

บทที่ 3

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

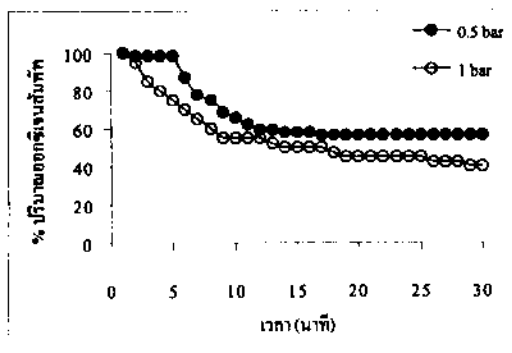
3.1 ปริมาณออกซิเจนในกระโจนไนโตรเจน

การตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในกระโจนไนโตรเจน เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของกระโจน โดยตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในกระโจน ได้ผลการตรวจวัด ดังนี้

3.1.1 ปริมาณออกซิเจนละลายภายในกระโจน

ผลการศึกษา

หลังจากรีดกระโจนให้เรียบ และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ากระโจน เป็นเวลาประมาณ 10 นาที แล้วตั้งกระโจนขึ้น และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ากระโจนตลอดเวลาการทดลอง ผลการวัดปริมาณออกซิเจนละลายเมื่อทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยความดัน 0.5 และ 1 บาร์ แสดงในตาราง ง-1 (ภาคผนวก ง) และรูปที่ 3-1 โดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที ค่าออกซิเจนละลายจะเริ่มเข้าสู่ภาวะคงที่ (steady state) และปริมาณออกซิเจนสัมพัทธ์ในน้ำที่อยู่ในกระโจนเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น มีค่าอยู่ที่ 50% และ 40% เมื่อปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ากระโจนที่ความดัน 0.5 และ 1.0 บาร์ ตามลำดับ



รูปที่ 3-1 ปริมาณออกซิเจนละลายในกระโจน ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่กระโจน

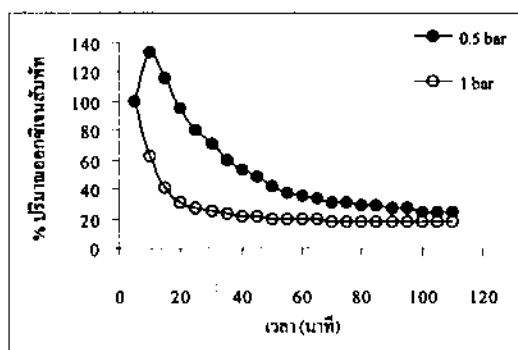
อภิปรายผล

จากผลการทดลองหลังเปิดก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศออกจากกระโถม เห็นได้ชัดว่าการลดลงของปริมาณออกซิเจนจะกลายเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นลดลงและคงที่ โดยความดันก๊าซไนโตรเจน 0.5 บาร์ จะทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำในกระโถมมีค่าต่ำสุดและคงที่ที่ 1.8 mg/L แต่ถ้าหากความดันเพิ่มขึ้นเป็น 1 บาร์ ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดต่ำได้ถึง 0.90 mg/L จากงานวิจัยของ Thamdrup *et al.* (1994) พบว่าปริมาณออกซิเจนในกระโถมขณะทำการทดลองมีค่าน้อยกว่า 1 mg/L ดังนั้นเลือกใช้ความดันที่ 1 บาร์ ในการไล่ออกซิเจนในกระโถม

3.1.2 ปริมาณออกซิเจนในอากาศในกระโถม

ผลการศึกษา

หลังจากรีดกระโถมให้เรียบ และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ากระโถมเพื่อไล่ออกซิเจนออกให้หมดเป็นเวลานานประมาณ 10 นาที แล้วตั้งกระโถมขึ้น และปล่อยก๊าซไนโตรเจนเข้ากระโถมตลอดเวลาการทดลอง ผลการวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศเมื่อทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนด้วยความดัน 0.5 และ 1 บาร์ แสดงในตาราง ง-2 (ภาคผนวก ง) และรูปที่ 3-2 โดยพบว่าในช่วงแรกที่มีความดัน 0.5 บาร์ ปริมาณออกซิเจนในอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และลดลงจนถึงภาวะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที สำหรับความดัน 0.5 บาร์ แต่เมื่อใช้ความดันของก๊าซไนโตรเจนที่ปล่อยเข้าสู่กระโถมที่ 1 บาร์ พบว่า ค่าออกซิเจนในอากาศลดลงอย่างรวดเร็วใน 10 นาที แรก และเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที



รูปที่ 3-2 ปริมาณออกซิเจนในอากาศในกระโถม ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่กระโถม

อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าความดันในโตรเจนที่ควรใช้ คือ 1 บาร์ และใช้เวลาในการไล่อากาศออกจากกระโถมนาน 20 นาที ซึ่งจะทำให้ให้ออกซิเจนในอากาศในกระโถมมีค่า 1.7% ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยของ Ryssen *et al.* (1998) ที่พบว่าปริมาณออกซิเจนในอากาศในกระโถมขณะทำการทดลองควรมีค่าน้อยกว่า 2%

3.1.3 สรุปผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของกระโถม

จากการทดสอบประสิทธิภาพของกระโถมในโตรเจนที่สร้างขึ้นอย่างง่าย ๆ สามารถสรุปได้ว่า กระโถมที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง โดยที่ค่าความดันของก๊าซในโตรเจนที่เหมาะสม คือ 1 บาร์ และควรจะปล่อยก๊าซในโตรเจนเข้าสู่กระโถมเป็นเวลานานประมาณ 30 นาที ก่อนที่จะมีการตัดแยกตัวอย่างตะกอนภายในกระโถม

ราคาที่ใช้ในการผลิตกระโถมซึ่งมีขนาด 80 x 60 x 28 นิ้ว อยู่ที่ประมาณ 180 บาท ในขณะที่กระโถมที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งผลิตโดย Instruments for Research and Industry[®], Inc. (USA) (http://www.i-2-r.com/c_glove_bag/gb_index.htm) รุ่น SS-30-20H ขนาด 30 x 20 x 14 นิ้ว ราคา US\$119 ต่อ 3 ชิ้น เมื่อเปรียบเทียบราคาของกระโถมที่สร้างขึ้นเองกับกระโถมที่มีขายในเชิงพาณิชย์ จึงมีราคาถูกกว่าถึงประมาณ 10 เท่า

3.2 ข้อมูลภาคสนาม

3.2.1 คุณภาพน้ำบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

ขณะเก็บตัวอย่าง ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำเหนือตะกอน ณ จุดเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำชนิดหลายตัวแปร ยี่ห้อ HORIBA รุ่น U-22 ข้อมูลคุณภาพน้ำทางด้านฟิสิกส์-เคมีก็แสดงไว้ในตาราง 3-1

ตาราง 3-1 ข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนาม ณ สถานีเก็บตัวอย่าง

สถานี	U1	U2	U3	U4
วันที่เก็บตัวอย่าง	12 มีนาคม 2544	12 มีนาคม 2544	16 มีนาคม 2544	16 มีนาคม 2544
เวลาที่เก็บตัวอย่าง	14.25 น.	12.50 น.	11.45 น.	9.50 น.
ความลึก (m)	1.0	1.0	2.5-3.0	3.5
pH	9.19	7.45	6.05	6.17
Turbidity (NTU)	57.4	44.6	124	51.3
D.O. (mg/L)	9.83	3.22	4.12	3.47
Salinity (psu)	13	1	0	0
Redox potential (mV)	66	120	150	155
Conductivity (s/m)	2.18	0.213	0.00172	0.00161
Temperature (°C)	31.02	29.34	29.47	29.53
Total dissolved solids (g/L)	14	1.4	0.11	0.11

U1 ปากคลองอยู่ตะเภ่กับทะเลสาบสงขลา

U2 วัดท่าเมรุ

U3 วัดคูเต่า

U4 วัดนาวังนก

3.2.2 ข้อมูลทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่างตะกอน

สภาพทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่าง ซึ่งทำการบันทึกทันที เมื่อเก็บตัวอย่างตะกอน แสดงไว้ในตาราง 3-2

ตาราง 3-2 สภาพทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่าง

ข้อมูล	U1		U2		U3		U4	
	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2	คอร์ 1	คอร์ 2
ความยาวตะกอน (cm)	32	29	31	32	26	29	30	29
สีตะกอนส่วนบน	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเหลือง	น้ำตาลเทา	เทา	เทา	น้ำตาลแดง	เทา
สีตะกอนส่วนกลาง	น้ำตาลเทา	เทาดำ	เทาดำ	เทาดำ	เทา	เทา	เทา	เทา
สีตะกอนส่วนล่าง	เทาดำ	เทาดำ	เทาดำ	เทาดำ	เทา	เทา	เทา	เทา
ลักษณะตะกอน	ดินละเอียด มีเศษไม้และ สาหร่าย	ดินละเอียด มีเศษไม้และ สาหร่าย	ดินโคลนปนทรายละเอียด	ดินโคลนปนทรายละเอียด	ดินปนทราย ส่วนลางก่อนข้างละเอียด	ดินปนทราย ส่วนลางก่อนข้างละเอียด	ทรายละเอียด มีสีน้ำตาลแดง	ทรายละเอียด มีสีน้ำตาลแดง
สิ่งมีชีวิตหน้าดิน	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	หอย	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	สาหร่าย หอย	-	-
กลิ่นตะกอน	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์	ชั้นล่างมีกลิ่นเหม็นของซัลไฟด์

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ

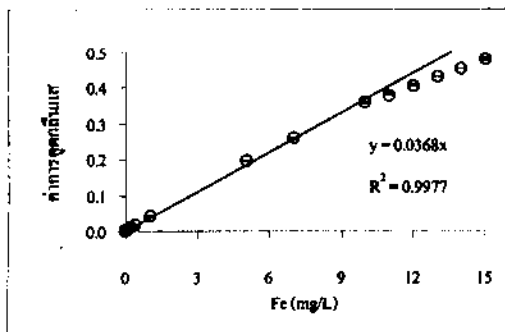
3.3.1 เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

3.3.1.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง

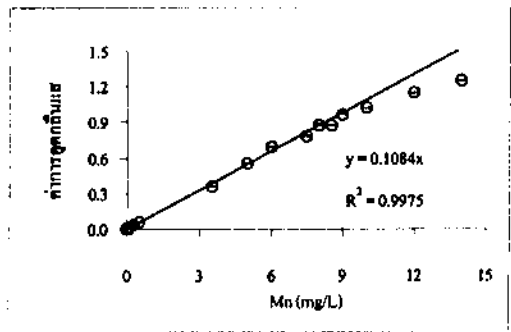
ผลการศึกษา

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟคาลิเบรชันของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้เงื่อนไขจากตาราง จ-1 (ภาคผนวก จ) พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของ

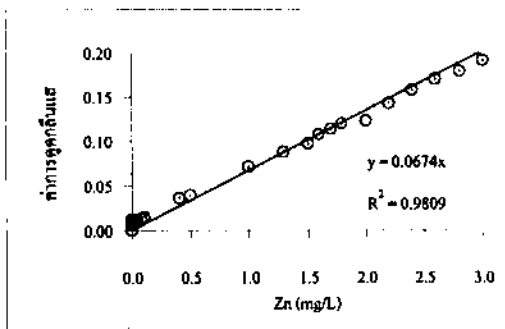
- เหล็ก อยู่ในช่วง 0.10-10.00 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 3-3ก
- แมงกานีส อยู่ในช่วง 0.05-8.00 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 3-3ข
- สังกะสี อยู่ในช่วง 0.08-1.80 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 3-3ค
- ทองแดง อยู่ในช่วง 0.08-15.00 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 3-3ง



