



ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของปรอทและสารหนูในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณอ่าวปากพนัง
ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา

**Factors Influencing on Mercury and Arsenic Levels in Surficial Sediments of
Pak-Phanang Bay, Inner Songkhla Lake and Off Songkhla Lake Mouth**

ชญชนก จันทร์คง

Thanchanok Junkong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Environmental Management**

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของปรอทและสารหนูในตะกอนดินผิวน้ำบริเวณ
อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา
ผู้เขียน นางธัญชนก จันทร์คง
สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

..... กรรมการ
(ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพดี ชัยสุขสันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของปรอทและสารหนูในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณ อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา
ผู้เขียน	นางรัชชนก จันทร์คง
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในตะกอนดินผิวหน้าจาก 3 พื้นที่ โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าจากอ่าวปากพนัง 15 สถานี ทะเลสาบสงขลาตอนใน 9 สถานี และนอกปากทะเลสาบสงขลา 16 สถานี ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝนของปี พ.ศ. 2550 ด้วย Birge-Ekman Grab เพื่อวิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาคตะกอนดิน คาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต ปรอท และสารหนู ในตะกอนดิน

ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างตะกอนดินทุกสถานีจากทะเลสาบสงขลาตอนในเป็นทรายแป้งปนดินเหนียว ลักษณะการกระจายอนุภาคของตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนในแต่ละสถานีและระหว่างฤดูกาลไม่แตกต่างกัน มีแคลเซียมคาร์บอเนตต่ำที่สุด แต่มีคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าอีก 2 พื้นที่ถึงสองเท่า ตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลามีทรายเป็นองค์ประกอบมากและมีความแปรปรวนของขนาดอนุภาคในระหว่างสถานีและระหว่างฤดูกาลสูง ส่วนตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ส่วนใหญ่เป็นทรายแป้งปนดินเหนียว เว้นแต่สถานีบริเวณปลายแหลมตะลุมพุกเท่านั้นที่มีอนุภาคทรายมาก

ในฤดูแล้งและฤดูฝน ตะกอนดินจากอ่าวปากพนังมีปรอทเฉลี่ย 0.026 ± 0.013 และ 0.023 ± 0.010 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ และมีสารหนูเฉลี่ย 8.9 ± 3.5 และ 6.0 ± 1.9 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ ตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนในมีปรอทเฉลี่ย 0.051 ± 0.036 และ 0.047 ± 0.026 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ และมีสารหนูเฉลี่ย 3.2 ± 0.7 และ 5.2 ± 2.4 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ ส่วนตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลามีปรอทเฉลี่ย 0.033 ± 0.022 และ 0.026 ± 0.015 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ และมีสารหนูเฉลี่ย 6.9 ± 3.8 และ 8.3 ± 3.4 มก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ

เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นที่เสนอไว้ในข้อเสนอแนวทางคุณภาพตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง (PCD, 2006) ซึ่งเสนอค่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผล (Effect Range Low; ERL) และเกณฑ์ชั้นกลางที่จะส่งผล (Effect Range Median; ERM) สำหรับปรอท เท่ากับ 0.15 และ 0.71 มกค./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ และสำหรับสารหนู เท่ากับ 8.2 และ 70 มกค./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ พบว่าระดับปรอทในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา มีค่าต่ำกว่าค่า ERL ส่วนระดับสารหนูในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนในมีค่าต่ำกว่าค่า ERL เล็กน้อย ขณะที่ตะกอนดินจากอ่าวปากพนังและนอกปากทะเลสาบสงขลามีค่าสูงกว่า ERL แต่ยังต่ำกว่าค่า ERM

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าปัจจัยที่ควบคุมการสะสมของปรอทและสารหนูในตะกอนดิน คือ อนุภาคตะกอนขนาดเล็ก และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

Thesis Title	Factors Influencing on Mercury and Arsenic Levels in Surficial Sediments of Pak–Phanang Bay, Inner Songkhla Lake and Off Songkhla Lake Mouth
Author	Mrs. Thanchanok Junkong
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2009

Abstract

This research was aimed to indicate factors influencing on mercury (Hg) and arsenic (As) levels in surficial sediments of 3 areas. Bottom sediments of 15 stations from Pak–Phanang Bay (PPB), 9 stations from Inner Songkhla Lake (inner-SKL) and 16 stations from Off Songkhla Lake Mouth (off-SKL-mouth) were collected in wet and dry season in year 2007 using Birge–Ekman Grab. Distribution of grain size, organic carbon, calcium carbonate, mercury and arsenic contents in sediments were analyzed.

The results showed that sediments from all inner-SKL stations were clayey silt. Similar grain size distribution pattern between stations and seasons was observed. The sediments of inner-SKL contained organic carbon 2-fold higher than the other two areas, while calcium carbonate was lowest. The sediments of off-SKL-mouth were sandy and highly variation in particle size among stations and seasons. The sediments of PPB were mainly clayey silt except stations near Laem Taloompuk where contained high sand particles.

Average Hg levels in PPB sediments were 0.026 ± 0.013 and 0.023 ± 0.010 $\mu\text{g/g}$ dry weight in wet and dry seasons, respectively, whereas As levels were 8.9 ± 3.5 and 6.0 ± 1.9 $\mu\text{g/g}$ dry weight. For inner-SKL sediments in wet and dry seasons, average Hg levels were 0.051 ± 0.036 and 0.047 ± 0.026 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively, and average As levels were 3.2 ± 0.7 and 5.2 ± 2.4 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively. The average Hg contents in off-SKL-mouth sediments in wet and dry seasons were 0.033 ± 0.022 and 0.026 ± 0.015 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively, and 6.9 ± 3.8 and 8.3 ± 3.4 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively, for As.

In comparison to the Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines (PCD, 2006) which proposed Effect Range Low (ERL) and Effect Range Median (ERM) values for Hg at 0.15 and 0.71 at $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively, and for As at 8.2 and 70 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively. It was found that Hg levels in all sediments were lower than ERL value. In the case of As, the levels in inner-SKL sediments were slightly lower than ERL, while PPB and off-SKL-mouth sediments were higher than ERL but not reach ERM values yet.

Analysis of data using correlation and principal component analyses indicated that the factors controlling of Hg and As accumulation in sediments were fine grain sediments and organic carbon contents.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(12)
สารบัญรูป	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ตะกอนดิน	3
1.3 พรอท	4
1.3.1 การปนเปื้อนและรูปแบบโครงสร้างทางเคมีของพรอทในสิ่งแวดล้อม	4
1.3.2 ความเป็นพิษของพรอทต่อมนุษย์	8
1.4 สารหนู	8
1.4.1 การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม	9
1.4.2 ความเป็นพิษของสารหนูต่อมนุษย์	11
1.5 ลุ่มน้ำปากพนัง	12
1.5.1 ลักษณะทางกายภาพ	12
1.5.2 ลักษณะภูมิอากาศ	12
1.5.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	13
1.5.4 แหล่งกำเนิดมลพิษในลุ่มน้ำปากพนัง	13
1.6 ทะเลสาบสงขลา	20
1.6.1 ลักษณะทางกายภาพ	20
1.6.2 ลักษณะภูมิอากาศ	21
1.6.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	21
1.6.4 แหล่งกำเนิดมลพิษในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	23
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 1 (ต่อ)	
1.7 ปริมาณของปรอทและสารหนูในตะกอนดินในประเทศไทยและต่างประเทศ	27
1.8 เกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน (Sediment Quality Guidelines) ในแต่ละประเทศ	28
1.9 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	29
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	30
2.1 จุดเก็บตัวอย่าง	30
2.2 การเก็บตัวอย่าง	33
2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์	33
2.4 การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี	34
2.4.1 การหาขนาดอนุภาคของตะกอนดิน	34
2.4.2 การหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่าย	34
2.4.3 การหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต	34
2.4.4 การย่อยสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปรอทรวม (total mercury)	34
2.4.5 การย่อยตัวอย่างและวิเคราะห์สารหนูรวม (total arsenic)	35
2.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	36
2.6 การนำเสนอข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	36
2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	36
2.7.1 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น	36
2.7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ Principal Components Analysis (PCA)	37
2.7.3 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากรแบบจับคู่	37
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	38
3.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนดิน	38
3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์	45
3.2.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์สารอินทรีย์	45
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิงมาตรฐาน	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 (ต่อ)	
3.3 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีในตะกอนดิน	46
3.3.1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน	47
3.3.2 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน	49
3.3.3 การปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดิน	50
3.3.4 การปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดิน	55
3.4 ความสัมพันธ์ทางสถิติของปัจจัยทางกายภาพและเคมีของตะกอนดิน	61
3.4.1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	61
3.4.2 ความสัมพันธ์ของกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างกับปัจจัยทางกายภาพและเคมีจากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก (PCA)	64
3.4.2.1 อ่าวปากพนัง	64
3.4.2.2 ทะเลสาบสงขลาตอนใน	68
3.4.2.3 นอกปากทะเลสาบสงขลา	68
3.5 เปรียบเทียบระดับของปรอทและสารหนูในตะกอนจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา กับพื้นที่ศึกษาอื่นบริเวณชายฝั่งทะเล	72
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	75
4.1 สรุปผลการศึกษา	75
4.1.1 การกระจายของขนาดอนุภาคตะกอนดิน	75
4.1.2 คาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน	75
4.1.3 แคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน	76
4.1.4 ปรอทในตะกอนดิน	76
4.1.5 สารหนูในตะกอนดิน	76
4.2 ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
ภาคผนวก	87	
ภาคผนวก ก	การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคตะกอนดิน	88
ภาคผนวก ข	การตรวจวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายในตะกอนดิน	91
ภาคผนวก ค	การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน	94
ภาคผนวก ง	การทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทดลอง	97
ภาคผนวก จ	การย่อยสักร์ดและวิเคราะห์หาปรอทรวมในตะกอนดิน	98
ภาคผนวก ฉ	การย่อยสักร์ดและวิเคราะห์หาสารหนูรวมในตะกอนดิน	101
ภาคผนวก ช	ตารางผลการศึกษา	104
ภาคผนวก ซ	การทดสอบความแตกต่างของตัวแปรโดยใช้สถิติ	111

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 1-1	สถิติจำนวนโรงงานแยกตามหมวดอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2550	17
ตาราง 1-2	สถิติจำนวนโรงงานแยกตามหมวดอุตสาหกรรม ณ สิ้นเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548	26
ตาราง 1-3	ความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอนดินท้องน้ำในประเทศและพื้นที่ต่างๆ	28
ตาราง 1-4	เกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแต่ละประเทศ	29
ตาราง 2-1	พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน	30
ตาราง 2-2	วันที่เก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ในแต่ละฤดูกาลในปี พ.ศ. 2550	33
ตาราง 3-1	การกระจายของขนาดอนุภาค ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต ปรอท และสารหนู ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ในช่วงฤดูแล้ง (น้ำน้อย) และช่วงฤดูฝน (น้ำมาก)	39
ตาราง 3-2	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่มีในเดกซ์โทรส	46
ตาราง 3-3	ผลวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิงมาตรฐาน (CRM)	46
ตาราง 3-4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	62
ตาราง 3-5	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	63
ตาราง 3-6	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	64
ตาราง 3-7	ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินอ่าวปากพนัง จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA	65
ตาราง 3-8	ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA	69
ตาราง 3-9	ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตาราง ช-1	105
ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และ โลหะหนัก ในตะกอนดินอ่าวปากพนัง	
ก) อ่าวปากพนัง – ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550)	105
ข) อ่าวปากพนัง – ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)	106
ตาราง ช-2	107
ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และ โลหะหนัก ในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน	
ก) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550)	107
ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)	108
ตาราง ช-3	109
ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และ โลหะหนัก ในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา	
ก) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550)	109
ข) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)	110
ตาราง ช-1	112
แสดงผลการทดสอบความแตกต่าง โดยใช้ Paired-Sample T test	

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	Sediment texture triangle diagram ที่ใช้เรียกชื่อตะกอนดิน ตามสัดส่วน ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ตาม Gorsline (1960)	3
รูปที่ 1-2	วัฏจักรชีวิตริณีเคมีและการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างทางเคมีของปรอท ในสิ่งแวดล้อม	6
รูปที่ 1-3	วัฏจักรชีวิตริณีเคมีและการเปลี่ยนรูปแบบทางเคมีของสารหนูในสิ่งแวดล้อม	9
รูปที่ 1-4	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบอ่าวปากพนัง	14
รูปที่ 1-5	ลักษณะการใช้ประโยชน์โดยรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	22
รูปที่ 2-1	(ก) แนวร่องน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่าง (ข) ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่าง ตะกอนดินในอ่าวปากพนัง (สถานี P1 – แม่น้ำปากพนัง, สถานี P2-P14 – ในอ่าว และสถานี PA – ในคลองปากนคร)	31
รูปที่ 2-2	ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนใน	32
รูปที่ 2-3	ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา	32
รูปที่ 3-1	Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินอ่าวปากพนังของ แต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)	40
รูปที่ 3-2	Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ของแต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)	40
รูปที่ 3-3	Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ของแต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)	41
รูปที่ 3-4	รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดิน จากอ่าวปากพนัง ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	42
รูปที่ 3-5	รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดิน จากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	43
รูปที่ 3-6	รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดินจาก นอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน	44
รูปที่ 3-7	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)	48

