สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบาญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการรูป	(13)
บทที่	
1 บทนำและตรวจเอกสาร	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.3 คลองอู่ตะเภา	3
1.4 เอสทูรี	4
1.5 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ	6
1.6 น้ำระหว่างตะกอน	11
1.7 การแยกตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนออกจากตะกอน เพื่อหาความเข้มข้นของโลหะหนัก	12
1.8 วัตถุประสงค์	14
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
2 วิธีการวิจัย	15
2.1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โลหะ	15
2.1.1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์/เฟลม	15
2.1.2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์/แกรไฟต์เฟอแนส	15
2.2. สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	16
2.3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
2.4. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอน	17
2.5. อุปกรณ์สำหรับแยกตัวอย่างตะกอน	17

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

2.6. ตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในกระโจมไนโตรเจน 19

2.6.1. การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายภายในกระโจม 19

2.6.2. การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในอากาศภายในกระโจม 20

2.7. สถานีเก็บตัวอย่าง 20

2.8. คุณภาพน้ำภาคสนาม 21

2.9. วิธีการเก็บตะกอน 22

2.10. การตัดแยกตัวอย่าง 23

2.11. การเตรียมตัวอย่างตะกอนเพื่อวิเคราะห์ 25

2.11.1. การทำให้แห้ง (Freeze drying) 25

2.11.2. แยกอนุภาคทรายออกจากตัวอย่าง 25

2.12. การย่อยตัวอย่างตะกอน 26

2.13. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในตัวอย่าง 27

2.13.1. เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี สำหรับการวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง 27

2.13.1.1. ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง 27

2.13.1.2. ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Detection limit) 28

2.13.1.3. ศึกษาความไววิเคราะห์ (Sensitivity) 28

2.13.2. เทคนิคแกรไฟต์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี สำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง 28

2.13.2.1. การหาอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับขั้นตอนต่าง ๆ 28

2.13.2.2. ศึกษาการใช้โมดิฟายเออร์ (Modifier) ที่เหมาะสมของตะกั่วในน้ำระหว่างตะกอน 29

2.13.2.3. ศึกษาขีดต่ำสุดในการตรวจวัด 29

2.13.2.4. ศึกษาความไววิเคราะห์ 29

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

2.14. ศึกษาความถูกต้องในการย่อยตัวอย่างตะกอน 29

2.15. เปรียบเทียบเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ระหว่างเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน-สเปคโตรโฟโตเมตรี (AAS) และเทคนิคอินดักทีพลีคัพเพิล-พลาสมาอะตอมมิกออปติคัลอิมิส-ชันสเปคโตร-สโคปี (ICP-OES) 30

3 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล 31

3.1 ปริมาณออกซิเจนในกระโจมไนโตรเจน 31

3.1.1 ปริมาณออกซิเจนละลายภายในกระโจม 31

3.1.2 ปริมาณออกซิเจนในอากาศในกระโจม 32

3.1.3 สรุปผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของกระโจม 33

3.2 ข้อมูลภาคสนาม 33

3.2.1 คุณภาพน้ำบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง 33

3.2.2 ข้อมูลทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่างตะกอน 34

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ 36

3.3.1 เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี 36

3.3.1.1 ช่วงความเป็นเส้นตรง 36

3.3.1.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด 37

3.3.1.3 ความไววิเคราะห์ 37

3.3.2 เทคนิคแกรไฟต์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี 37

3.3.2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนต่าง ๆ 37

3.3.2.2 สารโมดิฟายเออร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตะกั่ว 42

3.3.2.3 ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด 43

3.3.2.4 ความไววิเคราะห์ 44

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
3.4	ความเข้มข้นของโลหะในน้ำเหนือตะกอน น้ำระหว่างตะกอน และตะกอน ตามความลึก	44
	3.4.1 เหล็ก	44
	3.4.2 แมงกานีส	48
	3.4.3 ตะกั่ว	51
	3.4.4 สังกะสี	54
	3.4.5 ทองแดง	57
3.5	เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาของการย่อยตัวอย่างตะกอน	60
3.6	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนโดยเทคนิคอะตอมมิกสเปคโตร-สโคปี (AAS) และวิธีอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาออปติอิมิสชันสเปคโตร-สโคปี (ICP – OES)	61
4 บทสรุป		63
เอกสารอ้างอิง		67
ภาคผนวก ก		74
ภาคผนวก ข		76
ภาคผนวก ค		78
ภาคผนวก ง		79
ภาคผนวก จ		81
ภาคผนวก ฉ		90
ประวัติผู้เขียน		98