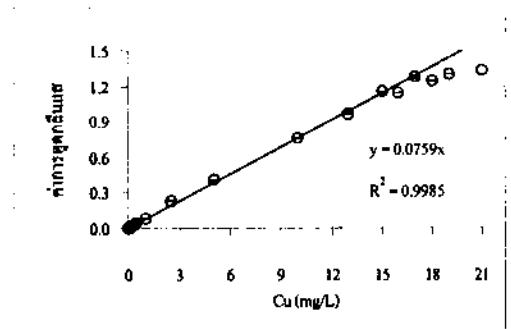
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3-3 ช่วงการตอบสนองเป็นเส้นตรงของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง



3.3.1.2 ขีดจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัด

ผลการศึกษา

จากการศึกษาขีดจำกัดค่าสูงสุดในการตรวจวัดเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เงื่อนไขดังแสดงในตาราง จ-1 (ภาคผนวก จ) ผลการศึกษาแสดงในตาราง จ-2 (ภาคผนวก จ) และการคำนวณค่าขีดจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดของโลหะแต่ละชนิด แสดงไว้ท้ายตาราง จ-2 ในภาคผนวก จ

ขีดจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

- เหล็ก เท่ากับ 0.041 mg/L
- แมงกานีส เท่ากับ 0.014 mg/L
- สังกะสี เท่ากับ 0.044 mg/L
- ทองแดง เท่ากับ 0.024 mg/L

3.3.1.3 ความไววิเคราะห์

ผลการศึกษา

จากการศึกษาผลความไววิเคราะห์ของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680 โดยใช้เงื่อนไขดังแสดงในตาราง จ-1 (ภาคผนวก จ) ผลการศึกษาแสดงในตาราง จ-3 (ภาคผนวก จ)

- เหล็ก เท่ากับ 0.12 mg/L
- แมงกานีส เท่ากับ 0.04 mg/L
- สังกะสี เท่ากับ 0.06 mg/L
- ทองแดง เท่ากับ 0.06 mg/L

3.3.2 เทคนิคแกราฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

3.3.2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนต่าง ๆ

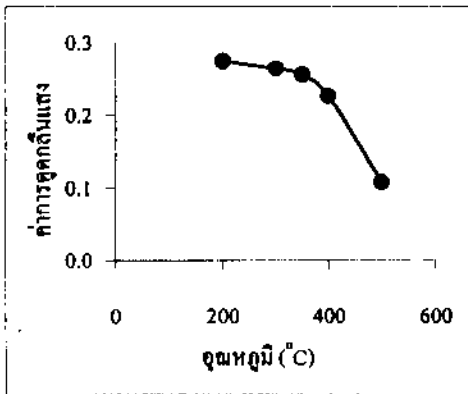
ระดับอุณหภูมิที่ทำให้เป็นเล้า และระดับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเป็นไออะตอม เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคแกราฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

(ก) ตะกั่ว

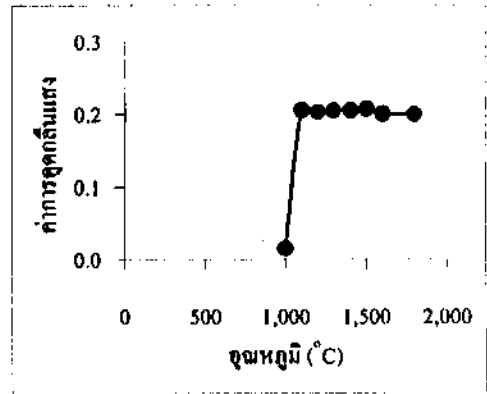
เงื่อนไขในการตั้งอุณหภูมิ เวลา และอัตราไหลของก๊าซอาร์กอน ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นแก้ว และในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เป็นไออะตอมตะกั่ว แสดงไว้ในตารางที่ จ-4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงไว้ในตาราง จ-5ก และ จ-5ข (ภาคผนวก จ) และรูปที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นแก้ว แสดงไว้ในรูปที่ 3-4ก และความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วกับอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม แสดงในรูปที่ 3-4ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นแก้ว และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม

อภิปรายผล

จากความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นแก้ว และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม ดังแสดงในรูปที่ 3-4 สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการทำให้เป็นแก้วอยู่ที่ 300°C และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอมอยู่ที่ 1,400°C



สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่างด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอเนสคอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สรุปไว้ในตาราง 3-3 สำหรับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ จะต้องมีการเติมสาร โมดิฟายเออร์ เพื่อเพิ่มค่าการดูดกลืนแสง (ดูผลการศึกษาในหัวข้อ 3.3.2.2)

ตาราง 3-3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่าง ด้วยเทคนิคแกรไฟต์เฟอเนสคอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

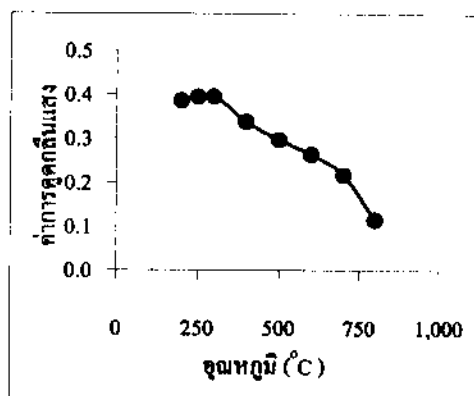
เงื่อนไขที่ใช้	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหลของก๊าซ
Drying	120	30	3
Ashing	300	20	3
Atomizing	1,400	3	0
Cooling	2,000	20	3

(ข) สังกะสี

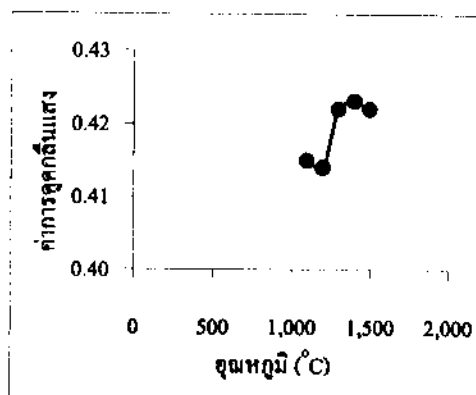
เงื่อนไขในการตั้งอุณหภูมิ เวลา และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นเถ้า และในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เป็นไออะตอมสังกะสี แสดงไว้ในตารางที่ ๑-4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงไว้ในตาราง ๑-6ก และ ๑-6ข (ภาคผนวก ๑) และรูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า แสดงไว้ในรูปที่ 3-5ก และความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีกับอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม แสดงในรูปที่ 3-5ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม

อภิปรายผล

จากความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม ดังแสดงในรูปที่ 3-5 สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้าอยู่ที่ 300°C และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอมอยู่ที่ 1,300°C

สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สังกะสีในตัวอย่าง ด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สรุปไว้ในตาราง 3-4

ตาราง 3-4 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สังกะสีในตัวอย่าง ด้วยเทคนิคแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

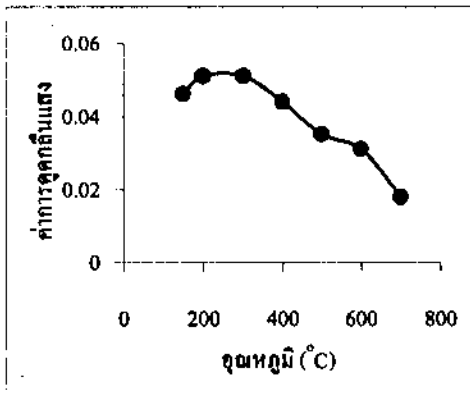
เงื่อนไขที่ใช้	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหลของก๊าซ
Drying	120	30	3
Ashing	300	20	3
Atomizing	1,300	3	0
Cooling	2,000	20	3

(ค) ทองแดง

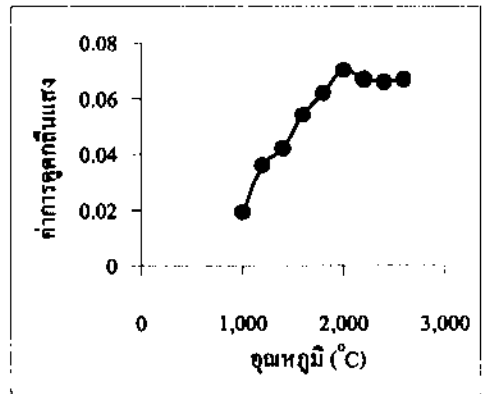
เงื่อนไขในการตั้งอุณหภูมิ เวลา และอัตราไหลของก๊าซอาร์กอน ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นเต้า และในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เป็นไออะตอมทองแดง แสดงไว้ในตารางที่ จ-4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงไว้ในตาราง จ-7ก และ จ-7ข (ภาคผนวก จ) และรูปที่ 3-6 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นเต้า แสดงไว้ในรูปที่ 3-6ก และความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงกับอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม แสดงในรูปที่ 3-6ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-6 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นเต้า และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม

อภิปรายผล

จากความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงกับอุณหภูมิในการทำให้เป็นเต้า และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม ดังแสดงในรูปที่ 3-6 สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการทำให้เป็นเต้าอยู่ที่ 300°C และอุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอมอยู่ที่ 2,000°C

สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ทองแดงในตัวอย่างด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอเนสอะตอมมิคแอนเซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สรุปไว้ในตาราง 3-5

ตาราง 3-5 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ทองแดงในตัวอย่าง ด้วยเทคนิคเกรฟไฟด์เฟอเนส-อะคอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

เงื่อนไขที่ใช้	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (วินาที)	อัตราการไหลของก๊าซ
Drying	120	30	3
Ashing	300	20	3
Atomizing	2,000	3	0
Cooling	2,500	20	3

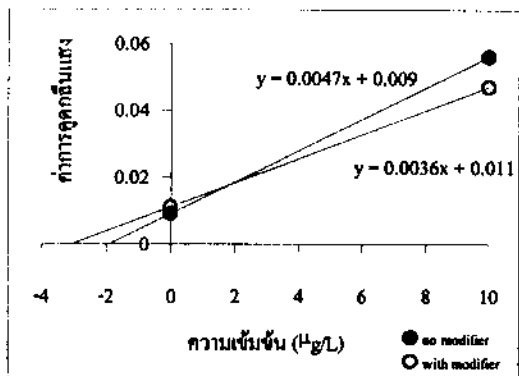
3.3.2.2 สารโมดิฟายเออร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว

ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน พบว่าตะกั่วมีปริมาณน้อยมาก จึงศึกษาหาสาร โมดิฟายเออร์ที่เหมาะสมเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง โดยเปรียบเทียบระหว่างสาร โมดิฟายเออร์ 2 ชนิด คือ

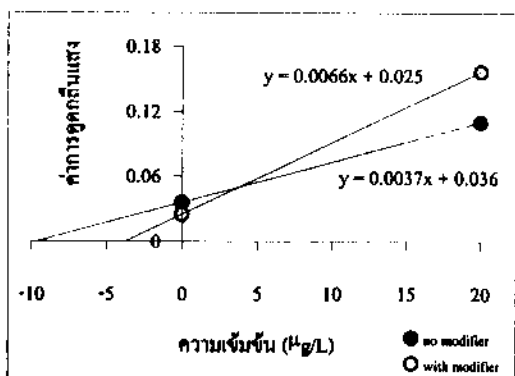
- แอมโมเนียมออกซาลेट (ammonium oxalate) เข้มข้น 3% (Williams *et al.*, 1998)
- พัลลาเดียมไนเตรต (palladium nitrate) เข้มข้น 0.15% + แมกนีเซียมไนเตรต (magnesium nitrate) เข้มข้น 0.1% (Hayes *et al.*, 1998)