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-8	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)	50
รูปที่ 3-9	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับปรอทในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)	51
รูปที่ 3-10	การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินอ่าวปากพนัง ก) ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)	52
รูปที่ 3-11	การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ก) ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550) และ ข) ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)	53
รูปที่ 3-12	การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ก) ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)	54
รูปที่ 3-13	แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับสารหนูในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL) ในช่วงฤดูแล้ง (dry season) และช่วงฤดูฝน (wet season)	56
รูปที่ 3-14	การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินอ่าวปากพนัง ก) ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)	57
รูปที่ 3-15	การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ก) ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550) และ ข) ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)	58
รูปที่ 3-16	การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ก) ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)	59
รูปที่ 3-17	(ก) การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวปากพนัง ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย PCA (ข) รูปแสดงกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตามพื้นที่ในอ่าวปากพนัง	66

สารบัญญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-18	การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย PCA	69
รูปที่ 3-19	การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย PCA (ก) ฤดูแล้ง และ (ข) ฤดูฝน	71
รูปที่ 3-20	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของปรอทและสารหนู ที่ตรวจพบในตะกอนดินจากการศึกษาครั้งนี้ และจากพื้นที่อื่นในอ่าวไทย เทียบกับเกณฑ์ขั้นต่ำสุดที่จะส่งผล (Effect Range Low; ERL) และเกณฑ์ขั้นกลางที่จะส่งผล (ERM) ที่กรมควบคุมมลพิษได้เสนอไว้ใน Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines (PCD, 2006)	73
รูปที่ ก-1	ตะแกรงร่อน	89
รูปที่ ง-1	(ก) การฟุ้งอุปกรณ์ให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet) class 100 และ (ข) อุปกรณ์ที่แห้งแล้วบรรจุในถุงพลาสติกและปิดผนึกมิดชิดพร้อมที่จะใช้งาน	97
รูปที่ จ-1	โกร่งโมราและสากโมรา (agate mortar and pestle)	99
รูปที่ จ-2	การย่อยตัวอย่างใน heating block	99
รูปที่ จ-3	การตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทโดยเทคนิค hydride generation ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปรอท Perkin-Elmer FIMS TM 400	100
รูปที่ ฉ-1	(ก) ภาชนะอัดความดันเทฟลอน (Teflon bomb) และ (ข) หม้ออัดความดันผลิตภัณฑ์ Nordic Ware [®] รุ่น TENDER COOKER	102
รูปที่ ฉ-2	การจัดเรียงหม้ออัดความดันและบีกเกอร์น้ำในเตาไมโครเวฟ	102
รูปที่ ฉ-3	การตรวจวัดความเข้มข้นของสารหนูโดยเทคนิค ICP-MS ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ICP-MS ยี่ห้อ Agilent	103

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ประเทศไทยมีชายฝั่งทะเล ทั้งฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน ยาวประมาณ 2,600 กิโลเมตร โดยเป็นชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย ประมาณ 1,660 กิโลเมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546ก) และภาคใต้เป็นภาคที่มีอาณาเขตติดต่อกับทะเลมากที่สุด เนื่องจากวางตัวตามแนวยาวเหนือ-ใต้ ขนาบด้วยทะเลทั้ง 2 ด้าน ปัจจุบันปัญหามลพิษปนเปื้อนสู่ท้องทะเลมีเพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีตมาก มลพิษบางประเภท เช่น โลหะหนัก เป็นมลพิษที่คงทนไม่เสื่อมสลาย เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบ โครงสร้างทางเคมีและตัวกลางที่มันอยู่ ซึ่งรูปแบบโครงสร้างทางเคมีของโลหะหนักแต่ละชนิดจะ มีความเป็นพิษแตกต่างกันไป มลพิษประเภทโลหะหนักเมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะสะสมใน ตะกอนดินท้องน้ำและทรัพยากรสัตว์น้ำ

บริเวณรอยต่อระหว่างแม่น้ำและทะเลที่เรียกว่า เอสทูรี (estuary) หรือเขตนํ้ากร่อย เป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางกายภาพเคมี (physicochemical condition) มาก ณ บริเวณนี้ โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับมวลน้ำจะถูกกักจับ (sink) ออกไปสะสมอยู่กับตะกอนดิน บางส่วนที่ เหลือก็จะถูกพาออกสู่ทะเล (Chester, 1993; Jickells and Rae, 1997; Stumm and Morgan, 1996) การที่ตะกอนดินเป็นแหล่งรองรับและสะสมโลหะหนักที่ปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ ทำให้ความ เข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในตะกอนดินสูงกว่าในมวลน้ำถึง (หรืออาจจะมากกว่า) 3-5 เท่า (Bryan and Langston, 1992) อย่างไรก็ตาม โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนดินอาจจะกลายเป็น แหล่งกำเนิด (source) ของมลพิษที่ปนเปื้อนกลับเข้าสู่มวลน้ำได้ เมื่อสมดุลเคมี ณ รอยต่อระหว่าง ตะกอนดินผิวหน้า (surface sediment) กับมวลน้ำเหนือผิวตะกอน (overlying water column) เปลี่ยนแปลงไป การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินจึงใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อน ของโลหะหนักในช่วงเวลาที่ผ่านมา รวมทั้งคาดการณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดจากการปนเปื้อนของ โลหะหนักได้ (Guy *et al.*, 1978)

ปรอท (mercury; Hg) และสารหนู (arsenic; As) เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง การปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาในหลายพื้นที่ รวมทั้งในประเทศไทย ผลจากความเป็นพิษของปรอทที่รู้จักกันดี คือ “โรคมินามาตะ” (Minamata disease) ที่เกิดขึ้นกับชุมชนชาวประมงรอบอ่าวมินามาตะ (Minamata Bay) ในประเทศญี่ปุ่น ส่วนสารหนูก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังที่เรียกว่า “โรคไขดำ” ในหลายพื้นที่พบสารหนูปนเปื้อนสูงในน้ำบาดาล เช่น อินเดีย บังคลาเทศ และไต้หวัน (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549) รวมถึงที่ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2531)

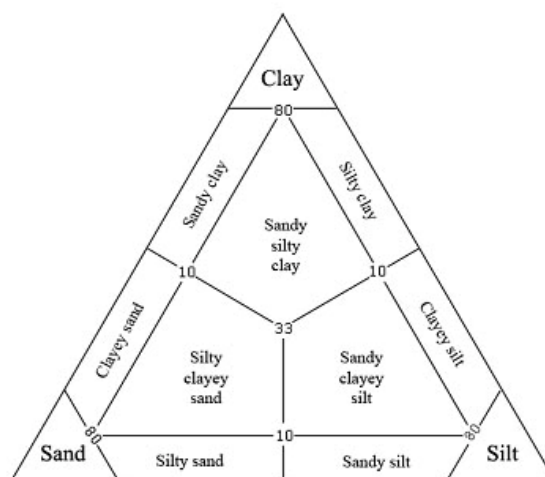
ในประเทศไทย การปนเปื้อนของปรอทในทะเลและพื้นที่ชายฝั่ง มีแหล่งที่มาจากทั้งจากกิจกรรมบนแผ่นดิน (land-based source) และกิจกรรมขุดเจาะก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541ก; 2541ข) ส่วนสารหนูพบว่ามีสาเหตุมาจากการเปิดพื้นที่ทำเหมืองแร่ดีบุก และส่วนหนึ่งก็มาจากกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ (Sirinawin and Sompongchaiyakul, 2004) ปรอทและสารหนูที่มาจากกิจกรรมบนแผ่นดินเหล่านี้ จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และออกสู่ทะเล แต่ส่วนใหญ่จะถูกกักเก็บและหมุนเวียนระหว่างมวลน้ำและตะกอน ณ บริเวณปากเอสทูรี ไม่ได้ถูกส่งออกสู่ทะเลทั้งหมด ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

อ่าวปากพนังและทะเลสาบสงขลา เป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญของภาคใต้ฝั่งตะวันออก รอบอ่าวปากพนังและทะเลสาบสงขลา มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและทรัพยากรในรูปแบบต่างๆ โดยปราศจากการอนุรักษ์ พื้นฟู และการจัดการที่เหมาะสม กิจกรรมต่างๆ ได้แก่ เกษตรกรรม อุตสาหกรรม นาเกลือ และนาข้าว เป็นต้น ล้วนก่อให้เกิดการเปิดหน้าดิน ชะล้างตะกอนดินลงสู่แหล่งน้ำ และบางกิจกรรมเป็นแหล่งกำเนิดโลหะหนัก ซึ่งเมื่อเข้าสู่แหล่งน้ำ ในที่สุดก็จะสะสมและปนเปื้อนในตะกอนดิน การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดินโดยตรง หรือในบางสภาวะทางกายเคมีอาจกลายเป็นแหล่งที่มาของการปนเปื้อนในมวลน้ำ ก่อให้เกิดการสะสมของเนื้อเยื่อในสิ่งมีชีวิต และเข้าสู่สัตว์น้ำและมนุษย์ตามห่วงโซ่อาหาร ประกอบกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นอ่าวและทะเลสาบที่ค่อนข้างปิด โลหะหนักก็จะหมุนเวียนอยู่ในระบบ โอกาสในการปนเปื้อนจึงเกิดขึ้นได้ง่าย การศึกษาสถานการณ์ที่จะควบคุมการแพร่กระจายของโลหะหนัก จึงมีความจำเป็น

1.2 ตะกอนดิน

ตะกอนดิน (sediment) หมายถึง สสารจากแผ่นดินที่ถูกน้ำกัดกร่อนจนแตกสลาย เป็นอนุภาคเล็กๆ รวมตัวกับสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ ที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ตลอดจนถึง อนุภาคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ตะกอนดินที่ตกสะสม อยู่บริเวณพื้นที่ตื้นน้ำมีความสำคัญทั้งในด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม เป็นทั้งที่อยู่อาศัยและแหล่ง อาหารของสัตว์หน้าดิน คุณลักษณะของตะกอนดินบ่งชี้ถึงความเสื่อมโทรม และการปนเปื้อนของ มลสารทั้งประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้คุณภาพน้ำ เนื่องจากตะกอนเป็นแหล่งกักเก็บ มลสารในลำดับท้ายสุด และคุณลักษณะของตะกอนดินตื้นน้ำจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่ามวลน้ำ ตะกอนดินอาจเป็นได้ทั้งแหล่งเก็บสะสมและแหล่งกำเนิดของมลสารซึ่งอาจเป็นธาตุอาหารพืชหรือ โลหะหนักในแหล่งน้ำได้ (Kim *et al.*, 2003)

ตะกอนดินที่มีองค์ประกอบขนาดต่างๆ จะเรียกชื่อต่างกัน มาตรฐานการเรียกชื่อ มีอยู่หลายแบบ โดยทุกแบบเป็นการกำหนดชื่อโดยใช้สัดส่วนของขนาดอนุภาค จำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ทราย (sand; > 63 ไมครอน), ทรายแป้ง (silt; 2-63 ไมครอน) และดินเหนียว (clay; < 2 ไมครอน) ในตะกอนแหล่งน้ำ นิยมใช้ sediment texture triangle diagram ดังรูปที่ 1-1 ของ Gorsline (1960) เมื่อพล็อตสัดส่วนของอนุภาคตะกอนดินขนาดต่างๆ ลงในไดอะแกรมสามเหลี่ยม ในรูปที่ 1-1 แล้วตกลงตำแหน่งใดในไดอะแกรม ก็ให้เรียกชื่อตะกอนดินตามที่ระบุไว้ใน ไดอะแกรม ซึ่งชื่อที่เรียกจะบ่งบอกลักษณะของเนื้อตะกอนดิน



รูปที่ 1-1 Sediment texture triangle diagram ที่ใช้เรียกชื่อตะกอนดิน ตามสัดส่วนปริมาณ อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ตาม Gorsline (1960)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโลหะหนักที่สะสมในตะกอนดินขึ้นกับลักษณะและสมบัติของตะกอนดิน องค์ประกอบของขนาดและแร่ธาตุในตะกอนดิน เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และปริมาณของสารอินทรีย์ เป็นต้น (Macleod *et al.*, 1999; Buccolieri *et al.*, 2006) โลหะหนักที่อยู่ในตะกอนดินแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ในโครงสร้างของตะกอนดิน ซึ่งมีมาตั้งแต่ต้นกำเนิด เรียกว่า “lattice-held metals” อีกส่วนหนึ่งเป็นโลหะที่เข้ามาสะสมภายหลังเมื่อตะกอนดินเข้าสู่สิ่งแวดล้อม และมีการขนส่ง (transport) มายังแหล่งสะสม เรียกว่า “non-lattice held metals” โลหะส่วนนี้จะยึดเกาะกับสารอินทรีย์ หรือดูดซับกับตะกอนดินที่มีขนาดอนุภาคละเอียด ได้แก่ อนุภาคขนาดดินเหนียวและขนาดทรายแป้ง เนื่องจากตะกอนดินอนุภาคละเอียดจะมีโครงสร้างเป็นอลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) หรือที่เรียกว่า แร่ดินเหนียว โครงสร้างดังกล่าวมีช่องว่าง ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก อีกทั้งยังมีประจุลบ ทำให้สามารถสร้างพันธะกับสารอินทรีย์และโลหะหนักได้มาก ขณะที่องค์ประกอบแร่ของอนุภาคขนาดใหญ่จะเป็นซิลิเกต หรือที่เรียกว่า ควอตซ์ (quartz) ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ประกอบกับอนุภาคขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาน้อย นอกจากนี้โลหะหนักยังถูกดูดซับอยู่บนผิวอนุภาคเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (iron and manganese oxyhydroxide) ทั้งที่มีอยู่ในอนุภาคตะกอนดินที่แยกตัวออกจากมวลน้ำและตกตะกอนลงมา (Sompongchaiyakul, 1989)