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	ภาวะฟิสิโคเคมิกัลของน้ำบริเวณปากคลองอู่ตะเภา	5
1-2	ตารางความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสีและทองแดง ในน้ำระหว่างตะกอนจากบริเวณต่าง ๆ	7
1-3	ตารางความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสีและทองแดง ในตะกอนจากบริเวณต่าง ๆ	8
3-1	ข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนาม ณ สถานีเก็บตัวอย่าง	34
3-2	สภาพทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่าง	35
3-3	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ตะกั่วในตัวอย่าง ด้วยเทคนิค แกรไฟต์เฟอแนส-อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี	39
3-4	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สังกะสีในตัวอย่าง ด้วยเทคนิค แกรไฟต์เฟอแนส-อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี	40
3-5	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ทองแดงในตัวอย่าง ด้วยเทคนิค แกรไฟต์เฟอแนส-อะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตเมตรี	42
3-6	ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 วิเคราะห์ด้วย เทคนิคอะตอมมิกสเปคโตรสโคปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน	60
3-7	ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 เปรียบเทียบระหว่าง การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอะตอมมิกสเปคโตรสโคปี (AAS)และเทคนิค อินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาออปติอิมิสชันสเปคโตรสโคปี (ICP – OES)	61
3-8	ความเข้มข้นของโลหะในตะกอนมาตรฐาน PACS-2 วิเคราะห์ด้วย เทคนิคอินดักทีฟลีคัพเพิลพลาสมาออปติอิมิสชันสเปคโตรสโคปี เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน	62
4-1	ช่วงความเข้มข้นของโลหะต่าง ๆ ที่ตรวจพบในตัวอย่างตะกอนจากคลอง อู่ตะเภา	64
ข-1	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่กำลังต่าง ๆ	75
ค-1	ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ	77

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ง-1	ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ หลังจากผ่านก๊าซไนโตรเจนลงไปในน้ำซึ่งตั้งอยู่ภายในกระโจม ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 30 นาที (หน่วยเป็น mg/L)	78
ง-2	ปริมาณออกซิเจนในอากาศภายในกระโจมไนโตรเจน ณ เวลาต่าง ๆ กัน (หน่วยเป็น % ออกซิเจน)	79
จ-1	เงื่อนไขที่ใช้ปรับตั้งเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง	80
จ-2	การดูดกลืนแสงในแบลงค์สำหรับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680	81
จ-3	ความไวในการวิเคราะห์สำหรับเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680	82
จ-4	เงื่อนไขในการตั้งอุณหภูมิ เวลา และอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นเถ้า และขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้เป็นไออะตอม	82
จ-5ก	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นเถ้า	83
จ-5ข	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นไออะตอม	83
จ-6ก	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นเถ้า	84
จ-6ข	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นไออะตอม	84

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
จ-7ก	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นเถ้า	85
จ-7ข	ค่าการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ ในการทำให้เป็นไออะตอม	85
จ-8	การดูดกลืนแสงในรีเอเจนต์แบลงค์สำหรับตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680G	86
จ-9	ความไวในการวิเคราะห์สำหรับตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องแกรไฟต์เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโต-มิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA-680G	88
ฉ-1	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน ณ สถานี 1 ปากคลองอู่ตะเภาต่อกับทะเลสาบสงขลาตอนล่าง	89
ฉ-2	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน ณ สถานี 2 วัดท่าเมรุ (หน้าสงขลาลากูน่า)	90
ฉ-3	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน ณ สถานี 3 วัดคูเต่า	91
ฉ-4	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอน ณ สถานี 4 วัดนารังนก	92
ฉ-5	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในตะกอน ณ สถานี 1 ปากคลองอู่ตะเภาต่อกับทะเลสาบสงขลาตอนล่าง	93
ฉ-6	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในตะกอน ณ สถานี 2 วัดท่าเมรุ (หน้าสงขลาลากูน่า)	94
ฉ-7	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในตะกอน ณ สถานี 3 วัดคูเต่า	95
ฉ-8	ความเข้มข้นของเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง ในตะกอน ณ สถานี 4 วัดนารังนก	96

