรีย์ (Bound to organic matter)

จากตารางที่ 5.3 พบว่า โลหะหนักส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบที่จับเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์มากที่สุด ดังเช่น ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ในสถานี C1 และ แคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ในสถานี C2 และ C3 ในดินตะกอนตามความลึกชั้นล่าง จะมีปริมาณออกซิเจนที่ลดน้อยลงกว่าตะกอนชั้นบน จึงเกิดภาวะรีดักชันในดินตะกอนชั้นล่าง ทำให้เหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ ถูกรีดิวซ์จาก Mn^{3+} , Mn^{4+} และ Fe^{3+} ที่ไม่ละลายน้ำ ไปเป็น Mn^{2+} และ Fe^{2+} ที่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้โลหะที่จับอยู่กับเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ (Morgan and Stumm, 1964) ดังนั้น จึงสันนิษฐานได้ว่า ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ที่อยู่ในดินตะกอนสถานี C1 มีโอกาสถูกเคลื่อนย้ายสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก เช่นเดียวกับโลหะแคดเมียม ตะกั่วและสังกะสี ในดินตะกอนสถานี C2 และ C3 นอกจากนี้ในสภาวะรีดักชันอาจเกิดการแพร่ (diffuse) ของเหล็กและแมงกานีสในดินตะกอนไปกับน้ำที่แทรกตัวอยู่ในระหว่างเม็ดดิน ลงสู่ดินตะกอนชั้นที่ลึกลงไปโดยพาโลหะที่จับอยู่กับเหล็กและแมงกานีสนั้นๆตามไปด้วย ทำให้พบแนวโน้มของการสะสมของโลหะหนักเพิ่มขึ้นในบางความลึกของชั้นดิน

สถานี C1

ปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่ว แต่ละรูปแบบมีค่าแปรปรวนตามความลึกของชั้นดิน และไม่พบแนวโน้มของโลหะแต่ละรูปแบบที่ชัดเจน ส่วนรูปแบบของสังกะสีตามความลึก มีแนวโน้มที่ชัดเจน กล่าวคือ อยู่ในรูปแบบที่จับอยู่กับเหล็กออกไซด์สูงที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบที่จับกับแมงกานีสออกไซด์ รูปแบบที่จับกับสารอินทรีย์ รูปแบบที่จับกับคาร์บอเนต และ

พบน้อยที่สุดในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ปริมาณสังกะสีทุกรูปแบบที่ศึกษามีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักในดินตะกอนอายุมากและดินตะกอนที่มีอายุน้อย

สถานี C2

ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วแต่ละรูปแบบมีค่าแปรปรวนตามความลึกของชั้นดิน โดยไม่พบแนวโน้มของโลหะแต่ละรูปแบบที่ชัดเจน ส่วนทองแดงและสังกะสี มีการเปลี่ยนแปลงตามความลึกไม่มากนัก จึงมีแนวโน้มของแต่ละรูปแบบตามระดับความลึกของตะกอนที่ชัดเจนกว่า กล่าวคือ ทองแดงอยู่ในรูปที่จับกับสารอินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือรูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์ รูปที่จับกับเหล็กออกไซด์ รูปที่จับกับคาร์บอนेट และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ สังกะสีพบอยู่ในรูปที่จับกับเหล็กออกไซด์ใกล้เคียงกับรูปที่จับกับสารอินทรีย์ และมีแนวโน้มของสังกะสีทั้งสองรูปแบบดังกล่าวค่อนข้างสูงในผิวน้ำดินตะกอนถึงที่ความลึก 15 เซนติเมตร รองลงมาคือ รูปแบบที่จับกับแมงกานีสออกไซด์ รูปที่จับกับคาร์บอนेट และรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ ตามลำดับ

สถานี C3

ปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีอยู่ในรูปแบบที่จับกับเหล็กออกไซด์ ยกเว้นทองแดง ซึ่งพบมากที่สุดในรูปที่จับกับสารอินทรีย์ ในปริมาณที่แตกต่างจากทองแดงในรูปแบบอื่นๆค่อนข้างมาก