ผลการศึกษา

ผลของแอมโมเนียมออกซาลेटต่อค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่วในตัวอย่าง แสดงในรูป 3-7ก ส่วนผลของ [พัลลาเดียมไนเตรต + แมกนีเซียมไนเตรต] ต่อค่าการดูดกลืนแสงของตะกั่วในตัวอย่าง แสดงในรูป 3-7ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของตะกั่วในตัวอย่างที่ใส่และไม่ใส่โมดิฟายเออร์ (ก) 3% แอมโมเนียมออกซาลेट และ (ข) 0.15% พัลทาเดียมไนเตรต + 0.1% แมกนีเซียมไนเตรต

อภิปรายผล

จากรูปที่ 3-7ก เมื่อเปรียบเทียบค่าความชันของตัวอย่างซึ่งใส่และไม่ใส่แอมโมเนียมออกซาลेटลงในตัวอย่าง พบว่าค่าความชันของตัวอย่างที่ใส่โมดิฟายเออร์มีค่าต่ำกว่า และการใส่สารแอมโมเนียมออกซาลेटลงในตัวอย่างกลับจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง จึงสรุปได้ว่าแอมโมเนียมออกซาลेटไม่เหมาะที่จะใช้เป็น โมดิฟายเออร์สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่าง

จากรูปที่ 3-7ข เมื่อเปรียบเทียบค่าความชันของตัวอย่างซึ่งใส่และไม่ใส่ [พัลทาเดียมไนเตรต + แมกนีเซียมไนเตรต] ลงในตัวอย่าง พบว่าค่าความชันของตัวอย่างที่ใส่โมดิฟายเออร์มีค่าสูงชันกว่าตัวอย่างที่ไม่ใส่โมดิฟายเออร์ถึงเกือบ 2 เท่า และให้ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า [พัลทาเดียมไนเตรต + แมกนีเซียมไนเตรต] เหมาะสมที่จะใช้เป็น โมดิฟายเออร์ สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่าง

3.3.2.3 ชีตจำกัดค่าสุดในการตรวจวัด

ผลการศึกษา

จากการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจวัดตะกั่ว (ไม่มีและมีโมดิฟายเออร์) สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เงื่อนไขตามตารางที่ 3-3, 3-4 และ 3-5 สำหรับตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดง

ดังตาราง จ-8 (ภาคผนวก จ) และการคำนวณค่าขีดจำกัดค่าสูงสุดของการตรวจวัดของโลหะแต่ละชนิด แสดงไว้ท้ายตาราง จ-8 ในภาคผนวก จ

ขีดจำกัดสูงสุดของการตรวจวัดด้วยเครื่องแกรไฟด์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

- ตะกั่ว (ไม่มีโมดิฟายเออร์)	เท่ากับ	0.714	µg/L
- ตะกั่ว (มีโมดิฟายเออร์)	เท่ากับ	0.732	µg/L
- สังกะสี	เท่ากับ	0.188	µg/L
- ทองแดง	เท่ากับ	1.071	µg/L

3.3.2.4 ความไววิเคราะห์

จากการศึกษาผลความไววิเคราะห์ของตะกั่ว (ไม่มีและมีโมดิฟายเออร์) สังกะสี และทองแดง ด้วยเครื่องแกรไฟด์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เงื่อนไขตามตารางที่ 3-3, 3-4 และ 3-5 สำหรับตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงในตาราง จ-9 (ภาคผนวก จ)

- ตะกั่ว (ไม่มีโมดิฟายเออร์)	เท่ากับ	1.05	µg/L
- ตะกั่ว (มีโมดิฟายเออร์)	เท่ากับ	1.07	µg/L
- สังกะสี	เท่ากับ	0.04	µg/L
- ทองแดง	เท่ากับ	1.57	µg/L

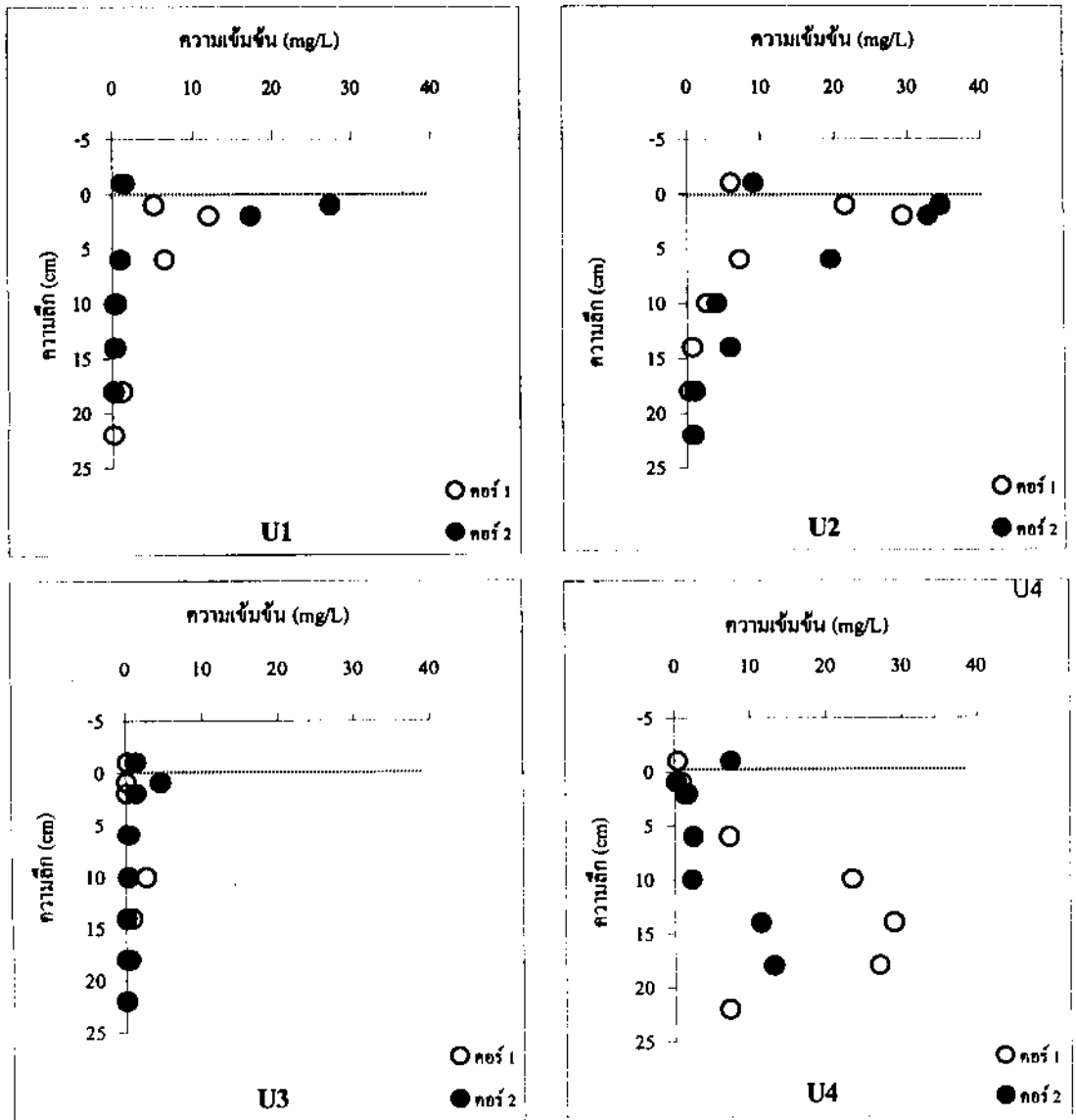
3.4 ความเข้มข้นของโลหะในน้ำเหนือตะกอน น้ำระหว่างตะกอน และตะกอน ตามความลึก

3.4.1 เหล็ก

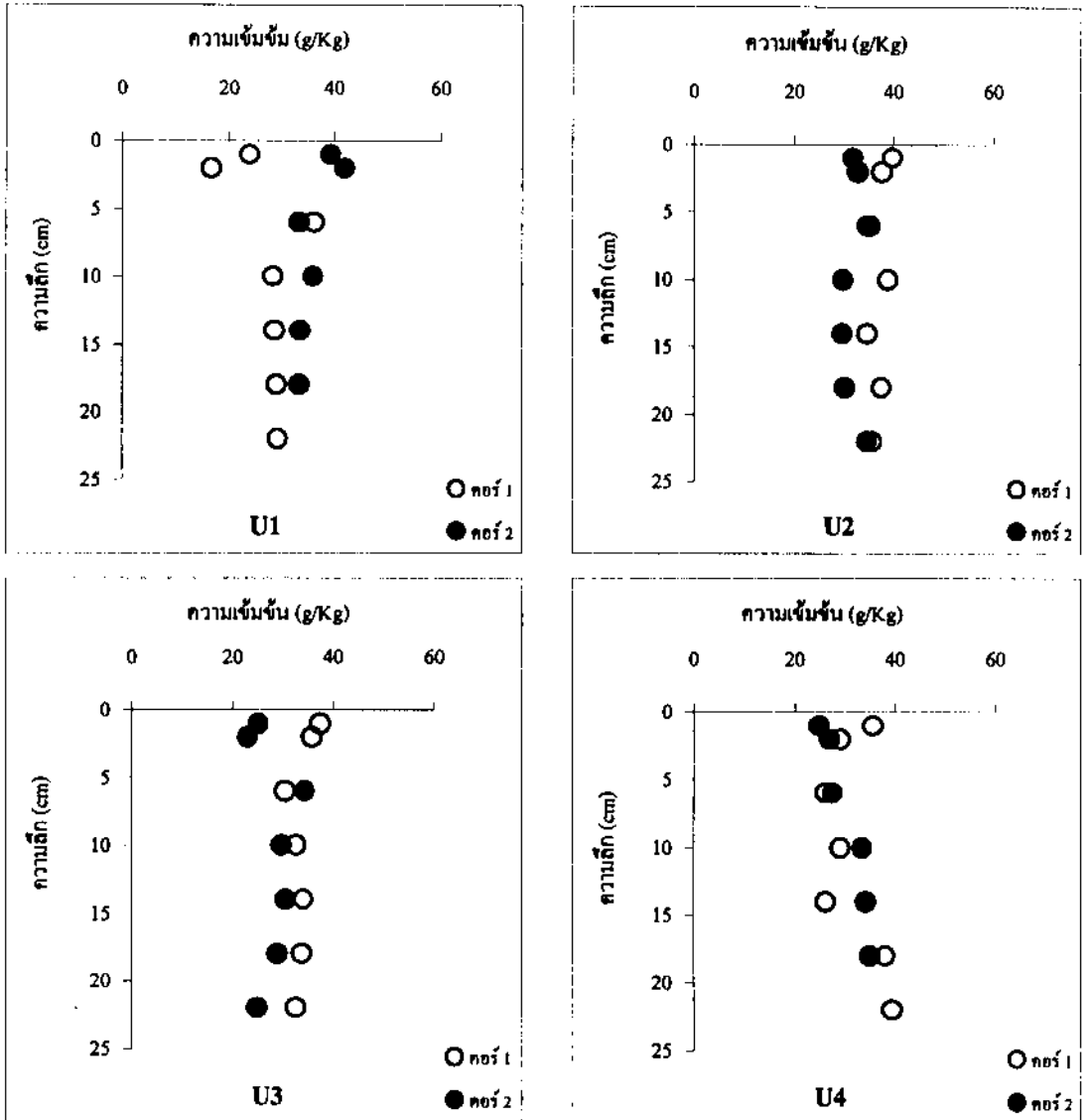
ผลการศึกษา

ความเข้มข้นเหล็ก ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-1 ถึง ฉ-4 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเหนือตะกอน อยู่ในช่วง 0.34 – 9.05 mg/L และในน้ำระหว่างตะกอนอยู่ในช่วง 0.06 – 34.52 mg/L สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-8