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1-4	แสดงที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณคลองอู่ตะเภา	4
1-5	กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ	9
1-6	แสดงการกำจัดโลหะหนักโดยสิ่งมีชีวิต	9
1-7	(ก) โครงสร้างของแร่ดินเหนียวซึ่งมีองค์ประกอบของ Si และAl (ข) การดูดซับของโลหะหนักที่ผิวของแร่ดินเหนียว	10
1-8	กระโจมไนโตรเจนที่มีขายในเชิงพาณิชย์	13
2-1	ท่อเก็บตัวอย่างตะกอนแบบกด (Push Corer)	17
2-2	กระโจมไนโตรเจนที่สร้างขึ้นเองอย่างง่าย ๆ	18
2-3	แสดงโต๊ะตัดแยกตัวอย่างตะกอน	18
2-4	การจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำภายในกระโจม	19
2-5	แสดงการวัดปริมาณออกซิเจนในกระโจมไนโตรเจนโดยใช้หัววัดตรวจติดตาม	20
2-6	แสดงลักษณะทางกายภาพของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 4 สถานี	21
2-7	แสดงการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนามด้วยเครื่อง HORIBA รุ่น U-22	22
2-8	ลักษณะตะกอนในคอร์ตัวอย่าง และการเคลื่อนย้ายคอร์ตัวอย่าง	22
2-9	การกรองน้ำเหนือตะกอนภายในกระโจมไนโตรเจน	23
2-10	แสดงขั้นตอนการตัดแยกตัวอย่างตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน	24
2-11	แสดงขั้นตอนการนำตะกอนเข้าปั่นเหวี่ยง	25
2-12	น้ำระหว่างตะกอนและตะกอนที่ได้หลังการปั่นเหวี่ยง	25
2-13	การบรรจุภาชนะเทฟลอนที่มีตัวอย่างตะกอนและกรด ลงในหม้ออัดความดัน และเครื่องไมโครเวฟ ก่อนทำการย่อยตัวอย่าง	26
3-9	ปริมาณออกซิเจนละลายในกระโจม ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่กระโจม	31
3-10	ปริมาณออกซิเจนในอากาศในกระโจม ณ เวลาต่างๆ เมื่อผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่กระโจม	32
3-11	ช่วงการตอบสนองเป็นเส้นตรงของเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง	36

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-12	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมตะกั่วกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม	38
3-13	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมสังกะสีกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม	40
3-14	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของไออะตอมทองแดงกับ (ก) อุณหภูมิในการทำให้เป็นเถ้า และ (ข) อุณหภูมิที่ทำให้เป็นไออะตอม	41
3-15	ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงของตะกั่วในตัวอย่างที่ใส่และไม่ใส่โมดิฟายเออร์ (ก) 3% แอมโมเนียมออกซาเลต และ (ข) 0.15% พัลลาเดียม-ไนเตรต + 0.1% แมกนีเซียมไนเตรต	43
3-16	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของเหล็กในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน	45
3-17	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของเหล็กในตะกอน	46
3-18	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของแมงกานีสในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน	49
3-19	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของแมงกานีสในตะกอน	50
3-20	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของตะกั่วในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน	52
3-21	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของตะกั่วในตะกอน	53
3-22	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของสังกะสีในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน	55
3-23	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของสังกะสีในตะกอน	56
3-24	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของทองแดงในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอน	58
3-25	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความลึกของทองแดงในตะกอน	59
จ-1	กราฟคาลิเบรชันของ (ก) ตะกั่ว (ไม่มีโมดิฟายเออร์), (ข) ตะกั่ว (มีโมดิ-ฟายเออร์), (ค) สังกะสี และ (ง) ทองแดง วิเคราะห์ด้วยเครื่องแกรไฟต์-เฟอแนสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	87