1.3 พรอท

พรอทจัดเป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง เป็นธาตุลำดับที่ 80 ในตารางธาตุ มีมวลอะตอม 200.59 มีจุดเดือด 356.6 °ซ และมีจุดหลอมเหลว -38.9 °ซ ดังนั้นพรอทจึงมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °ซ มีความหนาแน่น เท่ากับ 13.546 ก./มล. ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 13.545 และค่าความดันไอเป็น 0.16 Pa (0.0012 มม.ปรอท) จากค่าความดันของไอพรอทซึ่งต่ำมาก พรอทจึงระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง พรอทมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่เป็นน้ำต่ำ (Janicki *et al.*, 1987)

1.3.1 การปนเปื้อนและรูปแบบโครงสร้างทางเคมีของพรอทในสิ่งแวดล้อม

พรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทั้งโดยกระบวนการตามธรรมชาติ (natural) และเหตุจากมนุษย์ (anthropogenic) กระบวนการธรรมชาติที่นำพรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ การผุพังของหินต้นกำเนิด การระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น ส่วนกิจกรรมของมนุษย์มีทั้งโดยตรงและทางอ้อมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยพรอทออกมาปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ปริมาณพรอทสูงขึ้นทั้งในอากาศ ดิน และน้ำ นอกจากนี้พรอทยังมีการถ่ายเท ส่องผ่าน และสะสมระหว่างตัวกลางสิ่งแวดล้อม

เช่น จากอากาศสู่ดิน และจากดินสู่แหล่งน้ำ เป็นต้น (Pacyna and Munch, 1991) และหากเกิดการปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ก็จะมีการถ่ายทอดและสะสมเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นของการบริโภค (trophic level) ในห่วงโซ่อาหาร (Hudson *et al.*, 1992)

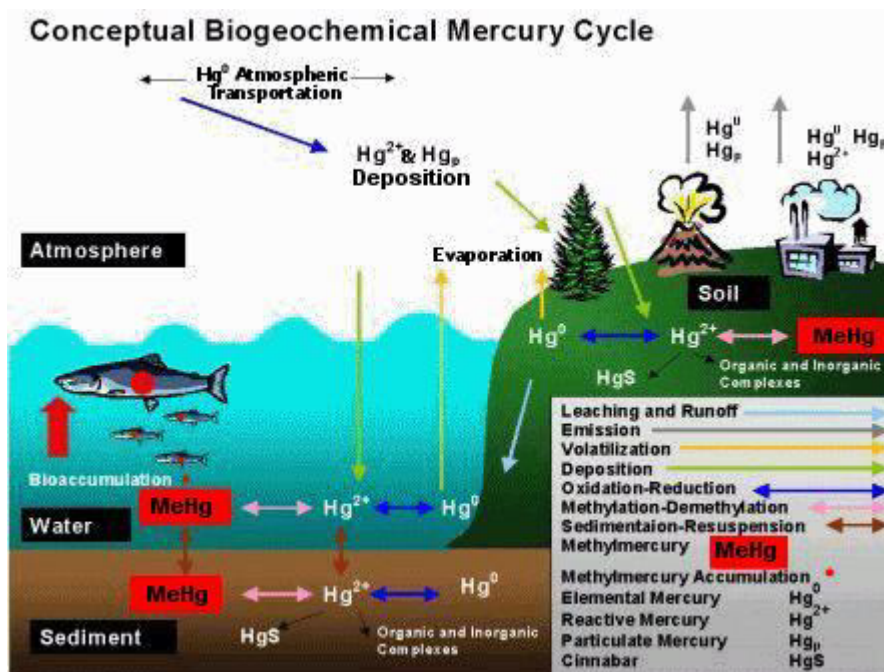
การนำปรอทมาใช้ในกระบวนการผลิตหรือใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ หากขาดการควบคุมที่ดีจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของปรอทสู่ธรรมชาติ กิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดของปรอท ได้แก่ โรงงานผลิตไฟฟ้า การเผาขยะและของเสีย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการต่างๆ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (เช่น ถ่านหินและน้ำมันปิโตรเลียม) โรงถลุงโลหะ เหมืองสินแร่ที่มีปรอทปนเปื้อน การใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีปรอทเป็นส่วนผสม (เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เทอร์โมมิเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สียางชนิด วัสดุอุดฟัน ยาม่าเชื้อรา สารเคมี) (Mitra, 1986; Mukherjee, 1991; US-EPA, 1997) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1995 พบว่า 3 กิจกรรมหลักที่เป็นสาเหตุจากมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของปรอทในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ โรงงานผลิตไฟฟ้า เตาเผาขยะ และหม้อไอน้ำ (boiler) ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตามลำดับ (<http://www.toquopenegyproject.com/mercury.htm> , 2005)

ปรอทที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะมาจากการระเหยหรือการเผาไหม้แล้วเกิดเป็นไอปรอทเข้าสู่บรรยากาศ นอกเหนือไปจากการปนเปื้อนลงสู่พื้นดินและเข้าสู่แหล่งน้ำโดยตรง ปรอทที่อยู่ในบรรยากาศส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูป Hg^0 ซึ่งเป็นไอโลหะ มีบางส่วนที่อยู่ในรูป Hg^{2+} ซึ่งเป็นไอออนที่มีประจุบวก (cation) และบางส่วนที่รวมตัวอยู่กับอนุภาคอื่นๆ (Bloom and Fitzgerald, 1988; Pacyna and Munch, 1991; US-EPA, 1997) ไอปรอทจะถูกกระแสดลมในบรรยากาศพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิด ส่วนปรอทในรูปแคตไอออน (Hg^{2+}) และปรอทที่รวมตัวอยู่กับอนุภาคอื่นๆ ส่วนใหญ่จะตกสะสมไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นปริมาณการเพิ่มขึ้นของปรอทในบางพื้นที่ อาจไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้เสมอไป (Xiao *et al.*, 1991)

กระบวนการที่ทำให้ปรอทในบรรยากาศตกลงสู่พื้นดินและแหล่งน้ำ มี 2 แบบ (Lindqvist *et al.*, 1991) คือ “แบบแห้ง” (dry deposition) โดยปรอทที่รวมตัวอยู่กับอนุภาคอื่นๆ เช่น ปรอทที่อยู่ติดกับเขม่า จะตกลงสู่พื้นโลกโดยแรงโน้มถ่วง และ “แบบเปียก” (wet deposition) เช่น ไอปรอทในรูป Hg^0 จะถูกออกซิไดซ์โดยโอโซนในสภาวะที่มีน้ำ กลายเป็นไอออนของปรอท และรวมกับหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ในบรรยากาศตกลงสู่พื้นโลก (Hall, 1995; Iverfeldt, 1999) นอกจากนี้ไอปรอทในรูป Hg^0 สามารถทำปฏิกิริยากับสารออกซิแดนท์ (oxidants) อื่นๆ ในบรรยากาศได้ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) และคลอรีน (chlorine; Cl_2)

เป็นต้น (Schroeder *et al.*, 1991) ดังนั้นปรอทที่ตกลงสู่พื้นดินมักอยู่ในรูปของปรอทร่วมกับสารอื่นในดิน กลายเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ (Schuster, 1991) เมื่อมีกิจกรรมการใช้ที่ดิน เช่น การเกษตร การพัฒนาที่ดินเพื่ออยู่อาศัย การขุดดิน การทำเหมือง การทำถนน ฯลฯ จะมีผลต่อการเคลื่อนตัวของปรอทจากดินเข้าสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากการเปิดหน้าดิน ทำให้ปรอทถูกชะกร่อนและถูกออกซิไดส์ได้ง่าย (Blake, 1980)

ปรอทที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อม จำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม “ปรอทอนินทรีย์” ได้แก่ elemental mercury (Hg^0), mercurous ion (Hg^+) และ mercuric ion (Hg^{2+}) และกลุ่ม “ปรอทอินทรีย์” ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ของปรอทพวก alkyl compound (methyl, ethyl), alkoxyalkyl compound และ aryl compound (phenyl mercurials) ปรอทที่อยู่ในสารประกอบที่มีรูปแบบโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน จะมีความเป็นพิษแตกต่างกัน นอกจากนี้รูปแบบโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบที่มีปรอทเหล่านี้ มีการเปลี่ยนแปลงไปมาโดยกระบวนการชีวธรณีเคมี (biogeochemical processes) โดยทั่วไป ในบรรยากาศ จะพบอยู่ในรูป elemental mercury ส่วนปรอทอนินทรีย์ตัวอื่นจะพบมากในน้ำและตะกอนดิน สำหรับในสิ่งมีชีวิต ปรอทส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของ methylmercury (CH_3Hg^+) ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ (รูปที่ 1-2)



ที่มา : <http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EH/EN/eh-b.cfm> (2005)

รูปที่ 1-2 วัฏจักรชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างทางเคมีของปรอทในสิ่งแวดล้อม

ปัญหาการปนเปื้อนของปรอทที่รู้จักกันดี คือ กรณีที่เกิดขึ้นกับชุมชนชาวประมงรอบอ่าวมินามาตะ ในประเทศญี่ปุ่น เมื่อปี พ.ศ. 2493 จึงเรียกโรคนี้ว่า “โรคมินามาตะ” ประชาชนที่บริโภคสัตว์น้ำที่จับจากอ่าวมินามาตะเจ็บป่วยและล้มตายเป็นจำนวนมาก ต่อมาพบว่าสัตว์น้ำในอ่าวมีปรอทสะสมอยู่ในปริมาณสูง และอยู่ในรูป “methylmercury” ซึ่งเป็นปรอทอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูง ระดับปรอทที่สะสมในตะกอนดินในอ่าวมินามาตะ มีค่าสูงถึง 2,010 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง ขณะที่บริเวณที่บริเวณห่างออกไปประมาณ 200 – 300 ม. พบว่ามีค่าภูมิหลังทั่วไป (baseline value) ของปรอทอยู่ที่ระดับเพียง 0.1 – 0.35 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง เท่านั้น (Fujiki, 1980) ในรัฐ Tasmania ของประเทศออสเตรเลีย พบการปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดินของ DREWENT Estuary สูงถึง 1,130 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง (Bloom and Ayling, 1977) การปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดิน มักพบว่ามีค่าสูงในตะกอนดินบริเวณผิวหน้า และมีค่าลดลงในตะกอนที่อยู่ลึกลงไป ตัวอย่างเช่น ใน Santa Monica Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา ตะกอนดินผิวหน้ามีปรอทปนเปื้อนอยู่ 0.16 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง แต่ตะกอนดินที่อยู่ลึกลงมีการปนเปื้อนเพียง 0.04 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง (Anderson, 1985)

การวิเคราะห์ปริมาณปรอทในน้ำใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนได้ไม่ดี ทั้งนี้เพราะปรอทมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ (William and Coffe, 1975) เมื่อปรอทปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำ บางส่วนจะยึดติดกับอินทรีย์วัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำในเวลาต่อมา นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่สายอาหารตามลำดับขั้นของการบริโภค ดังนั้นปริมาณปรอทที่สะสมในตะกอนดินและสิ่งมีชีวิตจึงมีค่าสูงกว่าที่มีอยู่ในมวลน้ำหลายเท่า (Bryan and Langston, 1992) การติดตามการปนเปื้อนของปรอทจึงควรตรวจสอบในตะกอนดินและสิ่งมีชีวิต

ในประเทศไทยการศึกษาการปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดินและดิน ยังมีผู้ให้ความสนใจไม่มากนัก สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย (2542) ศึกษาการปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดินแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอน พบระดับปรอทอยู่ในช่วง 0.05 – 0.397 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง ในฤดูแล้ง และอยู่ในช่วง 0.304 – 0.448 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง ในฤดูฝน ระดับปรอทในฤดูฝนที่มีค่าสูงกว่าในฤดูแล้ง เป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายอนุภาคของตะกอนดินในช่วงที่น้ำท่าไหลหลากแรง กรมควบคุมมลพิษ (2541ข) รายงานค่าปรอทในอ่าวไทยตอนบนและบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง อยู่ในช่วง 1.79 – 4.93 และ nd – 4.39 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับในตะกอนดินตลอดแนวชายฝั่งทะเล ปี พ.ศ. 2543 มีค่าอยู่ในช่วง 0.005 – 2.135 มกค./ก. น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม พื้นที่ในความสนใจของกรมควบคุมมลพิษส่วนใหญ่เป็นแหล่งรองรับการปนเปื้อนจากแผ่นดิน จึงมักพบปรอทอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง

Buakaew (2008) รายงานการปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดินในภาพรวมของพื้นที่อ่าวไทยตอนบน อยู่ในช่วง $<0.002 - 0.092$ (เฉลี่ย 0.034 ± 0.027) มก./ก. น้ำหนักแห้ง และอ่าวไทยตอนล่าง อยู่ในช่วง $0.007 - 0.050$ (เฉลี่ย 0.024 ± 0.009) มก./ก. น้ำหนักแห้ง สำหรับทะเลน้อย ทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง และทะเลสาบสงขลาตอนนอก พบว่าในปี พ.ศ. 2547 มีปรอทปนเปื้อนในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณดังกล่าว มีค่าอยู่ในช่วง $0.063 - 0.113$, $0.024 - 0.049$, $0.032 - 0.062$ และ $0.027 - 0.063$ มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Sompongchaiyakul *et al.*, 2005)

จิรวัดน์ ขวัญแก้ว (2549) วิเคราะห์การปนเปื้อนของปรอทในดินรอบทะเลสาบสงขลา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $0.011 - 0.484$ มก./ก. น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ที่พบการปนเปื้อนของปรอทมากกว่าพื้นที่อื่น คือ บริเวณที่อยู่อาศัยและเขตชุมชน เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และสมเกียรติขอเกียรติวงศ์ (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ได้วิเคราะห์ปรอทจากตัวอย่างดินจากพื้นที่ทั้งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จำนวน 213 ตัวอย่าง ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2547 พบว่ามีปรอทปนเปื้อนในดิน มีค่าอยู่ในช่วง $<0.002 - 4.683$ และเฉลี่ย 0.065 ± 0.321 มก./ก. น้ำหนักแห้ง