ส่วนความเข้มข้นเหล็กในตัวอย่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ใน ตาราง ฉ-5 ถึง ฉ-8 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนอยู่ในช่วง 16.72 – 41.97 g/Kg สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนตามความลึกของ ตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-8 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของเหล็กในน้ำเหนือตะกอน และน้ำ ระหว่างตะกอน



รูปที่ 3-9 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของเหล็กในตะกอน

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน บริเวณชั้นบนสุด (ดูรูปที่ 3-8) พบว่าเหล็กในน้ำเหนือตะกอนมีความเข้มข้นลดลงมาก เนื่องจากในมวลน้ำจะมีออกซิเจนมากกว่าในตะกอน Fe(II) จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น Fe(III) เกิดเป็นตะกอนของ vivianite $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$, greigite $[\text{Fe}_3\text{S}_4]$ หรือ siderite $[\text{FeCO}_3]$ (Berner, 1980) ทำให้เหล็กละลายเกิดการแยกตัวออกจากมวลน้ำ

ในสถานี 1 และ 2 พบว่าเหล็กจะมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับ 2 เซนติเมตรแรกของชั้นตะกอน ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็วโดยกระบวนการออกซิเดชันที่มีแบคทีเรียเป็นตัวการ ทำให้เกิดการละลายของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ ซึ่งถูกรีดิวซ์โดยสารอินทรีย์ และปลดปล่อยเหล็กในรูปเฟอร์รัส $[\text{Fe}^{2+}]$ ออกจากตะกอนเข้าสู่ น้ำระหว่างตะกอน (Tessier *et al.*, 1994) มีผลทำให้ความเข้มข้นเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณนี้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการแพร่กระจายที่พบค่อนข้างทั่วไปในบริเวณอื่น (Belzile and Tessier, 1989; Alongi *et al.*, 1996) นอกจากนี้ ในช่วงเหนือระดับ 6 เซนติเมตรแรกของชั้นตะกอน ยังมีการเติมออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา เนื่องมาจากการหายใจของสาหร่ายและการกวนตะกอนของสัตว์หน้าดิน แต่ในที่ลึกลงไปในตะกอน ออกซิเจนซึ่งมีอยู่น้อย จะถูกใช้เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์จนหมดไป แบคทีเรียจึงต้องใช้ออกซิเจนจากโมเลกุลของไนเตรต $[\text{NO}_3^-]$ และไนไตรต์ $[\text{NO}_2^-]$ และเมื่อไนเตรตและไนไตรต์หมด แบคทีเรียก็จะดึงเอาออกซิเจนจากซัลเฟต $[\text{SO}_4^{2-}]$ แทน โดยเกิดกระบวนการรีดักชันซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ $[\text{S}^{2-}]$ ทำให้เกิดการปลดปล่อยซัลไฟด์ออกสู่น้ำระหว่างตะกอน ซัลไฟด์นี้ก็จะเกิดสารประกอบซัลไฟด์กับโลหะต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำระหว่างตะกอนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำ (Elderfield *et al.*, 1981; Gaillard *et al.*, 1986; Silverberg and Sundby, 1990; Skowronek *et al.*, 1994) จึงทำให้ความเข้มข้นเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนลดลงอย่างรวดเร็ว

จากรูปที่ 3-8 ในสถานี 3 ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนมีน้อยมาก และไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเหล็กตามความลึก หรืออีกนัยหนึ่ง คือ ไม่เห็นการเพิ่มขึ้นของเหล็กละลายในตะกอนช่วงบน แสดงว่าเหล็กยังคงถูกตรึงไว้ในอยู่ในรูปแบบที่ไม่ละลาย ลักษณะการแพร่กระจายเช่นนี้ พบในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณ East Pacific Rise (Pedersen *et al.*, 1986) และบริเวณอ่าวปาปัว (ประเทศปาปัว-นิวกินี) (Alongi *et al.*, 1996) ซึ่ง Pedersen *et al.* (1986) และ Alongi *et al.* (1996) อธิบายว่าอาจจะเกิดเนื่องจากการไดอะเจเนซิส (diagenesis) ซึ่งเกิดขึ้นหลังการตกตะกอน ยังไม่ถึงภาวะคงที่ (steady state)

ลักษณะการแพร่กระจายตามแนวดิ่งของเหล็กในสถานีที่ 4 พบว่าความเข้มข้นสูงสุดของเหล็กอยู่ที่ระดับลึกประมาณ 15 เซนติเมตร อาจจะเป็นไปได้ว่าระดับออกซิกโซน (oxic zone) ในชั้นตะกอนอยู่ที่ลึกกว่าปกติ รูปแบบนี้แสดงถึงสภาวะรีดิวซ์ค่อนข้างอ่อน ทำให้โลหะละลายพบบริเวณที่ลึกกว่าตะกอนบริเวณอื่น (Presley and Trefry, 1980)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนกับบริเวณอื่น (ดูตาราง 1-2 ในบทที่ 1) พบว่าเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนจากคลองอยู่ตะเภามีระดับความเข้มข้นมากกว่าในน้ำระหว่างตะกอนจากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งพบอยู่ในช่วง 0.08 – 0.27 mg/L (Cheevaporn *et al.*, 1995) อย่างไรก็ตามก็ีระดับความเข้มข้นที่พบนี้อยู่ในระดับค่าใกล้เคียง (order of magnitude) กับบริเวณอื่น ๆ ที่รายงานโดย Nolting *et al.* (1995) และ Winger *et al.* (1998)

สำหรับความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนจากคลองอยู่ตะเภา พบอยู่ในช่วง 16.72 – 41.97 g/Kg และเป็นระดับเดียวกับที่ Sompongchaiyakul (1989) พบในตะกอนจากอ่าวไทย ซึ่งศึกษาโดยวิธี Neutron Activation แต่ความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนจากทะเลสาบสงขลาที่รายงานโดย Maneepong (1996) มีค่าน้อยกว่าที่พบในงานวิจัยนี้ (ดูตาราง 1-3 ในบทที่ 1) อธิบายได้ว่าความเข้มข้นทั้งหมดของเหล็กในตะกอนที่ตรวจพบโดย Maneepong (1996) นั้น ไม่ใช่ความเข้มข้นเหล็กทั้งหมดที่แท้จริง ทั้งนี้เพราะว่า Maneepong (1996) ใช้ $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (1:1) ในการย่อยตัวอย่าง แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ HF/Aqua Regia ในการย่อยตัวอย่าง ดังนั้นส่วนต่างนี้จึงน่าจะเป็นเหล็กที่อยู่ในโครงสร้างผลึกแร่ของตะกอนนั้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมดในตะกอนจากบริเวณอื่น ๆ ที่ใช้วิธีการย่อยตัวอย่างโดยใช้ HF จะมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับในงานวิจัยนี้ ในขณะที่วิธีย่อยตัวอย่างที่ไม่ใช่ HF นั้น จะพบความเข้มข้นของเหล็กในระดับต่ำกว่าทั้งสิ้น

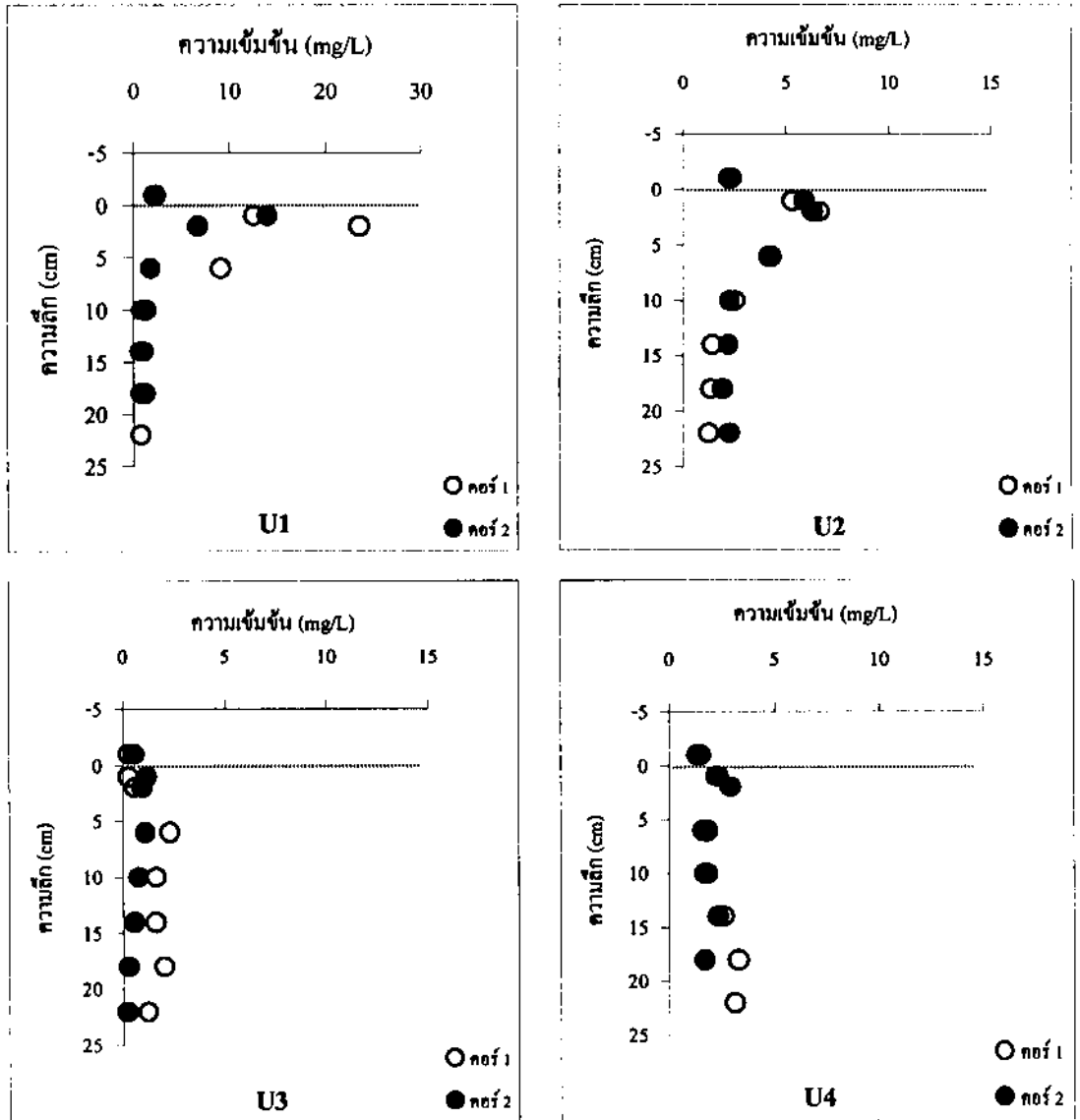
การแพร่กระจายความเข้มข้นของเหล็กในตะกอนตามความลึก (รูปที่ 3-9) ไม่พบความแตกต่างกัน และไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานี อธิบายได้ว่าความเข้มข้นของเหล็กที่พบในตะกอนคลองอยู่ตะเภา เป็นระดับที่มีอยู่ในธรรมชาติ ไม่มีการปนเปื้อนมาจากแหล่งอื่น

