สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(13)
บทที่	
1 บทนำและตรวจเอกสาร	1
1.1. บทนำต้นเรื่อง	1
1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.3. สารอาหารปริมาณน้อย	3
1.4. การปนเปื้อนของสารอาหารปริมาณน้อยในแหล่งน้ำ	3
1.5. เอสทูรี	6
1.6. น้ำระหว่างอนุภาคตะกอน	6
1.7. การแลกเปลี่ยนสารระหว่างรอยต่อของน้ำกับตะกอน	7
1.8. รูปแบบทางเคมีของสารอาหารอนินทรีย์	8
1.8.1 ไนโตรเจน	8
1.8.2 ฟอสฟอรัส	9
1.9. การเก็บตัวอย่างน้ำระหว่างอนุภาคตะกอน	10
1.10. การวิเคราะห์หาสารอาหารปริมาณน้อย	12
1.10.1 การวิเคราะห์ไนไตรต์และไนเตรต	14
1.10.2 การวิเคราะห์แอมโมเนีย	15
1.10.3 การวิเคราะห์ฟอสเฟต	16
1.11. ความสัมพันธ์ของปริมาณสารอาหารในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึก	17
1.12. วัตถุประสงค์	17
1.13. ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	19
1.14. ขอบเขตงานวิจัย	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2	วิธีการวิจัย	20
	2.1. การจัดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง	20
	2.1.1. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารด้วยเทคนิคการไหลแบบต่อเนื่อง	20
	2.1.2. วิธีการใช้เครื่องมือ	21
	2.2. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิด	21
	2.2.1. ปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม (total oxidised nitrogen : TON) และไนไตรต์	21
	2.2.1.1. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง (sampling time) และล้างสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง (washing time)	21
	2.2.1.2 การศึกษาหาความเข้มข้นรีดิวซิงค์เอเจนต์ (copper hydrazine) ที่เหมาะสม	22
	2.2.2. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย	23
	2.2.3 ปริมาณฟอสเฟต	24
	2.2.3.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่างและล้างสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละครั้ง	24
	2.2.3.2 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา	25
	2.3 ศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ความถูกต้อง (accuracy) และค่าความแม่นยำ (precision)ของสารอาหารแต่ละชนิด	25
	2.3.1. ขีดจำกัดการตรวจวัด	25
	2.3.2. ช่วงความเป็นเส้นตรง	25
	2.3.3 ความถูกต้อง	25
	2.3.4 ความแม่นยำ	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2 (ต่อ)		
	2.4. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการเก็บตัวอย่างตะกอนในภาคสนาม	26
	2.4.1. วัดคุณภาพน้ำภาคสนาม	26
	2.4.2. การเก็บตัวอย่างตะกอน	26
	2.5. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการแยกตัวอย่างน้ำเหนือตะกอนกับน้ำระหว่างตะกอน	28
	2.5.1. เตรียมเครื่องมือ	28
	2.5.2 การตัดแบ่งและแยกตัวอย่างแต่ละชั้นความลึก	28
	2.5.3 การเก็บรักษาตัวอย่าง	31
	2.6. การศึกษาเปรียบเทียบ วิธีการแยกตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนออกจากตะกอน ภายใต้บรรยากาศปกติ (มีออกซิเจน) และบรรยากาศไนโตรเจน (ในกระโจมไนโตรเจน)	31
	2.7. พื้นที่ศึกษา	32
	2.8. การศึกษาวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิดตามระดับความลึก	33
	2.9 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำเหนือตะกอนและน้ำระหว่างตะกอน	34
	2.10. การวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน	34
3 ผลการทดลอง และอภิปรายผล		35
	3.1. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิด	35
	3.1.1. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม	35
	3.1.1.1. เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง	35
	3.1.1.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง	37
	3.1.1.3 ความเข้มข้นของรีดิวซิงค์เอเจนต์ที่เหมาะสม	37
	3.1.2. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย	38
	3.1.2.1 เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง	38
	3.2.2.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3 (ต่อ)		
	3.1.3. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ฟอสเฟต	40
	3.1.3.1 เวลาที่เหมาะสมในการดูดตัวอย่าง	40
	3.1.3.2. เวลาที่เหมาะสมในการล้าง	41
	3.1.3.3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา	41
	3.2 ขีดจำกัดการตรวจวัด ช่วงความเป็นเส้นตรง ความถูกต้อง และความแม่นยำของการวิเคราะห์	42
	3.2.1. ขีดจำกัดการตรวจวัด	42
	3.2.2. ช่วงความเป็นเส้นตรง	42
	3.2.3. ความถูกต้อง	44
	3.2.4. ความแม่นยำ	44
	3.3 การศึกษาเปรียบเทียบ วิธีการแยกตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนออกจากตะกอน ภายใต้บรรยากาศปกติ (มีออกซิเจน) และบรรยากาศไนโตรเจน (ในกระโจมไนโตรเจน)	44
	3.3.1. แอมโมเนีย	45
	3.3.2 ฟอสเฟต	46
	3.4. ข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนาม และลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง	48
	3.5. สารอาหารปริมาณน้อยแต่ละชนิดในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก	50
	3.5.1. ไนไตรต์ และไนเตรต	50
	3.5.2. แอมโมเนีย	52
	3.5.3 ฟอสเฟต	54
	3.6. ปริมาณสารอาหารปริมาณน้อยในน้ำระหว่างตะกอนเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ของโลก	56
	3.7. ปัจจัยที่มีผลต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอาหารตามระดับความลึก	57
	3.7.1. เหล็ก	57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3 (ต่อ)