1.3.2 ความเป็นพิษของปรอทต่อมนุษย์

ปรอทในรูปไอระเหยมีอันตรายมากที่สุด เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันได้ หากมีการสูดไอปรอทเข้าไปในช่วง $1,200 - 8,500$ มก./ลบ.ม. ส่วนปรอทในรูปสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษสูงสุด คือ “methylmercury” โดยร่างกายสามารถดูดซึม “methylmercury” เข้าสู่ทางเดินอาหาร ได้สูงถึง $95 - 98\%$ แต่ขับออกมาในรูปของเสียได้น้อย ปรอทในรูปสารประกอบอนินทรีย์จะมีความเป็นพิษน้อยที่สุด เพราะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านทางเดินอาหารได้น้อยมาก โดยจะไม่เกิน 2% และสามารถขับออกมาได้ง่าย ปรอทที่สะสมอยู่ในร่างกาย จะมีผลต่อความผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลาง การมองเห็นและความรู้สึก และสามารถทำลายเนื้อเยื่อต่างๆ ที่ไอปรอทกระจายไปถึง อวัยวะที่พบการสะสมของปรอทมากที่สุดคือ ไต รองลงมา ได้แก่ ตับ ม้าม สมอง ผนังลำไส้เล็ก หัวใจ และปอด ตามลำดับ พิษของปรอทมีทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง ปรอทที่แพร่กระจายหรือปนเปื้อนอยู่ในดินและแหล่งน้ำจะมีการถ่ายทอดเข้าสู่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ตามห่วงโซ่อาหาร (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549)

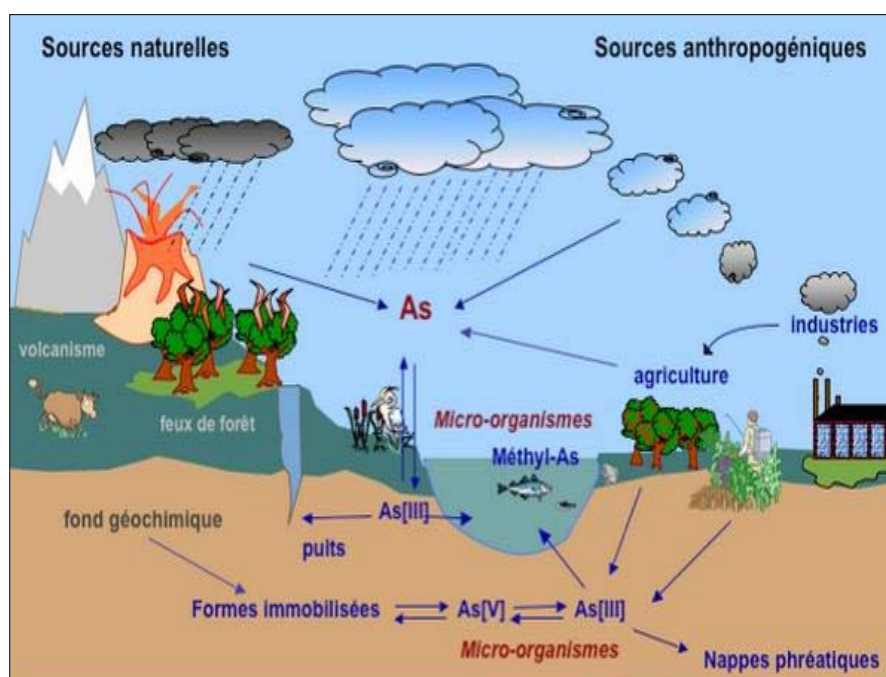
1.4 สารหนู

สารหนูมีสมบัติเป็นทั้งโลหะและอโลหะ เป็นธาตุลำดับที่ 33 ใช้สัญลักษณ์ As มีเลขอะตอม เท่ากับ 33 มีมวลอะตอม เท่ากับ 74.9216 มีเลขออกซิเดชัน เท่ากับ $+5, +3, 0$ และ -3

โดยทั่วไปมักพบสารหนูที่มีเลขออกซิเดชัน +5 (arsenate) และ +3 (arsenite) มีความหนาแน่นเท่ากับ 6.7 จุดเดือด เท่ากับ 625°C และจุดหลอมเหลว เท่ากับ 817°C สารหนูปกติจะมีสีเหลืองดำ หรือเทา ลักษณะเป็นของแข็ง และเป็นธาตุที่มีความเป็นพิษร้ายแรง (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2531)

1.4.1 การปนเปื้อนของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

สารหนูที่พบในธรรมชาตินั้น มักอยู่ในรูปของสารประกอบทั้งประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยสารหนูอนินทรีย์มีความเป็นพิษร้ายแรงกว่าสารหนูอินทรีย์หรือสารหนูบริสุทธิ์ ในธรรมชาติส่วนใหญ่มักพบสารหนูอนินทรีย์อยู่ในรูปของ arsenate และ arsenite สำหรับสารหนูอินทรีย์นั้นมีในธรรมชาติน้อยกว่า สารหนูอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ methylarsenic acid และ dimethylarsenic acid (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2531) และเช่นเดียวกับปรอท สารหนูมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างทางเคมี ซึ่งมีผลต่อความเป็นพิษของมัน ดังรูปที่ 1-3



ที่มา : <http://www.gdr2909.u-strasbg.fr/pages.jsp?idsite=279> (2550)

รูปที่ 1-3 วัฏจักรชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนรูปทางเคมีของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

สารหนูเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งโดยธรรมชาติ ได้แก่ การผุพังของพื้นผิวโลกและก๊าซจากภูเขาไฟระเบิด ในธรรมชาติมักจะพบสารหนูในรูปของแร่ เช่น อาร์เซนไนต์ หรือซัลไฟด์ ของทองแดง ตะกั่ว เงิน และทอง นอกจากนี้ยังพบมากในถ่านหิน สารหนูในถ่านหินในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่าสูงถึงประมาณ 1,500 มกก./ก. แต่โดยทั่วไปสารหนูบนพื้นผิวโลกหรือเปลือกโลก มีค่าประมาณ 1.5 – 2 มกก./ก. ซึ่งนับว่ามีความเข้มข้นมากเป็นอันดับที่ 20 เมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ ในดินทั่วไปจะมีสารหนูประมาณ 0.2 – 40 มกก./ก. สำหรับสารหนูอาจปนเปื้อนมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น โรงงานถลุงโลหะ เหมืองแร่ ฟอกหนัง เผาถ่านหิน และแหล่งเกษตรกรรมที่ใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช ในปุ๋ยจะมีสารหนูปนเปื้อนอยู่ประมาณ 0.1% และสารกำจัดศัตรูพืช จะมีสารหนูเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ในรูป lead arsenate (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2531) ดังนั้นการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชจึงทำให้พืชดูดซับสารหนูบางส่วนไปสะสม และบางส่วนปนเปื้อนอยู่ในดิน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการทางชีวธรณีเคมีย่อมส่งผลต่อการเคลื่อนย้ายของสารหนูจากดินลงสู่แหล่งน้ำ (Sirinawin and Sompongchaiyakul, 2004) ทางตอนใต้ของประเทศเวียดนามมีสารหนูปนเปื้อนจากการทำเกษตรกรรมเนื่องจากการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช สารหนูที่ปนเปื้อนถูกชะลงสู่แม่น้ำโขง โดยพบว่าบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ มีสารหนูอยู่ในช่วง 1 – 845 มกก./ล. (เฉลี่ย 39 มกก./ล.) และในตะกอนดินในช่วง 6 – 33 มกก./ก. (McArthur *et al.*, 2001)

ในประเทศไทยมีการปนเปื้อนของสารหนู เนื่องจากการทำเหมืองแร่ดีบุก แ่แต่งแร่ และร่อนแร่ ในพื้นที่ ตำบลร่อนพิบูลย์ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่งผลให้สารหนูแพร่กระจายจากดิน สู่แหล่งน้ำ และอากาศ ต่อมาพบว่าประชาชนที่ดื่มน้ำบาดาลที่มีสารหนูปนเปื้อน มีตุ่มคันตามฝ่ามือและฝ่าเท้า และมีสีผิวคล้ำผิดปกติ จากการส่งมาตรวจรักษาที่สถาบันโรคผิวหนัง กระทรวงสาธารณสุข แพทย์วินิจฉัยว่าเป็นโรคมะเร็งผิวหนังจากพิษสารหนูเรื้อรัง (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2531) จากข้อมูลการตรวจวัดในดินระหว่างปี พ.ศ. 2537 – 2538 ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่าบริเวณแหล่งชุมชนในอำเภอร่อนพิบูลย์ มีสารหนูปนเปื้อนในดินเฉลี่ยเท่ากับ 1,085 มกก./ก. ซึ่งมีค่าเกินค่าภูมิหลังทั่วไป (50 มกก./ก.) (กรมทรัพยากรธรณี, 2541) Khoomrung (2006) วิเคราะห์ดินจากพื้นที่ตำบลร่อนพิบูลย์ พบว่าระดับของสารหนูในดินในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน มีค่าอยู่ในช่วง 3.8 – 491 มกก./ก. ส่วนในพื้นที่ที่ไม่ปนเปื้อน มีค่าอยู่ในช่วง 0.6 – 26.7 มกก./ก. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และสมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ (ข้อมูลยังไม่ได้ตีพิมพ์) ได้วิเคราะห์ตัวอย่างดินจากพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2547 จำนวน 211 ตัวอย่าง พบว่ามีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในช่วง 0.2 – 58.1 และเฉลี่ย 5.5 ± 6.3 มกก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 4.2 มกก./ก. น้ำหนักแห้ง

จากข้อมูลการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลโดย กรมควบคุมมลพิษ ระหว่างปี พ.ศ. 2541 - 2542 พบว่าตะกอนดินจากคลองกระแจะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริเวณปากแม่น้ำปัดตานี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.4 และ 42.9 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2544 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.0 และ 47.0 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ บ่งชี้ว่าบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย มีสารหนูสะสมอยู่ในปริมาณมากและมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอดีตที่ผ่านมา คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากสึกกร่อน (erosion) ของดินและหิน เนื่องจากการทำเหมืองแร่ดีบุกในอดีตที่มีการทำกันมากในพื้นที่แถบนั้น การเปิดหน้าดินทำให้ทำให้เกิดการชะล้างสารหนูลงไปปนเปื้อนในตะกอนดินชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2546ก)

สำหรับในตะกอนดินจากลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา บริเวณพื้นที่ทะเลน้อย ทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง และทะเลสาบสงขลาตอนนอก Sompongchaiyakul *et al.* (2005) ได้ตรวจวัดสารหนูจากตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บในปี พ.ศ. 2547 พบว่ามีปริมาณอยู่ในช่วง 5.7 – 10.8, 3.7 – 9.4, 5.0 – 10.8 และ 5.1 – 25.7 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

1.4.2 ความเป็นพิษของสารหนูต่อมนุษย์

สารหนูมีพิษร้ายแรงเมื่อเข้าสู่ร่างกายทั้งโดยการกินและการหายใจ สารหนูจะทำลายระบบทางเดินอาหารและอวัยวะส่วนอื่นๆ และในที่สุดทำให้ถึงแก่ความตาย จึงนิยมใช้เป็นยาเบื่อหนู อาการแบบพิษเฉียบพลัน (acute) เกิดขึ้นได้ เมื่อร่างกายได้รับสารหนูในปริมาณสูงถึง 130 มก./วัน มีผลให้สำไส้และตับถูกทำลาย การทำงานของระบบหัวใจผิดปกติและเสียชีวิตได้ ส่วนอาการแบบเรื้อรัง (chronic) จะส่งผลที่ตับและไต เมื่อได้รับสารหนู 1.4 มก./วัน เป็นเวลา 3 สัปดาห์ สารหนูในรูปของสารละลายจะมีพิษสูงกว่าสารหนูที่มีความสามารถในการละลายต่ำ เนื่องจากสารหนูในรูปของสารละลายถูกดูดซึมเข้าสู่อวัยวะต่างๆ ของร่างกายได้ง่าย และสารหนูที่มีเลขออกซิเดชัน +3 จะมีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูที่มีเลขออกซิเดชัน +5 อย่างไรก็ตามหากร่างกายได้รับสารหนูเพียงปริมาณน้อย ร่างกายสามารถขับสารหนูออกสู่ภายนอกได้ภายในระยะเวลา 2 – 3 วัน แต่หากร่างกายได้รับสารหนูเป็นเวลานาน อาการทางผิวหนังจะเริ่มตั้งแต่เกิดอาการระคายเคือง ผิวน้ำด้านหนา เม็ดสีที่ผิวเปลี่ยนเป็นสีดำเข้ม และอาจพบรอยดกกระตามร่างกาย ฝ่ามือจะเป็นจุดขาวๆ ส่วนฝ่าเท้าจะเกิดจุดสีดำใหญ่จนเห็นได้ชัด จนกลายเป็นมะเร็งผิวหนังซึ่งเรียกว่าโรคลำไส้ดำในที่สุด (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2549)