3.4.2 แมงกานีส

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นแมงกานีส ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-1 ถึง ฉ-4 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำเหนือตะกอน อยู่ในช่วง 0.27 – 2.42 mg/L และความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอน อยู่ในช่วง 0.20 – 23.61 mg/L สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-10

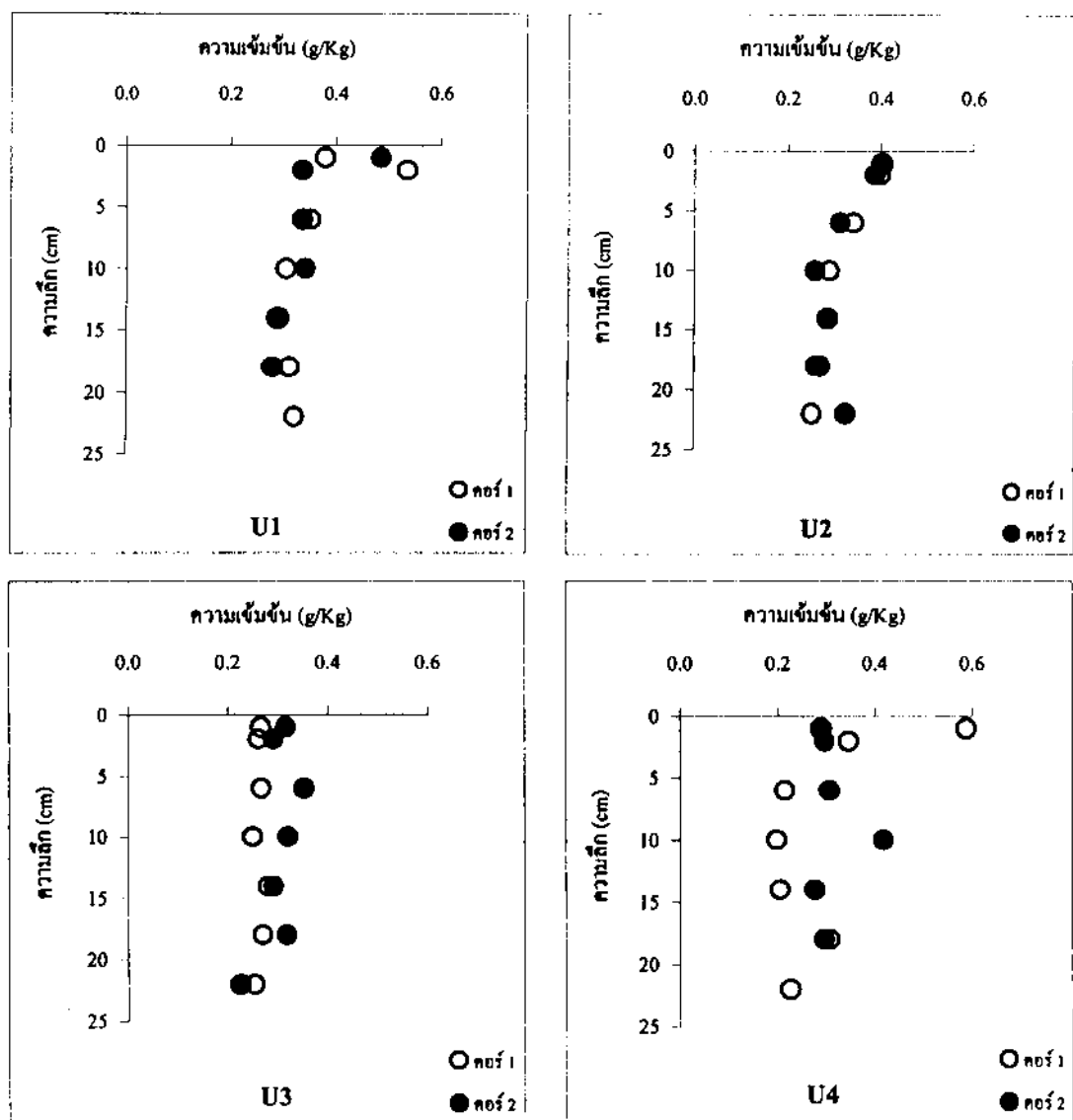
ส่วนความเข้มข้นแมงกานีสในตัวอย่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-5 ถึง ฉ-8 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนอยู่ในช่วง 0.20 – 0.59 g/Kg สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของแมงกานีสในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน บริเวณชั้นบนสุด (ดูรูปที่ 3-10) พบว่าแมงกานีสในน้ำเหนือตะกอนมีความเข้มข้นต่ำกว่า เนื่องจาก Mn(II) จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น Mn(IV) เกิดเป็นตะกอน แต่กระบวนการออกซิไดซ์ของแมงกานีส โดยออกซิเจนนั้น เกิดขึ้นช้ากว่าเหล็ก (Wehrli *et al.*, 1995)



รูปที่ 3-11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของแมงกานีสในตะกอน

การแพร่กระจายของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกตะกอนในแต่ละสถานี (รูปที่ 3-10) มีความคล้ายคลึงกับรูปแบบการแพร่กระจายของเหล็ก (รูปที่ 3-8) ทั้งนี้เนื่องจากแมงกานีสมีพฤติกรรมการรีดักชันสัมพันธ์กันกับพฤติกรรมการรีดักชันของเหล็ก (Burdige, 1993) อย่างไรก็ตามที่ในสถานี 1 และ 2 เกิดค่าสูงสุด (maxima) ของความเข้มข้นของแมงกานีสที่ระดับประมาณ 2 เซนติเมตรนั้น เนื่องมาจากการเกิดรีดักชันของ Mn^{4+} (รูปแบบที่ไม่ละลาย) ได้เป็น Mn^{2+} (รูปแบบที่ละลาย) โดยรีดักแทนต์ (reductant) บางประเภท ได้แก่ Fe^{2+} , NO_2^- , S^{2-} และจุลินทรีย์ (Burdige, 1993)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนกับบริเวณอื่น (ดูตาราง 1-2 ในบทที่ 1) พบว่าแมงกานีสในน้ำระหว่างตะกอนจากคลองอู่ตะเภามีระดับความเข้มข้นมากกว่าในน้ำระหว่างตะกอนจากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งพบอยู่ในช่วง 0.16 – 6.24 mg/L (Cheevaporn *et al.*, 1995) อย่างไรก็ตามก็ตีระดับความเข้มข้นที่พบมีอยู่ในระดับค่าใกล้เคียง (order of magnitude) กับบริเวณอื่น ๆ ที่รายงานโดย Nolting *et al.* (1995) และ Winger *et al.* (1998)

ความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนจากคลองอู่ตะเภา พบอยู่ในช่วง 0.20-0.59 g/Kg โดยที่ตะกอนผิวหน้าบริเวณปากคลองอู่ตะเภามีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.4 g/Kg Maneepong (1996) รายงานความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนผิวหน้าบริเวณเดียวกันไว้ประมาณ 0.2 g/Kg ซึ่งน้อยกว่าในรายงานนี้ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นผลมาจากวิธีการย่อยตัวอย่างวิเคราะห์เช่นเดียวกับที่อธิบายไว้ในหัวข้อของเหล็ก ความเข้มข้นของแมงกานีสที่พบในรายงานนี้ มีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานไว้สำหรับตะกอนจากในอ่าวไทย (Sompongchaiyakul, 1989) และจากบริเวณอื่น ๆ (ดูตาราง 1-3 ในบทที่ 1)

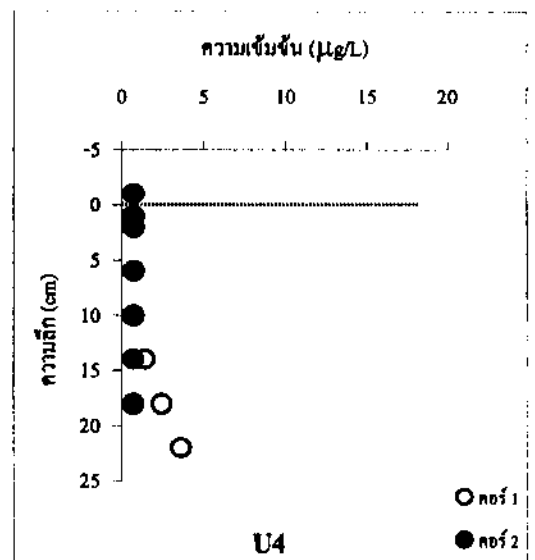
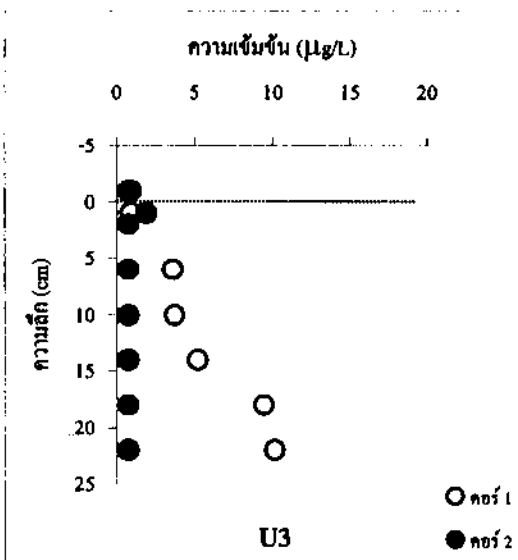
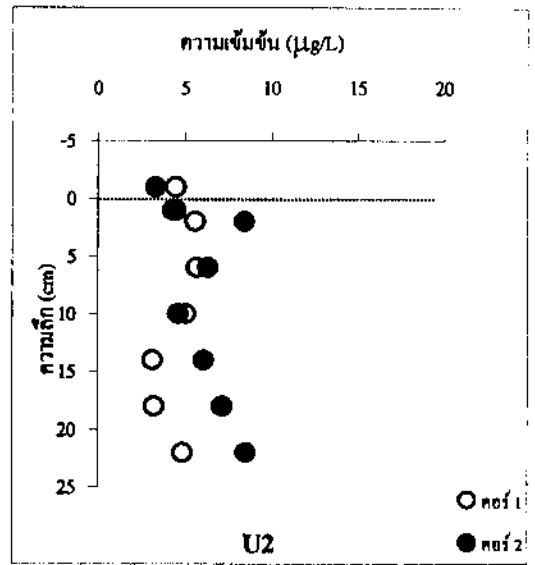
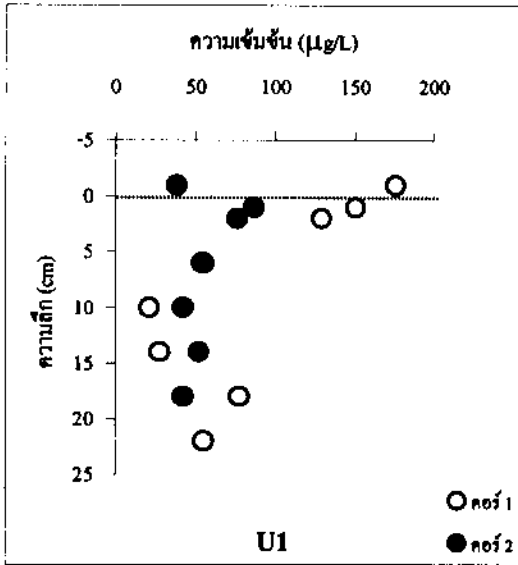
การแพร่กระจายความเข้มข้นของแมงกานีสในตะกอนตามความลึก (รูปที่ 3-11) ไม่พบความแตกต่างกัน และไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละสถานี อธิบายได้ว่าความเข้มข้นของแมงกานีสที่พบในตะกอนคลองอู่ตะเภา นี้ เป็นระดับที่มีอยู่ในธรรมชาติ ไม่มีการปนเปื้อนมาจากแหล่งอื่น