5.3 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะในรูป Total non-residual ในดินตะกอนตามความลึก

เนื่องจากปริมาณโลหะในแต่ละรูปแบบในตัวอย่างดินตะกอนตามความลึก มีค่าค่อนข้างแปรปรวน การเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานีจึงต้องอาศัยค่าผลรวมของโลหะทั้ง 5 รูปแบบที่ศึกษา (Total non-residual) ดังรูปที่ 5.3(ก-ง) และได้ข้อสรุปดังนี้

1. ดินตะกอนจากสถานี C1 มีแนวโน้มของปริมาณแคดเมียม ทองแดง และตะกั่วที่เกิดขึ้นในอดีต (ปี พ.ศ. 2511) มากกว่าในปัจจุบัน ในขณะที่ปริมาณสังกะสีที่พบในดินตะกอนในปี พ.ศ. 2511 มีค่าต่างจากในปัจจุบันไม่มากนัก
2. ดินตะกอนจากสถานี C2 มีแนวโน้มของปริมาณทองแดงและตะกั่วที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2524 มากกว่าในปัจจุบัน

3. ดินตะกอนจากสถานี C3 มีปริมาณแคดเมียม ทองแดง และสังกะสีที่สูงกว่าสถานี C1 และ C2 เนื่องจาก สถานี C3 อยู่ในบริเวณคลองสุนัขหอน ซึ่งเป็นคลองปิดและได้รับอิทธิพลจากการพัดพาของกระแสน้ำ และลักษณะของลำน้ำบริเวณปากคลองทั้งสอง ที่ค่อนข้างแคบแคว ทำให้เกิดการเก็บกักของตะกอนได้ดี ดังนั้น จึงมีโอกาสน้ำจากคลองมหาชัยจะถูกพัดพามายังคลองสุนัขหอน และเกิดการทับถมของดินตะกอนและสะสมตามลำดับชั้นความลึกของชั้นดินตะกอนบริเวณคลองสุนัขหอน ประกอบกับดินตะกอนจากสถานี C3 มีอัตราการตกตะกอนที่สูง (2.85 เซนติเมตร/ปี) และปริมาณโลหะดังกล่าวเกิดในช่วง 12 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2533) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้โลหะมากกว่าใน 34 ปี และ 21 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2511 และ พ.ศ. 2524 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นช่วงอายุสูงสุดของดินตะกอนจากสถานี C1 และ C2

5.4 การสะสมของโลหะหนักในตัวอย่างดินแถมขาว

จากผลการศึกษา พบแนวโน้มการสะสมของโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของดินแถมขาว ดังต่อไปนี้

แคดเมียม	ไบแก > ไบอ่อน > ราก > ลำต้น
ทองแดง	ไบแก > ไบอ่อน > ราก > ลำต้น
ตะกั่ว	ไบแก > ไบอ่อน > ราก, ลำต้น
สังกะสี	ไบแก, ไบอ่อน, ราก > ลำต้น

Lacerda (1994) รายงานว่า พืชชายเลนจะสามารถดูดซับโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี เหล็ก และแมงกานีส ได้จากน้ำในดิน (interstitial water) และจากดินตะกอน แล้วลำเลียงผ่านทางรากและลำต้น ไปสะสมอยู่ในส่วนใบของพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่พบโลหะหนักในส่วนไบแกสูงกว่าส่วนอื่นๆ ในปริมาณที่มากกว่าส่วนอื่น นอกจากการดูดซึมและการลำเลียงโลหะหนักจากดินและน้ำในดินแล้ว ใบพืชยังได้รับโลหะหนักจากอากาศที่ตกลงสู่ผิวใบของพืชได้อีกด้วย ใบของพืชจะเป็นเสมือนตัวพาโลหะหนักเข้าสู่ระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหาร โดยผ่านการกินของสัตว์กินพืช (herbivore) และการย่อยสลายใบพืชที่ร่วงบนพื้นดินของจุลินทรีย์