1.5 ลุ่มน้ำปากพนัง

1.5.1 ลักษณะทางกายภาพ

อ่าวปากพนังเป็นอ่าวน้ำตื้น มีความยาวจากปากอ่าวไปจนถึงแหลมตะลุมพุก ประมาณ 25 กม. บริเวณปากอ่าวกว้างประมาณ 10 กม. ใช้เป็นเส้นทางสำหรับเดินเรือเข้าออก อ่าวปากพนังเป็นเอสตูรีปากแม่น้ำปากพนัง ซึ่งรับน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง มีต้นน้ำจากเทือกเขาบรรทัด ไหลครอบคลุมพื้นที่ทางตอนใต้ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ผ่านอำเภอต่างๆ ได้แก่ ร่อนพิบูลย์ ชะอวด เขียวใหญ่ หัวไทร ปากพนัง กับพื้นที่บางส่วนของอำเภอลานสกาและอำเภอเมือง และไหลลงสู่ทะเลด้านอ่าวไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ด้านตะวันตกของอ่าวเป็นภูเขาสูง มีความลาดชันมากทอดตัวในแนวเหนือ-ใต้ ถัดจากเชิงเขาลงไปเป็นพื้นที่ควนสลับซับซ้อนและมีพื้นที่ราบสูงแปลงเล็กๆ สลับกันไป ต่อจากพื้นที่ควนเป็นพื้นที่ราบลาดเทลงสู่แม่น้ำปากพนังฝั่งตะวันตก ส่วนพื้นที่ระหว่างแม่น้ำปากพนังกับสันทรายริมทะเลเป็นพื้นที่ราบลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่ามีพื้นที่พรุเป็นแห่งๆ ทางด้านตะวันตกของแม่น้ำในอำเภอร่อนพิบูลย์ ชะอวด และเขียวใหญ่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเป็นเอสตูรีปากแม่น้ำ จากการสำรวจการสะสมตัวของตะกอนแขวนลอยบริเวณปากอ่าว ในปี พ.ศ. 2537 พบว่าปากแม่น้ำปากพนังมีตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยประมาณปีละ 351,050 ตัน และประเมินว่าจะมีการตกตะกอนในอ่าวปากพนังเฉลี่ยประมาณ 11,540 ตัน/กม./ปี และตลอดทั้งอ่าวปากพนังจะมีการตกตะกอนถึง 184,640 ตัน/ปี สำหรับตะกอนส่วนที่เหลือจะไหลออกนอกอ่าวปากพนังลงสู่อ่าวไทย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ก)

1.5.2 ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน ปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (เฉลี่ยเท่ากับ 2,396.1 มม./ปี) เดือนที่ฝนตกมากที่สุด คือ เดือนพฤศจิกายน มีอุณหภูมิสูงสุดตลอดปี ค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกันมากนัก อุณหภูมิตลอดปีเฉลี่ย 27.0 °ซ แบ่งออกเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ – เมษายน) อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายนของทุกปี เท่ากับ 28.2 °ซ ฤดูฝนแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรก (พฤษภาคม – ตุลาคม) เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงหลัง (พฤศจิกายน – มกราคม) ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครศรีธรรมราช, 2550)

1.5.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

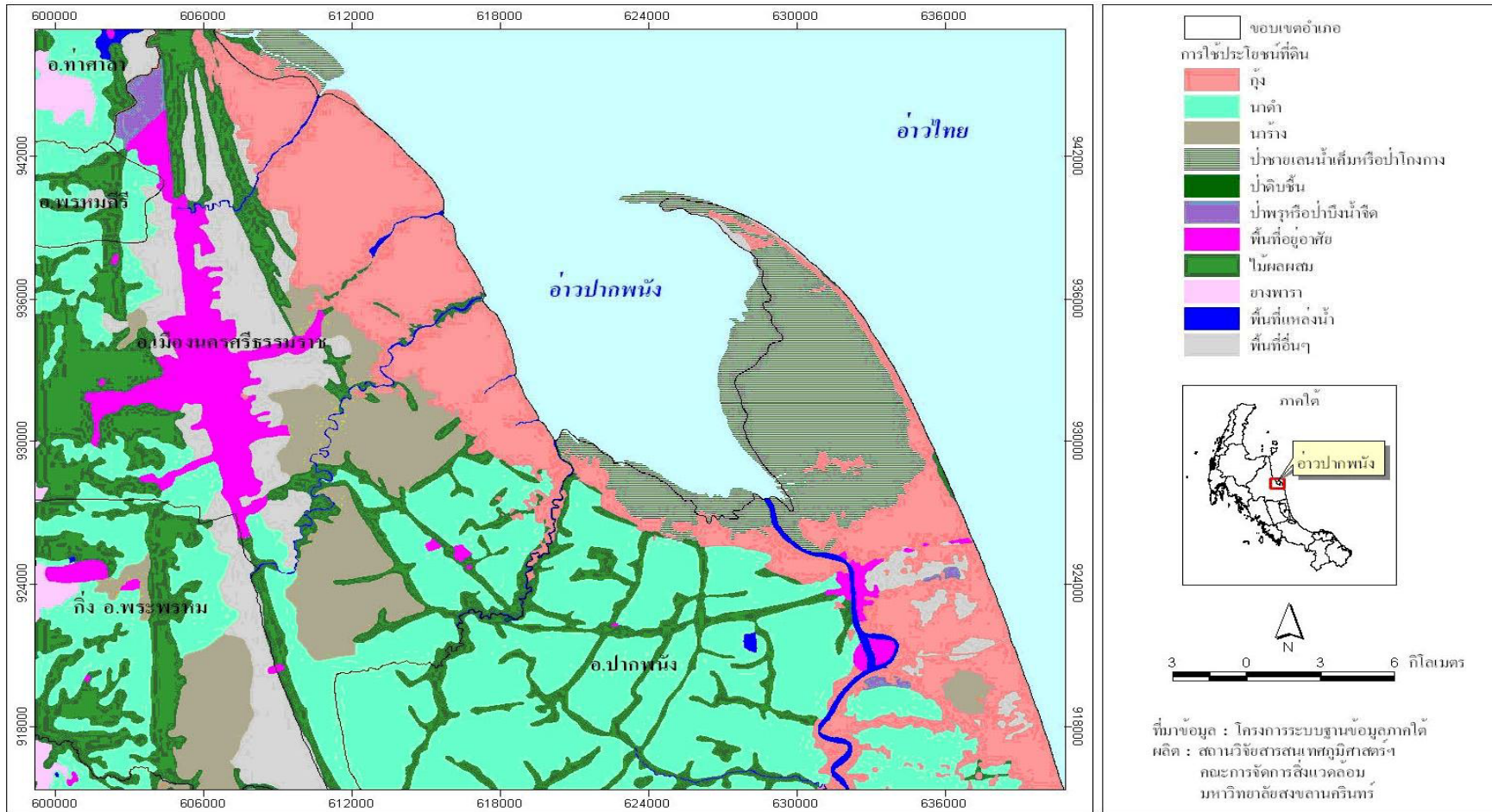
ประชาชนส่วนใหญ่ในกลุ่มน้ำปากพั่งประกอบอาชีพเกษตรกรรม ได้แก่ ทำนา ปลูกผลไม้ ปลูกไม้ยืนต้น ปลูกพืชผัก เลี้ยงสัตว์ ประมง มีการทำสวนยางอยู่มากพอสมควร สำหรับการทำเหมืองแร่จะอยู่ในเขตอำเภอรัตนบุรี และบริเวณที่เป็นภูเขา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแร่ ได้แก่ แร่ดีบุก หงสเดน พลวง ฟลูออไรด์ แบไรท์ และเหมืองหิน นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ในพื้นที่ชายฝั่ง อาชีพทางด้านอุตสาหกรรมยังไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ใช้วัตถุดิบที่ได้จากการเกษตรและประมง อุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมแปรรูปยางพารา อุตสาหกรรมปลาป่น และอุตสาหกรรมเซรามิก (กรมชลประทาน, 2536)

เมื่อร้อยปีที่ผ่านมา พื้นที่ลุ่มน้ำปากพั่งเคยเป็นแหล่งปลูกข้าวขนาดใหญ่ของภาคใต้ (กรมชลประทาน, 2536) ปัจจุบันรอบอ่าวปากพั่งส่วนใหญ่ก็ยังเป็นพื้นที่นาข้าว บริเวณที่ดอนมีการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น (เช่น ยางพาราและมะพร้าว) มีพื้นที่ป่าหลงเหลืออยู่บ้างตามขอบตะวันตกของพื้นที่ ส่วนบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลและพื้นที่ที่มีอิทธิพลของน้ำกร่อย มีนาุ้งซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่านับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากถูกเปลี่ยนไปเป็นนาุ้ง ในปี พ.ศ. 2544 พื้นที่นาุ้งทั้งหมดในจังหวัด นครศรีธรรมราช มีทั้งสิ้น 71,157.8 ไร่ ส่วนใหญ่อยู่รอบอ่าวปากพั่งทั้งสิ้น อำเภอเมือง มีพื้นที่นาุ้ง 26,500 ไร่ รองลงมา คือ ปากพั่ง 14,473 ไร่ หัวไทร 12,240 ไร่ และเชียรใหญ่ 6,940 ไร่ (ฝ่ายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพ สำนักงานประมงจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2544) นอกจากนี้ยังมีการเลี้ยงปลาน้ำกร่อยประมาณ 297 ไร่ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับการเลี้ยงกุ้งทะเล แต่ก็เป็นจังหวัดที่มีการเลี้ยงปลาน้ำกร่อยมากเป็นลำดับที่ 3 ของประเทศ รองจากจังหวัดสมุทรปราการ (1,363 ไร่) และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (1,057 ไร่) (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1.5.4 แหล่งกำเนิดมลพิษในกลุ่มน้ำปากพั่ง

ปี พ.ศ. 2546 กรมควบคุมมลพิษได้ติดตามตรวจสอบแหล่งกำเนิดมลพิษบริเวณลุ่มน้ำปากพั่ง ตลอดลำน้ำปากพั่งและคลองสาขา พบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ส่วนใหญ่มาจากการกระทำของมนุษย์เป็นหลัก (รูปที่ 1-4) ได้แก่ ชุมชน เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม แต่แหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพั่ง คือ ชุมชน รองลงมา ได้แก่ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)



รูปที่ 1-4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบอ่าวปากพนัง

ก) แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน

จังหวัดนครศรีธรรมราชแบ่งเขตการปกครองตามลักษณะพื้นที่ ออกเป็น 21 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ มีประชากรทั้งสิ้น 1,506,997 คน กลุ่มน้ำปากพน้ำนครครอบคลุมพื้นที่ 10 อำเภอของจังหวัดนครศรีธรรมราช คือ ปากพน้ำ หัวไทร เขียวใหญ่ ชะอวด เฉลิมพระเกียรติ ร่อนพิบูลย์ จุฬาภรณ์ พระพรหม ลานสกา และอำเภอเมือง มีจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่บริเวณกลุ่มน้ำปากพน้ำทั้งสิ้น 799,940 คน (กรมการปกครอง, 2550) ปัญหามลพิษโดยรวมส่วนใหญ่เกิดจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชนและพาณิชยกรรมที่ระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง (ได้แก่ กิจกรรมค้าขายสินค้า ตลาดกุ่ม เป็นต้น) และการทิ้งขยะในที่สาธารณะโดยขาดวิธีการจัดการที่เหมาะสม

น้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลทั้งหมดของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 46,200 ลบ.ม./วัน โดยมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD; biochemical oxygen demand) เฉลี่ยประมาณ 3,700 กก./วัน เทศบาลที่ก่อให้เกิดปริมาณน้ำเสียมากที่สุด คือ เทศบาลเมืองปากพน้ำ ซึ่งมีขนาดใหญ่ ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 4,668 ลบ.ม./วัน รองลงมาคือ เทศบาลตำบลหัวไทร ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 2,600 ลบ.ม./วัน จากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาน้ำเสียในแต่ละเขตเทศบาล เพื่อศึกษาความเหมาะสมและออกแบบระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดย บริษัท โมดัส คอนซัลแทนส์ จำกัด ในปี พ.ศ. 2546 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) พบว่าปัญหาน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากชุมชนริมน้ำ ได้แก่ แม่น้ำปากพน้ำ คลองชะอวด คลองหัวไทร นอกจากนี้จะมีการก่อสร้างอาคารรูก้ำลำน้ำแล้วยังถ่ายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง เทศบาลที่มีน้ำเสียในปริมาณมาก มีการใช้ที่ดินในระดับความหนาแน่นสูง และกระจุกตัวบริเวณศูนย์กลางชุมชนทั้งสองฝั่งของลำน้ำและทางหลวงแผ่นดิน ได้แก่ เทศบาลเมืองปากพน้ำ เทศบาลตำบลหัวไทร และเทศบาลตำบลชะอวด

แหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มีความหนาแน่นสูง โดยส่วนใหญ่เป็นอาคารที่พักอาศัยและอาคารพาณิชยกรรมที่ตั้งอยู่สองข้างถนนทางหลวงและถนนสายหลักบริเวณศูนย์กลางชุมชน ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปตามสถานะเศรษฐกิจ การรวบรวมและระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในเขตเทศบาลบริเวณกลุ่มน้ำปากพน้ำในปัจจุบัน ส่วนมากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กประกอบด้วยระบบบ่อเกรอะ-บ่อซึม (septic tank) ที่สามารถบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นเท่านั้น (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14, 2548)

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดขนาดใหญ่ ระบบการจัดการไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ จึงมีปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยมาก ในปี พ.ศ. 2548 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลทั้งหมดมีประมาณ 295 ตัน/วัน มีเพียงเทศบาลเมืองปากพน้ำเท่านั้นที่ดำเนินการจัดการขยะมูลฝอย

อย่างถูกหลักสุขาภิบาล แต่เทศบาลต่างๆ ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเผากลางแจ้ง หรือจุดหลุมฝังกลบเป็นครั้งคราวตามพื้นที่ต่างๆ ปัญหาที่พบในแต่ละเขตเทศบาล คือ การจัดการขยะมีพิษ ได้แก่ ถ่านไฟฉาย หลอดไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเทศบาลเก็บรวบรวมไว้ แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์กำจัดที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยเฉพาะปรอท เข้าสู่สิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำผ่านทางน้ำท่าหรือน้ำใต้ดิน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14, 2548)