3.4.3 ตะกั่ว

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นของตะกั่ว ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-1 ถึง ฉ-4 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเหนือตะกอน อยู่ในช่วง 0.89 – 175.93 $\mu\text{g/L}$ และความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอน อยู่ในช่วง <0.73 – 150.56 $\mu\text{g/L}$ สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-12

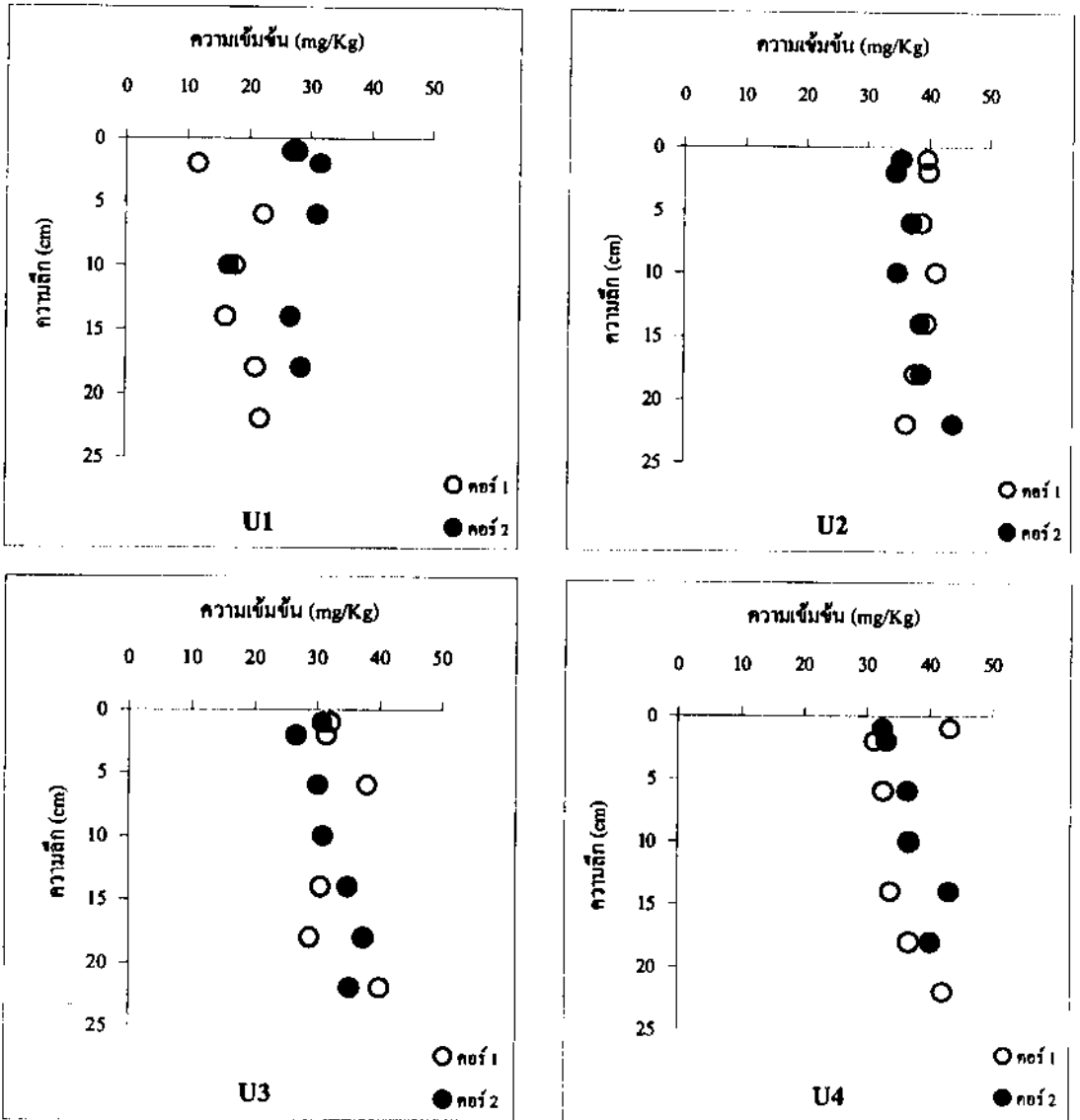
ส่วนความเข้มข้นของตะกั่วในตัวอย่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-5 ถึง ฉ-8 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนอยู่ในช่วง 11.71 – 44.14 mg/Kg สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของตะกั่วในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก ณ สถานีต่างๆ (รูปที่ 3-12) พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วมีค่าสูงที่สถานี 1 และลดลงมากในสถานี 2 ส่วนสถานี 3 และ 4 พบตะกั่วในน้ำเหนือตะกอนและในน้ำระหว่างตะกอนน้อยมาก ในขณะที่ความเข้มข้นทั้งหมดของตะกั่วในตะกอนแต่ละสถานีมีค่าไม่ต่างกันมาก (รูปที่ 3-13)



รูปที่ 3-13 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของตะกั่วในตะกอน

จากรูปที่ 3-12 จะเห็นว่า ตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนจากสถานี 2, 3 และ 4 ของคลองอู่ตะเภา มีความเข้มข้นอยู่ในระดับเดียว (ค่อนข้างต่ำ) กับน้ำระหว่างตะกอนของตัวอย่างจากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งรายงานโดย Cheevaporn *et al.* (1995) (ดูตาราง 1-2) แต่สถานี 1 ซึ่งเป็นบริเวณปากคลองอู่ตะเภากลับมีความเข้มข้นมากกว่าถึง 10 เท่า (ดูรูปที่ 3-12) ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณที่มีความเค็มมากขึ้น (บริเวณนี้มีความเค็มประมาณ 13 psu) ตะกั่วจะมีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปแบบละลายมากกว่า เพราะเมื่อมี ionic strength เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ซึ่งสูงขึ้น ก็จะแข่งกับไอออนของโลหะที่จะจับกับ active site ของผิวอนุภาคตะกอน ทำให้เกิดการ

แทนที่ไอออนของโลหะในตะกอนและปลดปล่อยไอออนของโลหะออกสู่น้ำ (เรียกว่ากระบวนการ desorption) ในขณะที่เดียวกัน เมื่อน้ำเค็มเพิ่มขึ้น และ pH สูงขึ้น เหล็กและแมงกานีสละลายก็จะแยกตัวออกจากมวลน้ำ เกิดการตกตะกอนของเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ขึ้นมา (เรียกว่ากระบวนการ precipitation) (ดูคำอธิบายการตกตะกอนในหัวข้อเหล็ก) ไอออนของโลหะต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปแบบละลายก็จะตกตะกอนร่วม (เรียกว่ากระบวนการ co-precipitation) ทำให้ความเข้มข้นของโลหะในรูปแบบละลายลดลง แต่กรณีหลังนี้จะมีอิทธิพลมากเมื่อความเค็มค่อนข้างสูง คือประมาณ >20 psu ขึ้นไป (Luoma, 1990) อย่างไรก็ตามในบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีความเค็มเพียง 13 psu ดังนั้นบริเวณนี้จึงยังถูก dominate ด้วยกระบวนการคายอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเหนือตะกอนและในน้ำระหว่างตะกอน โดยเฉพาะที่ระดับผิวหน้าในตะกอนบริเวณปากคลองอยู่ตะพานนี้มีค่าสูง

จากรูปที่ 3-12 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ระดับความเข้มข้นที่สูงของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนจากสถานี 1 (เมื่อเทียบกับสถานีอื่นที่อยู่ลึกเข้าไปในคลอง) และรูปแบบการแพร่กระจายของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก สอดคล้องกับความเข้มข้นและรูปแบบการแพร่กระจายของเหล็ก (รูปที่ 3-8) และแมงกานีส (รูปที่ 3-10) ในน้ำระหว่างตะกอน

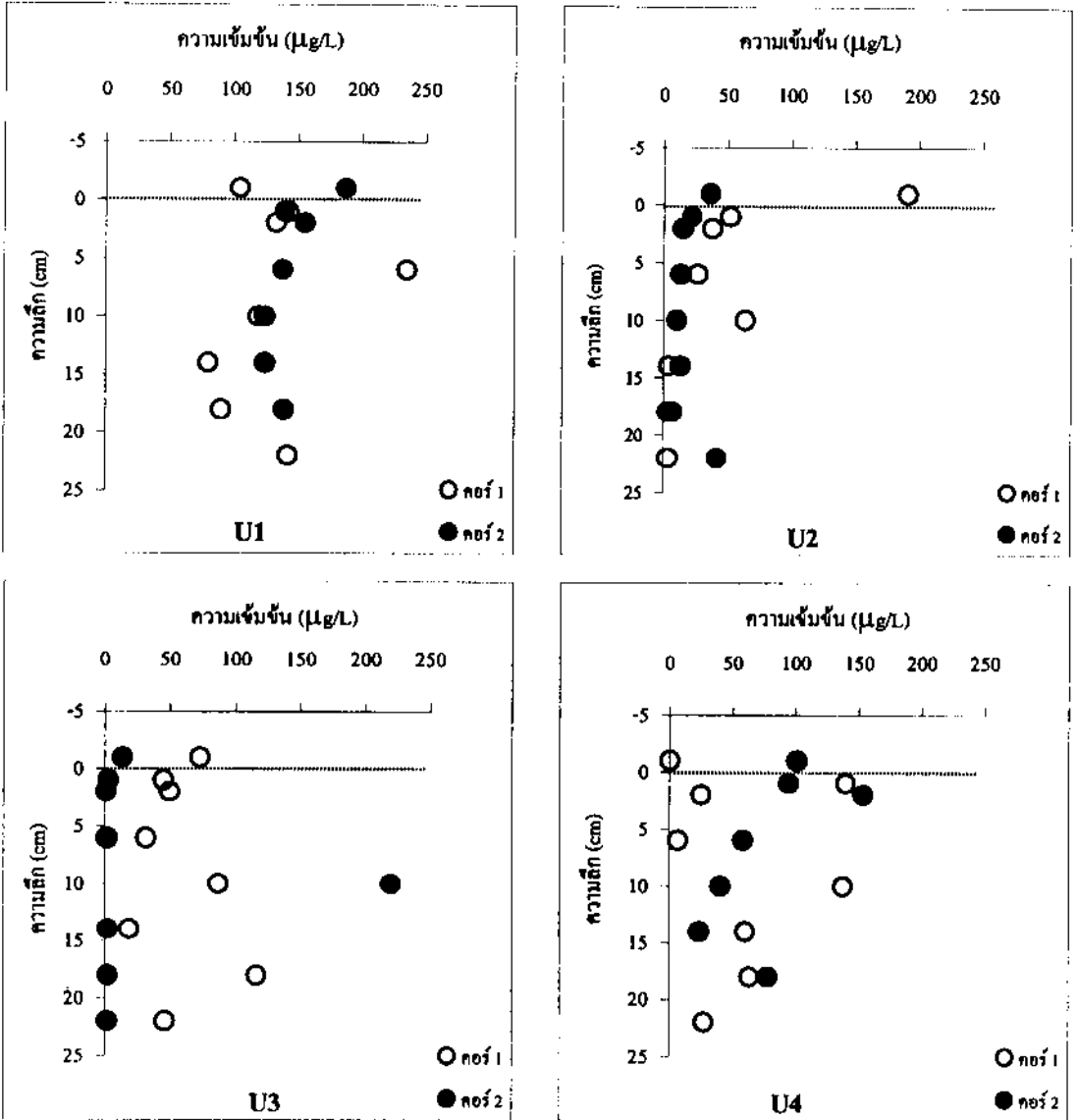
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอน (รูปที่ 3-13) กับบริเวณอื่น ๆ (ดูตาราง 1-3) พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนจากคลองอยู่ตะพาน มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับตะกอนจากบริเวณที่ไม่มีกรปนเปื้อน จึงอาจจะกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของตะกั่วทั้งหมดที่ตรวจพบในตะกอนจากคลองอยู่ตะพานอยู่ในระดับธรรมชาติ ยังไม่ได้มีการปนเปื้อนมากนัก