3.7.2. สารอินทรีย์ประเภทออกซิไดซ์ง่าย 59

3.8. ความสัมพันธ์ของแอมโมเนีย ฟอสเฟต และเหล็กในน้ำระหว่างตะกอน สถานีต่าง ๆ 60

3.9. ความสัมพันธ์ของแอมโมเนีย ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่ายใน สถานีต่าง ๆ 62

3.9. สัดส่วนมวลของสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสใน น้ำเหนือตะกอน 63

4 บทสรุปผลการทดลอง 64

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก ก 76

ภาคผนวก ข 83

ภาคผนวก ค 88

ภาคผนวก ง 89

ภาคผนวก จ 92

ภาคผนวก ฉ 93

ภาคผนวก ช 94

ภาคผนวก ซ 95

ประวัติผู้เขียน 103

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	คุณภาพน้ำเฉลี่ยในทะเลสาบสงขลาตอนล่างในปี พ.ศ. 2534-2535 และ พ.ศ. 2540-2541	4
1-2	คุณภาพน้ำบางประการในบริเวณใกล้ปากคลองอู่ตะเภา	5
1-3	ความเร็วรอบ เวลา และชนิดแผ่นกรอง ที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างน้ำระหว่างตะกอนโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง	11
1-4	วิธีการวิเคราะห์รีแอคทีฟฟอสเฟต ไนเตรต ไนไตรต์ และแอมโมเนีย ในน้ำระหว่างตะกอน	13
1-5	ปริมาณสารอาหารอนินทรีย์แต่ละชนิดในน้ำระหว่างตะกอนบริเวณต่าง ๆ	18
3-1	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม เมื่อเวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน	36
3-2	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม เมื่อใช้ความเข้มข้นของรีดิวซิงค์เอเจนต์ต่างกัน	37
3-3	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนีย เมื่อใช้เวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน	38
3-4	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต เมื่อใช้เวลาในการดูดตัวอย่างต่างกัน	40
3-5	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต เมื่อใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่างกัน	41
3-6	ขีดจำกัดการตรวจวัดของการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิด	42
3-7	ค่าการตอบสนองของปริมาณแอมโมเนีย (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	45
3-8	ค่าการตอบสนองของปริมาณฟอสเฟต (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	47
3-9	ข้อมูลทางกายภาพและเคมีบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	48
3-10	ข้อมูลทางกายภาพและลักษณะของตัวอย่าง	49
3-11	ความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น µmol/L)	50
3-12	ความเข้มข้นของไนเตรตในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น µmol/L)	51