ข) แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเกษตรกรรม

รอบลุ่มน้ำปากพนังส่วนใหญ่ยังเป็นที่การเกษตร ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำนาข้าวและสวนยางพารา พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ยางพารา ข้าว มะพร้าว ไม้ผล และปาล์มน้ำมัน จากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดินในปี พ.ศ. 2547 พบว่าจากพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัดนครศรีธรรมราช 6,214,064 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตร 3,062,459 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 49.28 โดยทำสวนยางพารามากที่สุด มีพื้นที่ปลูกประมาณ 1,838,641 ไร่ ผลผลิต 416,492,136 ตัน (เฉลี่ย 283 กก./ไร่) จัดเป็นลำดับที่ 3 ของพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดในภาคใต้ รองลงมา คือ พื้นที่ทำนาข้าว 636,599 ไร่ ผลผลิต 326,180,585 ตัน (เฉลี่ย 520.7 กก./ไร่) แต่ในพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำปากพนัง ได้แก่ อ.หัวไทร อ.ปากพนัง อ.เชียรใหญ่ อ.ชะอวด อ.จุฬาภรณ์ อ.ท่าศาลา กิ่ง อ.พระพรหม และ อ.เมือง ยังยึดอาชีพการทำนาเป็นส่วนใหญ่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2548)

การใช้ปุ๋ยและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่มากเกินไปจนความจำเป็นและไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีและโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท สารหนู เป็นต้น ในแหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีทำให้มีธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะไปกระตุ้นให้มีการเจริญเติบโตของพืชน้ำมากจนปกคลุมผิวน้ำ เมื่อพืชน้ำเหล่านี้ตายลงเป็นเหตุให้น้ำในแม่น้ำปากพนังและคลองสาขาเน่าเสีย แหล่งกำเนิดมลพิษจากพื้นที่การเกษตรจัดเป็นแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอน (non-point sources) และลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

ค) แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอุตสาหกรรม

ประชากรในลุ่มน้ำปากพนัง ร้อยละ 80 ยึดอาชีพด้านการเกษตรและการประมง ส่วนอุตสาหกรรมยังไม่เจริญมากนัก มักเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ใช้วัตถุดิบจากการเกษตรและประมงเป็นหลัก จังหวัดนครศรีธรรมราช มีโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 1,719 โรงงาน (ตาราง 1-1) อุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมแปรรูปยางพารา อุตสาหกรรมปลาป่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ และเครื่องนุ่งห่ม เป็นต้น ส่วนใหญ่มักตั้งอยู่ริมแม่น้ำปากพนังและคลองสาขาต่างๆ และมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2550)

ตาราง 1-1 สถิติจำนวนโรงงานแยกตามหมวดอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2550

ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน
การเกษตร	700
อาหาร	93
เครื่องดื่ม	1
สิ่งทอ	7
เครื่องหนัง	1
ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้	142
เฟอร์นิเจอร์และเครื่องเรือน	9
กระดาษและผลิตภัณฑ์จากกระดาษ	2
เคมี	3
ปิโตรเคมีและผลิตภัณฑ์	5
ยาง	123
พลาสติก	9
อลูมิเนียม	116
ผลิตภัณฑ์โลหะ	30
เครื่องจักรกล	57
ไฟฟ้า	4
ขนส่ง	76
อื่นๆ	341
รวม	1,719

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช (2550)

ง) แหล่งกำเนิดมลพิษจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ลุ่มน้ำปากพนังเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์ชายฝั่งที่สำคัญ โดยเฉพาะกุ้งทะเล ซึ่งมีการเลี้ยงหนาแน่นบริเวณแม่น้ำปากพนัง ริมคลองหัวไทร ริมฝั่งทะเลของ อ.เมือง และ อ.ปากพนัง คิดเป็นพื้นที่เลี้ยงทั้งหมด 144,164 ไร่ เกษตรกรส่วนใหญ่เลี้ยงกุ้งแบบระบบเปิด ระบายน้ำทิ้งทั้งระหว่างการเลี้ยงและในช่วงจับกุ้งลงสู่แหล่งน้ำชายฝั่งโดยตรง ส่งผลให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรม คุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งขนาด 0.7 – 6.5 ไร่ มีปริมาณความสกปรกในรูปของบีโอดีอยู่ในช่วง 10 – 50 มก./ล. ฟาร์มเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่มีคุณภาพน้ำทิ้งไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดให้น้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยระบุค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ได้แก่ ปลาตะกุง ปลาช่อน และปลานิล เป็นต้น คิดเป็นพื้นที่เลี้ยง 10,705 ไร่ (สำนักงานเกษตรจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2548) น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงที่ระบายลงสู่แม่น้ำปากพนังและคลองสาขา ประกอบไปด้วยเศษอาหาร ของเสียจากการจับถ่าย สารเคมี และยารักษาโรค โดยมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีในน้ำทิ้งแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์น้ำ ความหนาแน่นในการเลี้ยง และชนิดอาหารที่เลือกใช้ ตลอดจนความถี่ในการถ่ายเทน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ก)

จ) แหล่งกำเนิดมลพิษจากทำเทียบเรือและสะพานปลา

จังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนทำเทียบเรือและสะพานปลาทั้งหมด 78 แห่ง น้ำทิ้งจากทำเทียบเรือและสะพานปลาส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากทำเทียบเรือประมง สะพานปลา และแพปลา ยกเว้นน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะค่าบีโอดีมีค่าสูงมาก เนื่องจากน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการล้าง การทำความสะอาดสัตว์น้ำและการชำระเนื้อ โดยมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 301 – 2,855 มก./ล. (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14, 2548) องค์การสะพานปลาก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นในปี พ.ศ. 2547 โดยติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวเปิดใช้งานเป็นทางการมาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 สามารถบำบัดได้วันละ 500 ลบ.ม./วัน ซึ่งลดปริมาณของเสียที่ไหลลงสู่แม่น้ำปากพนังและส่งผลกระทบต่อคุณภาพบริเวณหน้าสะพานปลาดีขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ก)

ฉ) แหล่งกำเนิดมลพิษจากการทำเหมืองแร่

กระบวนการขุดแร่ ล้างแร่ และการถลุงแร่ ยังก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นแหล่งแร่ดีบุกที่สำคัญและมีการทำเหมืองแร่ในหลายจังหวัด รวมทั้งใน อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ปัจจุบันการทำเหมืองแร่ดีบุกลดจำนวนลงมาก จากข้อมูลสภาพแวดล้อมในปี พ.ศ. 2537 - 2547 พบว่าภายในระยะเวลา 10 ปี พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ พื้นที่ทำเหมืองแร่ จากพื้นที่ทำเหมืองประมาณ 2.53 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2537 ลดลงเหลือประมาณ 1.03 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2547 หรือลดลง 59.4% (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ก) จากการดื่มและการใช้น้ำจากบ่อน้ำตื้นที่มีการปนเปื้อนของสารหนูที่มาจากการทำเหมือง ทำให้ประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียงป่วยเป็น “โรคไขดำ”

วรพิน วิทวารวัฒน์ (2537) วิเคราะห์การปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียม และ ตะกั่วในน้ำและตะกอนดินจากลุ่มน้ำปากพนัง พบว่าแคดเมียมและตะกั่วทั้งในน้ำและตะกอนดิน ใน อำเภอร่อนพิบูลย์ มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งน้ำอื่นและจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่จะพบสารหนูปนเปื้อนสูงในดิน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.9 – 381.2 มก./กก. แม้ระยะเวลาจะผ่านมานาน ความเข้มข้นของสารหนูในดินที่ปนเปื้อนก็ไม่ได้ลดลง แต่ก็ไม่มีการแพร่กระจายออกไปแต่อย่างใด โดยพบว่าสารหนูในดินใน ตำบลร่อนพิบูลย์ บริเวณหมู่บ้านที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำ (หมู่ 8, 9, 11 และ 14) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.6 – 26.8 มก./กก. และในหมู่บ้านที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูง (หมู่ 1, 2, 12 และ 13) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 3.8 – 491 มก./กก. (Khoomrung, 2006)

การปนเปื้อนของสารหนูในน้ำใต้ดินปริมาณสูง พบการกระจายเป็นหย่อมๆ กระจายทั่วตำบลร่อนพิบูลย์ ทั้งในบริเวณที่เคยเป็นเหมืองแร่หรือมีกิจกรรมแต่งแร่ และบริเวณที่เป็นทางน้ำผ่าน เมื่อมีน้ำไหลหลากรุนแรง โดยพบค่าความเข้มข้นของสารหนู อยู่ในช่วง <1 – 4,699 มก./ล. แต่ไม่พบการแพร่กระจายจากจุดที่มีความเข้มข้นสูง บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารหนูในน้ำใต้ดินสูง พบว่าเป็นบริเวณเดียวกับบริเวณที่ดินมีสารหนูปนเปื้อน (ณัฐวุฒิ นาคงาม, 2549) ตริรัตน์ ทองบริบูรณ์ (2540) ทำการศึกษาการปนเปื้อนของสารหนูในพีชน้ำและสัตว์น้ำ จากตำบลร่อนพิบูลย์ จนถึงลุ่มน้ำปากพนัง โดยมีการตรวจวัดปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดิน มีค่าอยู่ในช่วง 101 – 1,855 มก./กก. น้ำหนักแห้ง บ่งชี้ว่าปริมาณการปนเปื้อนของสารหนูจากตำบลร่อนพิบูลย์จนถึงลุ่มน้ำปากพนัง มีค่าลดลงเรื่อยๆ โดยค่าสูงสุดตรวจพบในพื้นที่แหล่งต้นกำเนิด ซึ่งอยู่ในตำบลร่อนพิบูลย์ พืชบางชนิดสามารถสะสมสารหนูได้ในปริมาณสูง

Khoomrung (2006) ศึกษาตัวอย่างพืช 13 ชนิด จำนวน 121 ตัวอย่าง จาก 8 หมู่บ้าน (หมู่ 1, 2, 8, 9, 11, 12, 13 และ 14) ในตำบลร่อนพิบูลย์ พบสารหนูมีค่าอยู่ในช่วง <0.001 – 7.4 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยความเข้มข้นสูงสุดพบในใบโหระพา ความเข้มข้นของสารหนูในพืชหัว เช่น ข่าและขมิ้น พบในช่วง <0.001 – 0.26 และ 1.1 – 2.0 มก./ก. ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารหนูในพืชผลบางชนิด ได้แก่ หมาก กล้วย และพริก มีค่าอยู่ในช่วง <0.001 มก./ก. ส่วนมะละกอและฝรั่ง มีค่าอยู่ในช่วง <0.001 – 1.0 และ <0.001 – 0.5 มก./ก. ตามลำดับ สำหรับสารหนูในพืชใบ พบในใบโหระพา 1.8 – 7.4 มก./ก., ใบกะเพรา <0.001 – 4.5 มก./ก., ใบเล็บครุฑ <0.001 – 1.0 มก./ก., ตะไคร้ <0.001 – 1.0 มก./ก., ผักบุ้ง 1.0 – 2.3 มก./ก. และใบมะกรูด 0.2 – 0.3 มก./ก. พื้นที่ที่มีสารหนูสูง จะมีความเสี่ยงต่อการสะสมทางชีวภาพ และถ่ายทอดไปสู่ผู้บริโภค นอกจากนั้นจากการศึกษาโดยกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2547 พบว่าบริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ (ฝั่งอ่าวไทย) มีระดับของสารหนูสะสมอยู่ปริมาณสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1.6 ทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตั้งอยู่บนชายฝั่งด้านตะวันออกของภาคใต้ มีพื้นที่รวม 8,761 ตร.กม. ส่วนของทะเลสาบสงขลามีขนาด 1,046 ตร.กม. รองรับน้ำที่ทั้งหมดจากพื้นลุ่มน้ำซึ่งครอบคลุม 3 จังหวัด ได้แก่ พัทลุงทั้งจังหวัด บางอำเภอของสงขลา (เมือง หาดใหญ่ สะเดา รัตภูมิ ระโนด สทิงพระ ควนเนียง กระแสสินธุ์ นาหม่อม บางกล่ำ คลองหอยโข่ง) และบางส่วนของอำเภอชะอวดและหัวไทร ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ทิศตะวันตกของลุ่มน้ำเป็นเทือกเขาบรรทัดที่สูงชัน ทอดตัวยาวจากเหนือจรดใต้ ทิศใต้เป็นแนวเทือกเขาสันกาลาคีรี เทือกเขาทั้งสองเป็นต้นน้ำของทะเลสาบสงขลา (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข)

1.6.1 ลักษณะทางกายภาพ

ทะเลสาบสงขลาเกิดจากการสะสมของตะกอนและงอกเป็นสันดอนชายฝั่งปิดกั้นท้องน้ำที่เป็นอ่าวเดิม จนกลายเป็นทะเลสาบที่มีลักษณะเป็นทะเลสาบกึ่งปิด มีทางออกสู่ทะเลเพียงทางเดียวบริเวณอำเภอเมืองสงขลา ลักษณะของทะเลสาบคอคดเป็นตอนๆ แบ่งเป็น 4 ส่วน เชื่อมต่อกัน คือ ทะเลน้อยอยู่ทางเหนือสุด แยกออกจากทะเลสาบหลัก เป็นแอ่งน้ำจืดตลอดปี ถัดลงมา เป็นทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง ทะเลสาบสงขลาตอนนอก และเชื่อมต่อกับอ่าวไทย

ทะเลน้อยเป็นทะเลสาบน้ำจืดตื้นๆ อยู่ในพื้นที่พรุ ทะเลสาบสงขลาตอนในมีความลึกมากที่สุด ประมาณ 2.6 ม. รับน้ำจากทะเลน้อยและจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยตอนบน ได้แก่ คลองท่าแนะ คลองนาท่อม และคลองท่ามะเค็ด ทะเลสาบส่วนนี้เป็นท้องน้ำจืดขนาดใหญ่ แต่บางปีจะมีการรุกตัวของน้ำเค็มในช่วงที่แล้งจัด ทำให้มีค่าความเค็มสูงถึง 10 psu (Practical Salinity Unit) ส่วนทะเลสาบสงขลาตอนกลางค่อนข้างตื้น ลึกเฉลี่ย 1.5 ม. และทะเลสาบสงขลาตอนนอกสุดมีความลึกเฉลี่ย 2 ม.