3.4.4 สังกะสี

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นสังกะสี ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฅ-1 ถึง ฅ-4 (ภาคผนวก ฅ) โดยพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเหนือตะกอน อยู่ในช่วง $0.41 - 190.99 \mu\text{g/L}$ และในน้ำระหว่างตะกอน อยู่ในช่วง $1.25 - 235.50 \mu\text{g/L}$ สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-14

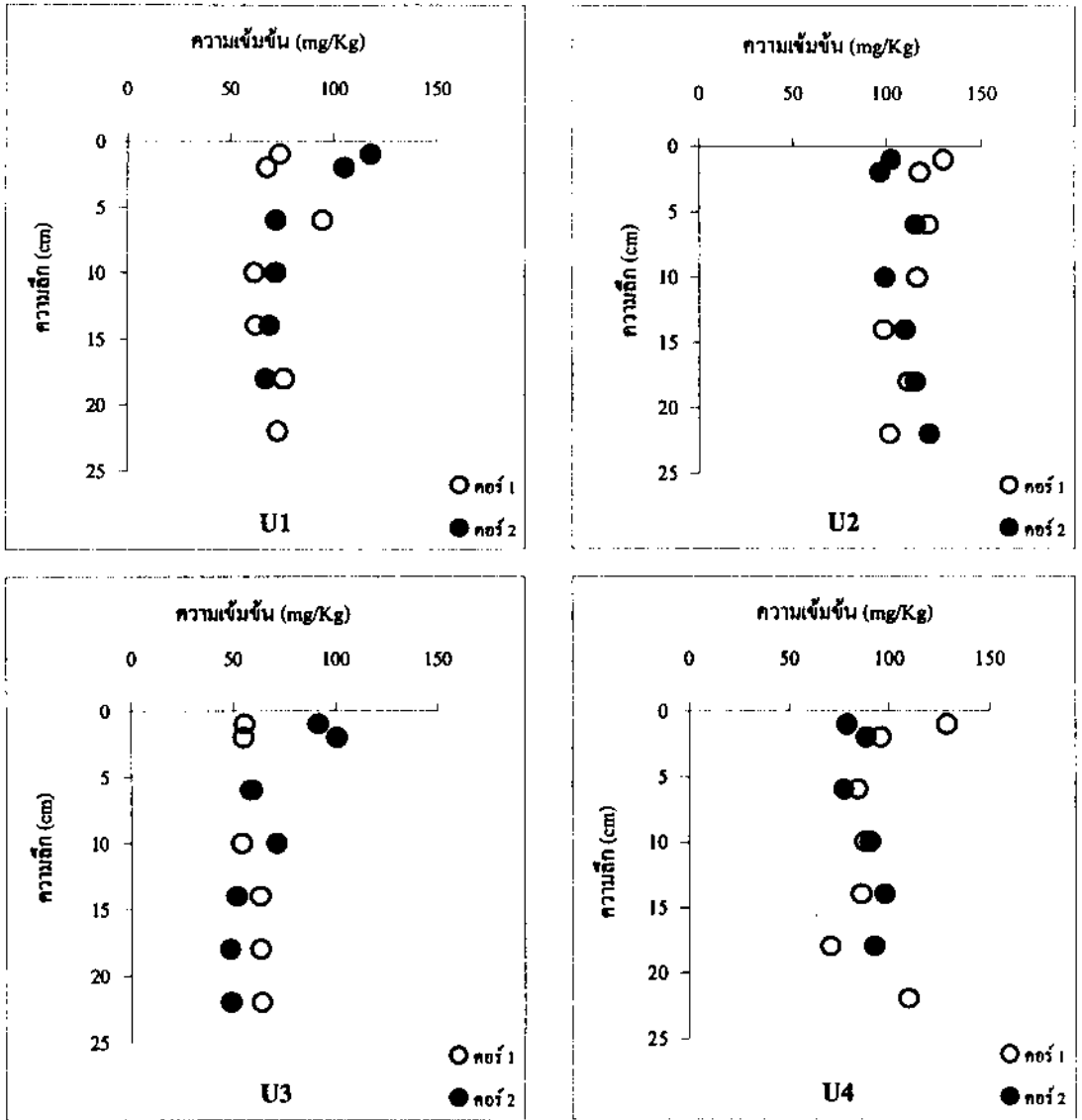
ส่วนความเข้มข้นสังกะสีในตัวอย่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฅ-5 ถึง ฅ-8 (ภาคผนวก ฅ) โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนอยู่ในช่วง $48.58 - 130.28 \text{ mg/Kg}$ สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-14 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของสังกะสีในน้ำเหนือตะกอน และ น้ำระหว่างตะกอน

อภิปรายผล

ความเข้มข้นสังกะสีที่พบในน้ำระหว่างตะกอนในสถานี 1 มากกว่าในสถานี 2 และ 3 ประมาณ 2 – 4 เท่า รูปแบบการแพร่กระจายความเข้มข้นตามความลึกจะค่อนข้างคงที่อยู่ที่ระดับ ประมาณ 120 $\mu\text{g/L}$ ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายแบบนี้คล้ายคลึงกับที่พบในบริเวณ Galveston Bay (Texas) ซึ่งมีค่าความเค็มของน้ำประมาณ 10-19 psu (Warnken *et al.*, 2001)



รูปที่ 3-15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของสังกะสีในตะกอน

ส่วนที่สถานี 2 และ 3 ความเข้มข้นของสังกะสีลดลง และรูปแบบการแพร่กระจายในน้ำระหว่างตะกอน มีแนวโน้มลดลงตามความลึก ส่วนในสถานี 4 มีความเข้มข้นของสังกะสีประมาณ 100 $\mu\text{g/L}$ และมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึก แต่ไม่ชัดเจนนักเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 คอร์จากสถานีเดียวกัน

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนตามระดับความลึกในแต่ละสถานี (รูปที่ 3-15) ไม่ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามก็สังเกตเห็นบริเวณผิวหน้าของบางคอร์มีแนวโน้มว่ามีความเข้มข้นของสังกะสีสูงกว่าตะกอนด้านล่างเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอน (รูปที่ 3-15) กับบริเวณอื่น ๆ (ดูตาราง 1-3) พบว่าความเข้มข้นของสังกะสีในตะกอนจากคลองอู่ตะเภา มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับตะกอนจากบริเวณที่ไม่มีกรปนเปื้อน จึงอาจจะกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของสังกะสีทั้งหมดที่ตรวจพบในตะกอนจากคลองอู่ตะเภาอยู่ในระดับธรรมชาติ ยังไม่ได้มีการปนเปื้อนมากนัก นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสังกะสีในทะเลสาบสงขลาที่รายงานโดย Maneepong *et al.* (1996) ซึ่งใช้วิธีการย่อยตะกอนที่รุนแรงน้อยกว่า แสดงว่าสังกะสีในตะกอนส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในรูปแบบถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างผลึก (ซึ่งจะถูกย่อยออกมาได้ก็ต่อเมื่อใช้ HF เท่านั้น) นั่นคือ มี bioavailability มากกว่า

3.4.5 ทองแดง

ผลการศึกษา

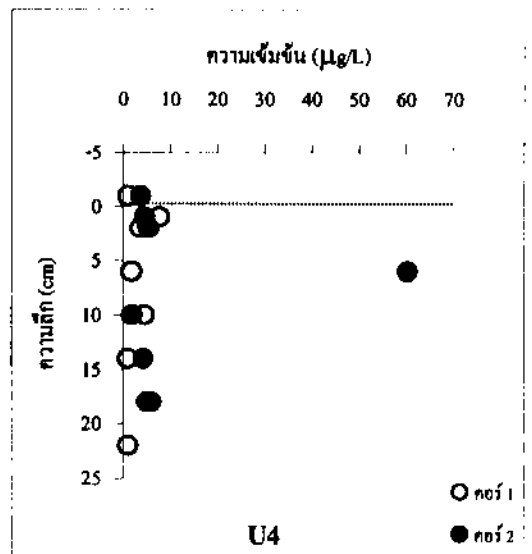
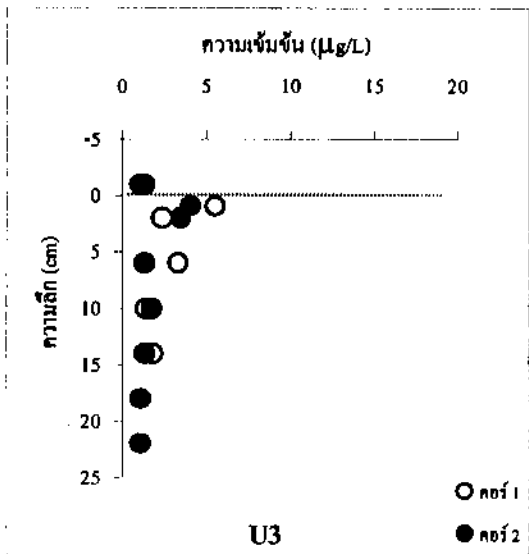
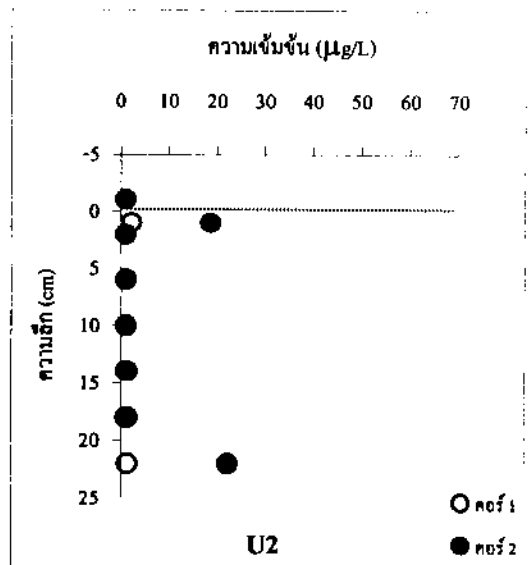
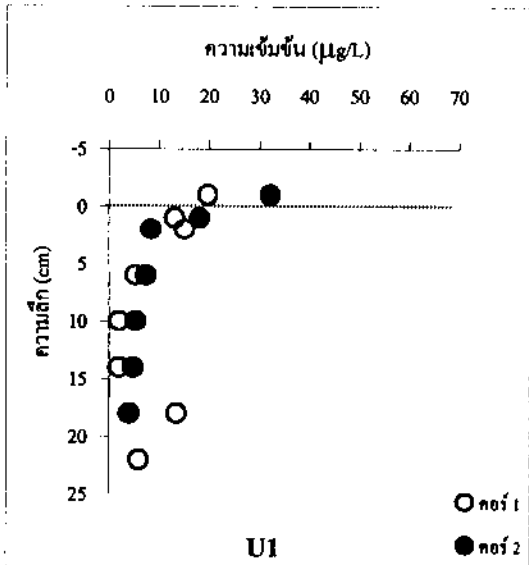
ความเข้มข้นทองแดง ในตัวอย่างน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-1 ถึง ฉ-4 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในน้ำเหนือตะกอน อยู่ในช่วง 1.30 – 32.27 $\mu\text{g/L}$ และในน้ำระหว่างตะกอน อยู่ในช่วง <1.07 – 60.44 $\mu\text{g/L}$ สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-16