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3-13	ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น µmol/L)	52
3-14	ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น µmol/L)	55
3-15	ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเหนือตะกอน และในน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น µmol/L)	57
3-16	ปริมาณสารอินทรีย์ประเภทออกซิไดซ์ง่ายในจะกอนตามระดับความลึก (หน่วยเป็น %)	59
3-17	สัดส่วนมวลของสารอาหารอนินทรีย์ไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำเหนือตะกอน	63
จ-1	ค่าการตอบสนองของสัญญาณเหนือแบลงค์ของแอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต คือ 0.25, 0.025, และ 0.10 mgN/L ตามลำดับ และสำหรับฟอสเฟต คือ 0.025 mgN/L (หรือเท่ากับ 20.0, 1.79, 7.14 และ 0.81 µmol/L) แต่ละชนิด	92
ฉ-1	ค่าความถูกต้องจากการวิเคราะห์สารอาหารแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นเดียวกัน 3 ซ้ำ	93
ซ-1	ค่าการตอบสนอง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ %RSD ของการวิเคราะห์แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และสำหรับฟอสเฟต ที่ความเข้มข้น 710, , 14.29, 142.96 และ 322.89 µmol/L ชนิดละ 10 ซ้ำ	94
ซ-1	ค่าการตอบสนองของปริมาณแอมโมเนีย (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	95
ซ-2	ตารางความแปรปรวนของผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย	99
ซ-3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์แอมโมเนียที่ระดับความลึก 7 ระดับและการเตรียมตัวอย่างภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน	99
ซ-4	ค่าการตอบสนองของปริมาณฟอสเฟต (mV) ในน้ำระหว่างตะกอน จากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	100
ซ-5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ฟอสเฟตที่ระดับความลึก 7 ระดับและการเตรียมตัวอย่างภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน	101

รายการรูป

รูปที่		หน้า
2-1	เครื่องมือวิเคราะห์สารอาหารปริมาณน้อยแบบการไหลแบบต่อเนื่อง	20
2-2	ระบบการไหลของตัวอย่างและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์ออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม	22
2-3	ระบบการไหลของตัวอย่างและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนีย	23
2-4	ระบบการไหลของตัวอย่างและรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์ฟอสเฟต	24
2.5	การวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม	27
2-6	คอร์ตัวอย่างตะกอนที่บรรจุในกล่องไม้สำหรับการเคลื่อนย้าย	27
2-7	ลักษณะคอร์ตัวอย่างตะกอนและน้ำเหนืออนุภาคตะกอน	27
2-8	การแบ่งชั้นตะกอนตามระดับความลึก	28
2-9	อุปกรณ์และวิธีการกรองน้ำเหนืออนุภาคตะกอน	29
2-10	การแยกชั้นตะกอนตามระดับความลึก ภายในกระโจมไนโตรเจน	29
2-11	ลักษณะตะกอนและน้ำระหว่างตะกอนหลังการหมุนเหวี่ยง	30
2-12	การกรองน้ำระหว่างตะกอน ภายในกระโจมไนโตรเจน	30
2-13	อุปกรณ์และวิธีการกรองน้ำระหว่างอนุภาคตะกอน	31
2-14	สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนในคลองตะกอน	33
3-1	ลักษณะพีคที่ได้ เมื่อใช้เวลาในการดูดและการล้างตัวอย่างที่เหมาะสม	35
3-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณออกซิไดซ์ไนโตรเจนรวม	36
3-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนีย	39
3-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดตัวอย่าง กับค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟต	41
3-5	ช่วงความเป็นเส้นตรงของไนไตรต์	43
3-6	ช่วงความเป็นเส้นตรงของไนเตรต	43

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-7	ช่วงความเป็นเส้นตรงของแอมโมเนีย	43
3-8	ช่วงความเป็นเส้นตรงของฟอสเฟต	44
3-9	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกจากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	46
3-10	ค่าการตอบสนองต่อปริมาณฟอสเฟตในน้ำระหว่างตะกอนตามความลึกจากตัวอย่างที่เตรียมในและนอกกระโจมไนโตรเจน	47
3-11	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน	53
3-12	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสเฟตในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน	56
3-13	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กในน้ำเหนือตะกอน และน้ำระหว่างตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน	58
3-14	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่ายในตะกอนตามระดับความลึกของตะกอน	60
3-15	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับเหล็กในน้ำระหว่างตะกอนในสถานีต่าง ๆ	61
3-16	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมโมเนีย และฟอสเฟตกับสารอินทรีย์ออกซิไดซ์ง่ายตะกอนในสถานีต่าง ๆ	62
ก-1	ฟองอากาศสลับกับสารละลายในระบบการไหลแบบ segmented flow	76
ก-2	การดึงฟองอากาศออกจากเซลล์ของตัวตรวจวัด	78
ก-3	ลักษณะเซลล์ของระบบการไหลที่บรรจุในส่วนของการตรวจวัด	82