โดยทั่วไปในตะกอนป่าชายเลนจะมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ลินทรีย์ในดินจึงมีความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงเช่นกัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนใน

ตะกอนลดลง เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนในดินตะกอน Cu, Cd และ Pb จะจับกับ sulphide (HS-) ที่มาจากกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ เกิดเป็น sulphide ของโลหะในรูปที่ไม่ละลายน้ำทำให้ปริมาณโลหะที่พืชสามารถดูดซึมผ่านรากมีปริมาณลดลง นอกจากนี้การที่ต้นแสมขาวเป็นพืชชนิดที่มีกลไกในการขับเกลือออกจากเซลล์เพื่อรักษาสมดุลของน้ำ ทำให้โลหะบางส่วนที่พืชดูดซึมผ่านเข้าไปถูกขับออกมาด้วย จึงพบว่ามีการสะสมของโลหะในรากและลำต้นน้อยกว่าในใบซึ่งอาจได้รับโลหะหนัก (โดยเฉพาะ Cd และ Pb) จากบรรยากาศและจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มี Cd และ Pb ปนเปื้อนอยู่ (Hutchinson, 1994)

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในส่วนใบของพืชชายเลน (ug/g นน.แห้ง)

	พืชชายเลน	Cd	Cu	Zn	Pb
Lacerda, 1994	<i>Rhizophora mangle</i>	0.5	15.9	19.4	-
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0.6	13.1	21.2	-
	<i>Avicennia schueriana</i>	0.6	11.4	50.7	-
This study	<i>Avicennia alba</i> (young leaf)	1.72	9.46	16.88	23.48
	<i>Avicennia alba</i> (old leaf)	3.73	12.46	19.85	48.54

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในส่วนใบอ่อนและใบแก่ของต้นแสมขาว *Avicennia alba* Bl. จากการศึกษาครั้งนี้กับการศึกษาของ Lacerda (1994) ในพืชชายเลน 3 ชนิด (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* และ *Avicennia schueriana*) จากบริเวณ Sepetiba Bay ประเทศบราซิล ดังตารางที่ 5.4 พบว่า ปริมาณแคดเมียมที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าค่าจากการศึกษาของ Lacerda (1994) มากถึง 7-8 เท่าตัว ส่วนทองแดงในใบแก่ของ *Avicennia alba* Bl. มีค่าใกล้เคียงกับใน *Avicennia schueriana* และสังกะสีทั้งในใบอ่อนและใบแก่ใน *Avicennia alba* Bl. จากการศึกษานี้มีค่ามากกว่าสังกะสีในใบของ *Avicennia schueriana* เนื่องจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างในครั้งนี้อยู่ในพื้นที่อุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะได้มากกว่าบริเวณ Sepetiba Bay ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม

5.5 การหาค่า concentration factor (CF)

เปรียบเทียบการสะสมของโลหะหนักในส่วนต่างๆของต้นแสมขาวโดยพิจารณาจากค่า concentration factor ดังสูตร

$$\text{concentration factor} = \frac{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในส่วนต่างๆ ของพืช}}{\text{ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินตะกอน}}$$

หาค่า concentration factor จากปริมาณโลหะหนักในส่วนใบอ่อน ใบแก่ ลำต้น และรากของต้นแสมขาว ต่อปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนที่อยู่ในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้(Exchangeable) รูป Total non-residual และรูป Total metal ดังแสดงในตารางที่ 5.5

จากตารางที่ 5.5 พบว่า ค่า CF ที่หาจากโลหะหนักในรูปแบบที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable) มีค่าสูงกว่าค่า CF ในรูปแบบอื่น (ยกเว้น ค่า CF ของสังกะสีในรูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีค่าสูงกว่าในรูป Total metal) เนื่องจาก เป็นรูปแบบที่พืชสามารถดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือค่า CF ในรูป Total metal และ Total non-residual ตามลำดับ