ส่วนความเข้มข้นทองแดงในตัวอย่างตะกอน จากสถานีเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี แสดงไว้ในตาราง ฉ-5 ถึง ฉ-8 (ภาคผนวก ฉ) โดยพบว่าความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนอยู่ในช่วง 8.56 – 28.15 mg/Kg สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนตามความลึกของตะกอน แสดงไว้ในรูปที่ 3-17

อภิปรายผล

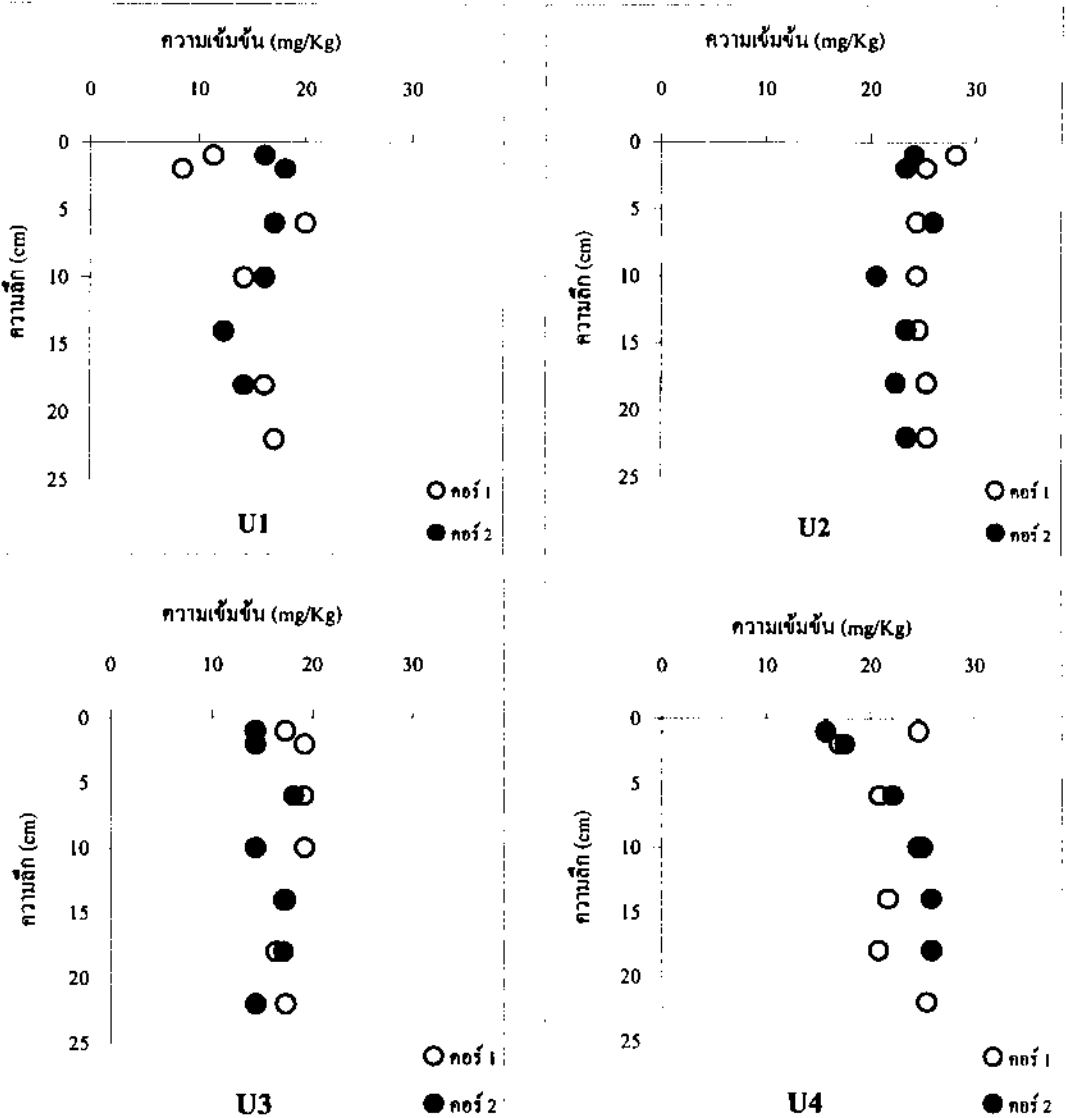
ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอน ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 5-10 $\mu\text{g/L}$ ยกเว้นสถานี 1 จากรูปที่ 3-16 จะเห็นว่าในทุกสถานี ทองแดงมีแนวโน้มการแพร่กระจายความเข้มข้นในน้ำระหว่างตะกอนในรูปแบบลดลงตามความลึก เช่นเดียวกับที่พบในบริเวณ River Weser Estuary (Germany) (Skowronck *et al.*, 1994) กล่าวได้ว่าทองแดงมีพฤติกรรมเป็น scavenged metal (Luoma, 1990)

การที่ความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณผิวหน้าสูงกว่าในระดับที่ลึกลงไป เนื่องจากบริเวณผิวหน้าเป็นชั้นที่มีการถ่ายเทออกซิเจนมาจากมวลน้ำ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิดการปลดปล่อยทองแดงจาก biogenic particles (Gerringa, 1990) ออกสู่น้ำระหว่างตะกอน ซึ่งทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนส่วนนี้จะถ่ายเทไปมากับน้ำเหนือตะกอนได้



รูปที่ 3-16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของทองแดงในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน

น้ำเหนือตะกอนในสถานี 1 (ความเค็ม 13 psu) และน้ำระหว่างตะกอน (โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าตะกอน) มีความเข้มข้นของทองแดงสูงกว่าสถานีอื่นมาก เนื่องจากทองแดงจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคลอไรด์ ซึ่งละลายน้ำได้ดี (Kennish, 1997)



รูปที่ 3-17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของทองแดงในตะกอน

จากตาราง 1-2 จะเห็นว่าความเข้มข้นของทองแดงในน้ำระหว่างตะกอนจากงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าที่พบในแม่น้ำบางปะกง ซึ่งรายงานโดย Cheevapom *et al.* (1995) แต่อยู่ในช่วงเดียวกับบริเวณอื่น ๆ

ในตะกอนจากสถานี 1 และ 3 มีความเข้มข้นของทองแดงประมาณ 10 - 20 mg/Kg และมีค่าประมาณ 20 - 30 mg/Kg ในสถานี 2 และ 4 และทั้ง 4 สถานีไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึก ยกเว้นสถานี 4 ซึ่งไม่ชัดเจนนัก

เช่นเดียวกับกับโลหะส่วนใหญ่ ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนที่พบในงานวิจัยนี้ มีความเข้มข้นมากกว่าที่รายงานไว้ใน Manepong (1996) เนื่องจากวิธีการย่อยตัวอย่างของ Manepong (1996) ไม่รุนแรงเพียงพอที่จะสกัดเอาโลหะซึ่งอยู่ในโครงสร้างออกมา อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของทองแดงในตะกอนจากคลองอยู่ตะเภาก็ไม่ได้มีค่าสูงไปกว่าในบริเวณอื่น ๆ (ดูตาราง 1-3)

3.5 เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาของการย่อยตัวอย่างตะกอน

ทำการทดลองโดยย่อยและวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิง PACS-2 ด้วยกระบวนการเดียวกับการย่อยตัวอย่าง เพื่อศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมา

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในตะกอนอ้างอิง PACS-2 เปรียบเทียบกับค่ารับรองของตะกอนอ้างอิง PACS-2 ดังแสดงไว้ในตาราง 3-6

ตาราง 3-6 ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิก-สเปกโตรสโคปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

โลหะ	ค่ามาตรฐาน	ย่อยครั้งที่ 1		ย่อยครั้งที่ 2	
		ความเข้มข้น	% Recovery	ความเข้มข้น	% Recovery
เหล็ก (g/Kg)	40.9 ± 0.6	38.64	94.47	30.54	74.67
แมงกานีส (mg/Kg)	440.0 ± 19.0	398.42	90.55	395.20	89.82
ตะกั่ว (mg/Kg)	183.0 ± 8.0	141.24	77.18	120.46	65.83
สังกะสี (mg/Kg)	364.0 ± 23.0	340.19	93.46	389.66	107.05
ทองแดง (mg/Kg)	310.0 ± 12.0	294.72	95.07	282.06	90.99

อภิปรายผล

จากผลการศึกษา พบว่าเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาของทุกโลหะอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ยกเว้นตะกั่วที่มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเกิดเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างมากเกินไปสำหรับตะกั่วจึงเกิดการสูญเสีย

3.6 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนโดยเทคนิคอะตอมมิกสเปกโตรสโคปี (AAS) และวิธีอินดักทีฟฟลิคท์เฟลพลาสมาออปติมิสชันสเปกโตรสโคปี (ICP – OES)

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์ตะกอนมาตรฐาน PACS-2 ด้วยเทคนิคอะตอมมิกสเปกโตรสโคปี และเทคนิคอินดักทีฟฟลิคท์เฟลพลาสมาออปติมิสชันสเปกโตรสโคปี แสดงไว้ในตาราง 3-7

ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินดักทีฟฟลิคท์เฟลพลาสมาออปติมิสชันสเปกโตรสโคปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน แสดงในตาราง 3-8

ตาราง 3-7 ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 เปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกสเปกโตรสโคปี (AAS) และเทคนิคอินดักทีฟฟลิคท์เฟลพลาสมาออปติมิสชันสเปกโตรสโคปี (ICP – OES)

โลหะ	เทคนิคที่ใช้	
	AAS	ICP-OES
เหล็ก (g/Kg)	38.64	49.70
แมงกานีส (mg/Kg)	398.43	391.05
ตะกั่ว (mg/Kg)	141.24	155.33
สังกะสี (mg/Kg)	340.19	376.70
ทองแดง (mg/Kg)	294.72	287.3

ตาราง 3-8 ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินดักทีฟลิคัทเพิลพลาสมาออปติมิสชันสเปคโตรสโคปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

PACS-2	มาตรฐาน	ICP-OES	% Recovery
เหล็ก (g/Kg)	40.9 ± 0.6	49.70 ± 0.17	121.51
แมงกานีส (mg/Kg)	440.0 ± 19.0	391.05 ± 5.44	88.87
ตะกั่ว (mg/Kg)	183.0 ± 8.0	155.33 ± 3.68	84.70
สังกะสี (mg/Kg)	364.0 ± 23.0	376.70 ± 0.96	103.47
ทองแดง (mg/Kg)	310.0 ± 12.0	287.3 ± 1.66	92.68

อภิปรายผล

ค่าความเข้มข้นของโลหะที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสอง (จากตาราง 3-7 และ 3-8) มีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกัน ยกเว้นตะกั่ว ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย ICP – OES ได้ค่าน้อย ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างตะกอนมากเกินไปสำหรับตะกั่ว จึงเกิดการสูญหายได้