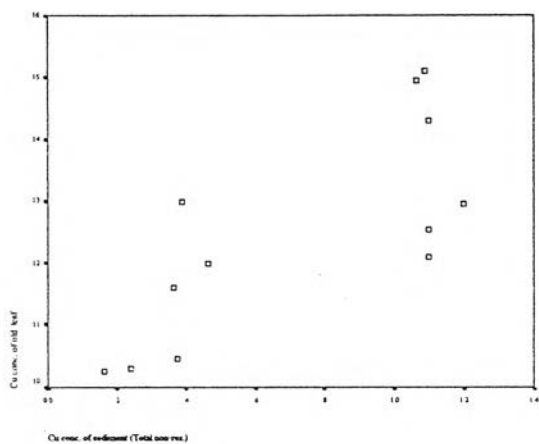
ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในต้นแสมขาวและดินตะกอน (ug/g) และค่า concentration factor(CF)

		Cd	Cu	Pb	Zn
แสมขาว	ใบอ่อน	1.67	9.45	23.68	16.13
	ใบแก่	3.73	12.46	48.54	16.85
	ลำต้น	0.22	3.79	5.46	4.10
	ราก	0.56	8.58	6.15	20.79
ดินตะกอน	Exchangeable	0.46	0.72	4.46	7.67
	Total non-residual	0.46	55.43	20.41	56.03
	Total metal	62.25	68.9	14.12	108.71
CF	Exchangeable	4.22	16.68	6.10	25.24
	Total non-residual	2.28	0.19	0.80	0.14
	Total metal	0.41	11.62	6.36	35.93

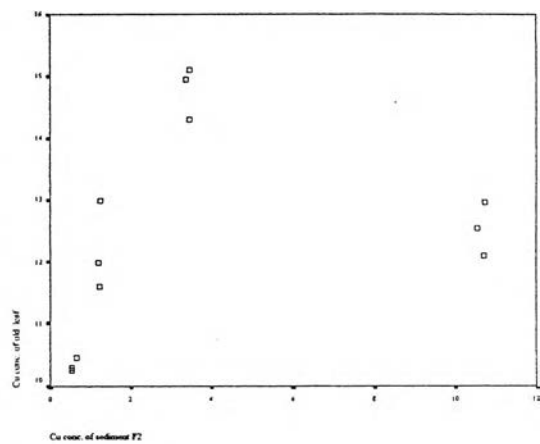
หมายเหตุ ค่าCF ที่ปรากฏในตารางเป็นค่า CF ที่เฉลี่ยจากค่า CF ของส่วนใบอ่อน ใบแก่ ลำต้น และรากของต้นแสมขาว

5.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอนและต้นแสมขาวในแต่ละสถานี

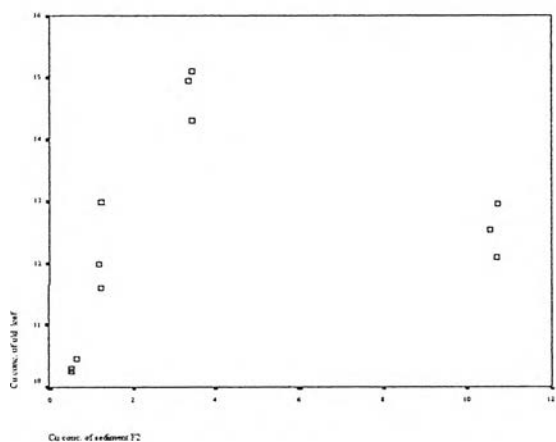
เมื่อนำค่าความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนมาเขียนกราฟ คู่กับปริมาณโลหะหนักในส่วนใบแก่ของต้นแสมขาว ซึ่งเป็นส่วนที่มีการสะสมของโลหะหนักมากกว่าส่วนอื่น เพื่อหาความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (linear relation) ระหว่างโลหะหนักในดินตะกอน และส่วนของต้นแสมขาวที่อยู่ในสถานีเดียวกัน พบว่า ทองแดง (ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง ยกเว้น สถานี M3) มีความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างโลหะหนักในใบแก่และในดินตะกอนทั้ง 5 รูปแบบที่ศึกษา รวมทั้งรูปแบบ Total non-residual ดังแสดงในรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณทองแดงในใบแก่แปรผันตามปริมาณทองแดงที่พบในดินตะกอนในลักษณะที่เพิ่มตามกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณทองแดงในดินตะกอนสูงขึ้น ก็จะมีการสะสมของทองแดงในดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ยกเว้น สถานี M3 ซึ่งเป็นสถานีที่มีปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนสูงกว่าสถานีอื่นอยู่มาก แต่มีการสะสมในส่วนใบแก่ที่น้อยกว่า ทำให้เมื่อ เขียน กราฟแล้วได้พิกัดที่ต่ำกว่าพิกัดอื่น จึงไม่อยู่ในแนวโน้มของเส้นตรง ส่วนแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ไม่พบความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว



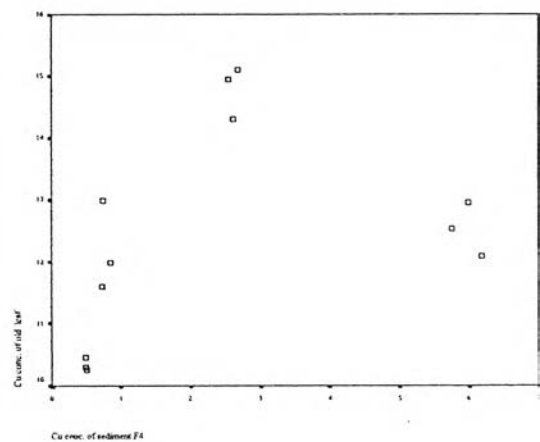
(ก)



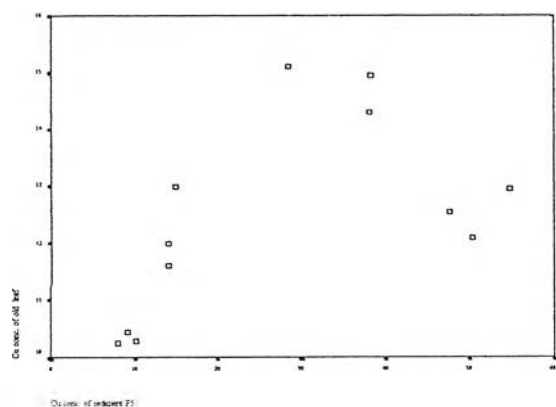
(ข)



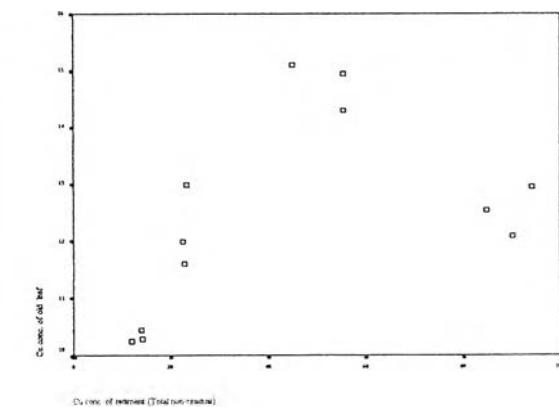
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของทองแดงในต้นแสมขาวกับในดินตะกอนรูปแบบต่างๆ
 (ก) รูปที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (ข) รูปที่จับกับคาร์บอนेट (ค) รูปที่จับกับแมงกานีสออกไซด์
 (ง) รูปที่จับกับเหล็กออกไซด์ (จ) รูปที่จับกับสารอินทรีย์ (ฉ) รูปแบบของ Total non-residual