ทะเลสาบสงขลาตอนนอกสุดได้รับอิทธิพลทั้งน้ำจืดจากต้นน้ำและน้ำเค็มจากอ่าวไทย ในอดีตพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยป่าชายเลน แต่ปัจจุบันถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่อยู่อาศัยและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทะเลสาบส่วนนี้นอกจากจะรับน้ำจากทะเลสาบคั่นในแล้ว ยังรับน้ำโดยตรงจากคลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองพะวง คลองลำโรง ซึ่งเป็นคลองที่ไหลผ่านชุมชนหนาแน่นและแหล่งอุตสาหกรรม (สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 8, 2551; สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข)

1.6.2 ลักษณะภูมิอากาศ

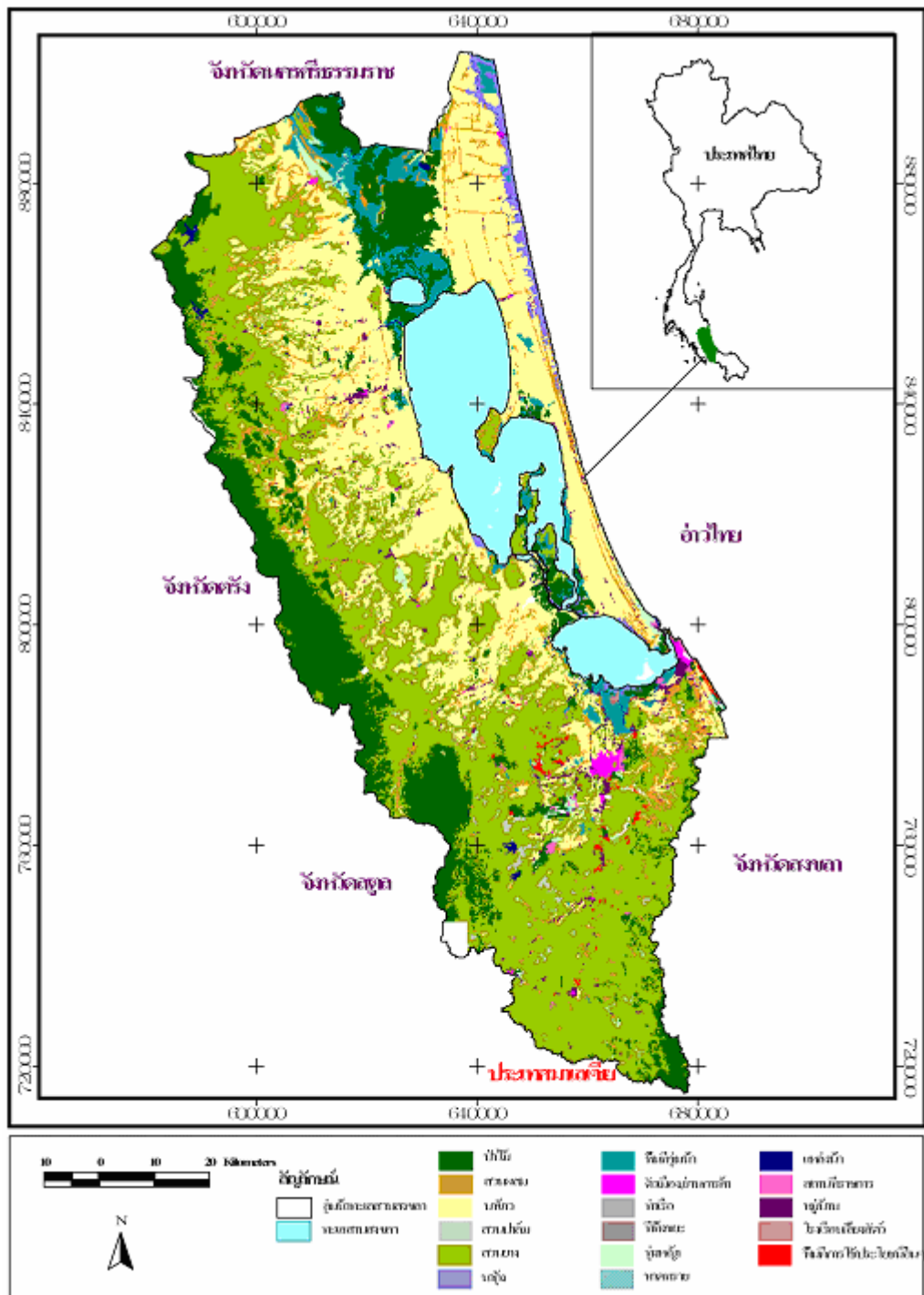
ลักษณะภูมิอากาศในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นแบบมรสุมเขตร้อน คือ มีอากาศร้อน ฝนตกชุก และอุณหภูมิสูงตลอดปี (อุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ในช่วง 26.7 – 29.1°ซ) แบ่งฤดูกาลออกได้ 2 ฤดู (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2548ข) คือ

ก) ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงมกราคม โดยมี 2 ช่วง ช่วงแรกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้ฝนตกน้อย ช่วงที่ 2 ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมกราคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านอ่าวไทย ทำให้ฝนตกชุก เดือนที่ฝนตกมากที่สุด คือ เดือนพฤศจิกายน

ข) ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ช่วงนี้จะได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียง ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น เดือนเมษายนอากาศจะร้อนที่สุด

1.6.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีจำนวนประชากรประมาณ 1.6 ล้านคน บริเวณที่มีการตั้งถิ่นฐานทำมาหากินเป็นชุมชนหนาแน่น ประกอบด้วย อำเภอเมืองพัทลุง อำเภอเมืองสงขลา และอำเภอหาดใหญ่ พืชเศรษฐกิจที่สำคัญในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา คือ ยางพารา รองลงมา คือ ข้าว และผลไม้ จากข้อมูลปี พ.ศ. 2545 พบว่าประมาณ 67% ของพื้นที่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีทั้งข้าว ยางพารา ผลไม้ การทำประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง พื้นที่ปลูกยางพาราอยู่บริเวณที่ราบเชิงเขา ส่วนพื้นที่ปลูกข้าวจะอยู่บริเวณที่ราบลุ่มรอบทะเลสาบ และสวนผลไม้จะกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณรอบๆ ที่อยู่อาศัยของชุมชนในชนบท การตั้งโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับยางพารา และอาหารทะเล ซึ่งมีอยู่หนาแน่นทางตอนใต้ของกลุ่มน้ำ บริเวณลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและคลองพะวง ส่วนพื้นที่เหมืองแร่ร้าง จะมีอยู่ประมาณ 4% ของพื้นที่ ปากทะเลสาบเป็นที่ตั้งของท่าเรือ น้ำลึกและท่าเรือประมงขนาดใหญ่ (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข) ลักษณะการใช้ประโยชน์โดยรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแสดงในรูปที่ 1-5



ที่มา: ฝ่ายข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2545)

รูปที่ 1-5 ลักษณะการใช้ประโยชน์โดยรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

1.6.4 แหล่งกำเนิดมลพิษในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ชุมชนเมืองที่หนาแน่นในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ก่อให้เกิดมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลจากอาคารบ้านเรือน นอกจากนี้การขยายตัวของอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา คลองพะวง และลำน้ำสาขา โดยปราศจากการควบคุมที่เหมาะสม ทำให้อุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษบนแผ่นดิน การขยายตัวทางด้านเกษตรกรรมทำให้มีการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น จนกลายเป็นแหล่งที่มาของมลพิษประเภทกระจายตัวได้ ทั้งในรูปสารอินทรีย์ อนินทรีย์ และโลหะหนักต่างๆ สู่แหล่งน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำในทะเลสาบเสื่อมโทรม โดยเฉพาะทะเลสาบสงขลาตอนล่าง โดยภาพรวมพบว่าแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มสุกร นาุ้ง และพื้นที่การเกษตรอื่นๆ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข)

ก) แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน

ปัญหามลพิษในแหล่งน้ำเป็นปัญหาที่มีความสัมพันธ์กับการขยายตัวของชุมชนและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำทิ้งและความสกปรกเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน โลหะหนักต่างๆ (รวมถึงปรอทและสารหนู) และสิ่งปฏิกูล ถูกทิ้งหรือชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากการจัดการที่ถูกต้องลักษณะ ส่งผลให้แหล่งน้ำธรรมชาติที่จะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาเสื่อมโทรมจากการสำรวจปริมาณความสกปรกของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าความสกปรกในรูปของบีโอดีเป็นปัญหามากที่สุด โดยที่มาหลักจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข)

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ประกอบด้วย 26 เทศบาล ได้แก่ เทศบาลนคร 2 แห่ง เทศบาลเมือง 2 แห่ง และเทศบาลตำบล 22 แห่ง กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา แต่ละชุมชนจะปล่อยน้ำเสียลงสู่ลำคลอง ซึ่งท้ายสุดจะเชื่อมลงสู่ทะเลสาบสงขลา ปริมาณและคุณภาพน้ำขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรและกิจกรรมในพื้นที่นั้นๆ คณะทำงานแก้ไขปัญหาน้ำเสียในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปี พ.ศ. 2547 ได้ประมาณความสกปรกในรูปบีโอดีโดยใช้ข้อมูลสำนักทะเบียนราษฎรในปี พ.ศ. 2546 พบว่าสูงถึง 14,200 กก./วัน พื้นที่ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียมากที่สุด คือ เทศบาลนครหาดใหญ่ เนื่องจากมีประชากรมากและหนาแน่นที่สุด รองลงมาคือ เทศบาลตำบลสิงหนคร และเทศบาลเมืองพัทลุง (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ทั้ง 26 เทศบาล ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีระบบบำบัดน้ำเสียรวมเพียง 2 แห่ง คือ เทศบาลนครหาดใหญ่ (รองรับน้ำเสียได้ 138,000 ลบ.ม./วัน) และเทศบาลนครสงขลา (รองรับน้ำเสียได้ 35,630 ลบ.ม./วัน) การวางระบบท่อรวบรวมน้ำเสียยังไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ ทำให้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียรวมได้เพียง

ประมาณ 7% ของประชากรทั้งหมดในกลุ่มน้ำ นอกจากนี้ระบบบำบัดถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารแขวนลอยเท่านั้น ยังไม่มีหน่วยบำบัดธาตุอาหารพืช (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) จึงยังคงให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ซึ่งปัญหานี้ในทะเลสาบสงขลามิมาไม่ต่ำกว่า 20 ปี และส่งผลกระทบต่อรุนแรงตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข)

ข) แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเกษตรกรรม

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามิฟาร์มสุกรกระจายตัวอยู่ทั่วไป จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2550 พบหนาแน่นมากที่สุดในพื้นที่จังหวัดสงขลา โดยมีถึง 30396,749 ตัว ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา (อำเภอหาดใหญ่และบางกล่ำ) มีถึง 7,513 ตัว และจังหวัดพัทลุงมีฟาร์มสุกรอยู่ 186,369 ตัว และหนาแน่นอยู่บริเวณลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม (อำเภอป่าพะยอม ควนขนุน และศรีบรรพต) มี 111,882 ตัว ในอำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช มี 6,981 ตัว ส่วนในเขต อำเภอสทิงพระ มีอยู่ 5,292 ตัว (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา, 2550; สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพัทลุง, 2550; สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครศรีธรรมราช, 2550) น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่มาจากการล้างพื้นคอกและโรงเรือน ซึ่งมีปัสสาวะ มูล และเศษอาหารปนเปื้อน ค่าความสกปรกเฉลี่ย 3,000 มก./ล. หรือประมาณ 100-136 ก./ตัว/วัน ซึ่งสูงกว่าความสกปรกของแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปถึง 750 เท่า มีปริมาณปรอทปนเปื้อนเฉลี่ย 0.0023 มก./ล. จากการใช้ยาปฏิชีวนะและสารเคมีต่างๆ (สุชาติ ฑีฆะกุล และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2547) ฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีอัตราการเกิดน้ำเสีย 20 ล./ตัว/วัน โดยฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีอัตราการผลิตน้ำเสียไม่เกิน 6,000 ล./ฟาร์ม/วัน มีค่าความสกปรกของบีโอดี เท่ากับ 1,500 มก./ล. ส่วนฟาร์มขนาดกลางมีอัตราการเกิดน้ำเสียเท่ากับ 15 ล./ตัว/วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

บริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงกุ้งมากที่สุดในลุ่มน้ำ คือ คาบสมุทรสทิงพระ ตั้งแต่พื้นที่ในเขตอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา ถึง อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนการเลี้ยงปลาในกระชังพบมากในอำเภอเมือง สิงหนคร และสทิงพระ จังหวัดสงขลา การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะการเลี้ยงปลาในกระชัง ก่อให้เกิดน้ำเสียจากการให้อาหารปลาในปริมาณที่เกินความต้องการและสิ่งขับถ่ายจากปลาที่เลี้ยง เกิดการตกค้างในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาตามมาอย่างมากมาย น้ำเสียและของเสียที่ถ่ายเทลงสู่ทะเลสาบสงขลา ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาและทะเลโดยตรง น้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงกุ้ง ที่เกิดจากอาหารกุ้ง สารเคมีและยาปฏิชีวนะที่ตกค้างในบ่อเลี้ยง รวมถึงสิ่งขับถ่าย และบางส่วนที่เป็นสารพิษปะปนอยู่กับน้ำในบ่อเลี้ยง เมื่อถ่ายเทออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ย่อมก่อให้เกิดอันตรายต่อแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำ

ชายฝั่ง จากการศึกษาของคณะทำงานแก้ไขปัญหาน้ำเสียในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปี พ.ศ. 2547 ได้ใช้ข้อมูลของสำนักงานสิ่งแวดล้อมที่ 12 พ.ศ. 2545 พบว่ามีพื้นที่เพาะเลี้ยงกุ้งในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา 21,348 ไร่ และระบายน้ำเสียลงสู่ทะเลสาบโดยตรง 18,028 ไร่ มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีประมาณ 3,330 กก./วัน ค่าความสกปรกที่สูงขึ้น นอกจากจะก่อให้เกิดสภาวะยูโทรฟิเคชัน ยังทำให้เกิดการแพร่ขยายของสาหร่ายหรือพืชน้ำบางประเภทในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จนเป็นปัญหาใหญ่จนถึงปัจจุบัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

สองในสามของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม แหล่งกำเนิดน้ำเสียประเภทนี้จึงมีการกระจายตัวสูงและยังไม่สามารถควบคุมได้ มลสารต่างๆ จะถูกน้ำฝนที่ไหลผ่านพื้นที่เพาะปลูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำ จากการใช้สารเคมีต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืชที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้เพื่อกำจัดแมลง เชื้อรา วัชพืชและสัตว์อื่นๆ ที่ทำลายพืช และเพื่อเร่งให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรปริมาณมาก จึงมีโอกาสน้ำปนเปื้อนสูงสู่แหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน และท้ายที่สุดก็ไหลไปรวมกันในทะเลสาบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) สารกำจัดศัตรูพืชที่เกิดขึ้นมีประมาณ 23,977 กก./ปี การใช้ปุ๋ยเคมีที่ส่งผลให้เกิดพืชน้ำเจริญเติบโต เป็นผลให้ทะเลสาบสงขลาเกิดสภาวะยูโทรฟิเคชันอย่างรวดเร็ว ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นจากพื้นที่การเกษตรในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีประมาณ 22,391,658 และ 4,295,113 กก./ปี ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข) ยุทธนา บัวแก้ว (2548) พบการสะสมของไนโตรเจนในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างเฉลี่ยเท่ากับ $0.25 \pm 0.11\%$, $0.15 \pm 0.09\%$ และ $0.23 \pm 0.17\%$ ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ $0.015 \pm 0.002\%$, $0.013 \pm 0.005\%$ และ $0.021 \pm 0.009\%$ ตามลำดับ การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จะทำให้น้ำในทะเลสาบสงขลาเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง

ในปี พ.ศ. 2548 มีโรงงานอุตสาหกรรมในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งสิ้น 1,839 โรงงาน (ตาราง 1-2) โดยตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มากที่สุด คิดเป็น 63% โรงงานส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ตั้งแต่ต้นแม่น้ำจนถึงบริเวณปากทะเลสาบสงขลา จังหวัดพัทลุงและนครศรีธรรมราช มี 344 และ 241 โรงงาน ตามลำดับ (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา, 2548; สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุง, 2548; สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2548) อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ ได้แก่ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางขึ้น ยางแท่ง อาหารทะเลแช่แข็ง อาหารกระป๋องปลาป่น เป็นต้น) สิ่งก่อสร้างอาหารและเครื่องคั้ม แปรรูปไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ สิ่งทอเครื่องนุ่งห่ม เคมีและพลาสติก โลหะและอโลหะ เป็นต้น อุตสาหกรรมซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดน้ำทิ้งที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ยางพารา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและ

สิ่งแวดล้อม, 2548ข) คณะทำงานแก้ไขปัญหาน้ำเสียในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในปี พ.ศ. 2547 ประมาณความสกปรกในรูปบีโอดี จากโรงงานอุตสาหกรรม เท่ากับ 900 กก./วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ตาราง 1-2 สถิติจำนวนโรงงานแยกตามหมวดอุตสาหกรรม ณ สิ้นเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548

ประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน
การเกษตร	557
อาหาร	179
เครื่องคั้น	5
สิ่งทอ	2
เครื่องแต่งกาย	1
ไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้	127
เฟอร์นิเจอร์และเครื่องเรือน	63
กระดาษและผลิตภัณฑ์จากกระดาษ	7
สิ่งพิมพ์	21
เคมี	18
ปิโตรเคมีและผลิตภัณฑ์	9
ยาง	178
พลาสติก	40
อลูมิเนียม	87
โลหะ	4
ผลิตภัณฑ์โลหะ	131
เครื่องจักรกล	59
ไฟฟ้า	7
ขนส่ง	104
อื่นๆ	240
รวม	1,839

ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา (2548)

จังหวัดสงขลามีท่าเทียบเรือประมงตั้งอยู่บริเวณปากทะเลสาบ ได้แก่ ท่าเทียบเรือท่าสะพาน ซึ่งเป็นท่าเทียบเรือขนาดใหญ่มีเนื้อที่ประมาณ 23 ไร่ จากการศึกษาในโครงการพัฒนากระบวนการจัดการน้ำเสียที่มีความเค็มในปี พ.ศ. 2543 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่าค่าความสกปรกในรูปของบีโอดี มีค่าประมาณ 870 กก./วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) และพบปรอทสะสมในตะกอนดินบริเวณท่าเทียบเรือเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 มก./กก. น้ำหนักแห้ง (ประไพศรี ธรฤทธิ์, 2545)

Sompongchaiyakul *et al.* (2005) รายงานการปนเปื้อนของปรอทในทะเลน้อย ทะเลสาบสงขลา ตอนบน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง และทะเลสาบสงขลาตอนล่าง มีค่าอยู่ในช่วง 63.4 – 113.1, 24.3 – 48.9, 31.6 – 62.0 และ 26.6 – 63.3 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และระดับของสารหนู มีค่าอยู่ในช่วง 5.7 – 10.8, 3.7 – 9.4, 5.0 – 10.8 และ 5.1 – 25.7 มก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

1.7 ปริมาณของปรอทและสารหนูในตะกอนดินในประเทศไทยและต่างประเทศ

ปรอทและสารหนูที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทั้งที่มาจากธรรมชาติ กิจกรรมต่างๆ บนแผ่นดิน และกิจกรรมปิโตรเลียมทางทะเล ท้ายที่สุดจะลงสู่แหล่งน้ำ และสะสมในตะกอนดิน ไม่ว่าจะอยู่ในน้ำ หรือสะสมในตะกอนดิน ย่อมส่งผลให้เกิดการถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิต แต่ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำอยู่ในระดับต่ำ ตรวจวัดยาก และการที่น้ำไหลต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา การเก็บตัวอย่างเพื่อให้ครอบคลุมและเป็นตัวแทนของพื้นที่นั้นๆ เป็นไปได้ยาก และต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง การตรวจวัดในตะกอนดินหรือสัตว์น้ำจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า (Guy *et al.*, 1978)

ระดับของปรอทและสารหนูในแต่ละพื้นที่นั้นมีความเข้มข้นมากน้อยแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน สภาพพื้นที่ และสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ ตาราง 1-3 แสดงความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอนดินจากพื้นที่ต่างๆ

จากตาราง 1-3 จะเห็นว่า ในพื้นที่บริเวณทะเลสาบสงขลา มีผู้ให้ความสนใจทำการศึกษาปริมาณการสะสมของปรอทและสารหนูในตะกอนดินครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของทะเลสาบสงขลา โดย Sompongchaiyakul *et al.* (2005) ศึกษาการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในตะกอนดินตั้งแต่ทะเลน้อย ทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง ตลอดถึงทะเลสาบสงขลาตอนนอก เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นที่ได้เสนอไว้ในข้อเสนอแนวทางการคุณภาพตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง (PCD, 2006) ซึ่งกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผล (Effect Range Low; ERL) และเกณฑ์ขั้นกลางที่ส่งผล (Effect Range Median; ERM) สำหรับปรอทเท่ากับ 0.15 และ 0.71 มก./กก. น้ำหนักแห้ง และสารหนู เท่ากับ 8.2 และ 70 มก./กก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ พบว่าระดับความเข้มข้นของปรอทในตะกอนดินในพื้นที่ทะเลสาบสงขลาที่มีค่าต่ำกว่าค่า ERL ในทุกสถานี สำหรับสารหนูพบว่าสถานีทั้งหมดในทะเลน้อยมีค่าสารหนูในตะกอนดินสูงกว่าค่า ERL แต่ยังมีค่าต่ำกว่าค่า ERM ขณะที่ตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง และทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีบางสถานีที่มีค่าสารหนูสูงกว่าค่า ERL แต่ยังมีค่าต่ำกว่าค่า ERM ตามเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกรมควบคุมมลพิษได้เสนอแนะไว้

ตาราง 1-3 ความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอนดินท้องน้ำในประเทศและพื้นที่ต่างๆ

Area	µg/g dry weight		% OC	Ref.
	Hg	As		
Macquarie Lake (Australia)	<0.010 – 0.03	4.6 – 23.0	–	[1]
Casco Bay (USA)	0 – 0.49	< 1.0 – 16.0	–	[2]
Venice lagoon (Italy), 2001	0.99 – 1.22	8.7 – 17.1	1.24 – 1.43	[3]
Venice lagoon (Italy), 2006	0.1	10	0.95	[4]
Moon Lake (USA)	5.61 ± 5.25	0.01 ± 0.02	–	[5]
Ulhas estury (India)	1.13 – 6.43	–	1.8 – 2.90	[6]
Izmir Bay (Turkey)	0.05 – 1.3	–	–	[7]
ท่าเทียบเรือปากทะเลสาบสงขลา	0.28	–	–	[8]
ทะเลสาบสงขลา				[9]
ทะเลน้อย	0.089 (0.063 – 0.113)	8.2 (5.7 – 10.8)	6.23 (2.93 – 9.22)	
ทะเลสาบตอนใน	0.036 (0.024 – 0.049)	5.6 (3.7 – 9.4)	0.97 (0.55 – 2.13)	
ทะเลสาบตอนกลาง	0.040 (0.032 – 0.062)	6.5 (5.0 – 10.8)	0.64 (0.20 – 1.16)	
ทะเลสาบตอนนอก	0.048 (0.027 – 0.063)	10.7 (5.1 – 25.7)	0.99 (0.47 – 2.01)	
คลองอู่ตะเภา อ.หาดใหญ่	< 0.02	–	–	[10]
ลุ่มแม่น้ำปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช	–	6.89 – 376.24	–	[11]
อ.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช	–	120 – 6,700	–	[12]
อ่าวไทย				
อ่าวไทยตอนบน	33.9 (<2 – 92.4)	–	0.93 (0.07 – 2.20)	[13]
อ่าวไทยตอนล่าง	24.4 (6.5 – 50.1)	–	0.68 (0.10 – 1.35)	

[1] Roach (2005) [2] Wade *et al.* (2008)
 [3] Sfriso *et al.* (2008) [4] Bernardello *et al.* (2006)
 [5] Cooper and Gillespie (2001) [6] Ram *et al.* (2003)
 [7] Kucuksezginetal (2006) [8] ประไพศรี ทรฤทธิ์ (2545)
 [9] Sompongchaiyakul *et al.* (2005) [10] วินิตา อธิไกรริน (2538)
 [11] วรพิน วิทยาวราวัฒน์ (2537) [12] อารี สุวรรณมณี (2534)
 [13] Buakaew (2008)

1.8 เกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน (Sediment Quality Guidelines) ในแต่ละประเทศ

ระดับของปรอทและสารหนูที่ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีค่าน้อยต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยทางเคมีของแต่ละลุ่มน้ำ รวมถึงแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้นการที่จะประเมินในแต่ละพื้นที่ว่ามีการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในตะกอนดิน จัดอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหรือไม่นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดค่า

มาตรฐานของแต่ละพื้นที่ซึ่งเป็นเรื่องยาก อย่างไรก็ตามก็เพื่อให้สามารถดูแลรักษาคุณภาพตะกอนดิน จึงมีการกำหนดเกณฑ์คุณภาพของตะกอนดิน ซึ่งแต่ละประเทศก็กำหนดค่าแตกต่างกันไป เพราะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นพื้นฐาน (background level) ของแต่ละพื้นที่ด้วย ดังตัวอย่างบางประเทศในตาราง 1-4

ตาราง 1-4 เกณฑ์ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแต่ละประเทศ

ประเทศ		µg/g dry weight	
		Mercury	Arsenic
Hong Kong	ISQV-Low	0.28	8.2
	ISQV-High	1	70
Australia - New Zealand	ISQV-Low	0.15	20
	ISQV-High	1	70
US-EPA	ERL	0.15	8.2
	ERM	0.71	70
ประเทศไทย (ข้อเสนอแนวทางคุณภาพตะกอนดินทะเลและชายฝั่ง)	ERL	0.15	8.2
	ERM	0.71	70

ที่มา: PCD. (2006)

หมายเหตุ: ERL = Effect Range Low

ERM = Effect Range Median

ISQV = Interim Sediment Quality Values

1.9 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนและปัจจัยที่ควบคุมการสะสมของปรอทและสารหนูในตะกอนดินผิวน้ำจากทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา ที่มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านกายภาพ ลักษณะภูมิอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแหล่งกำเนิดมลพิษบนแผ่นดินที่ต่างกัน ได้แก่ อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งฤดูแล้งและฤดูฝน และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายภาพเคมี ได้แก่ ขนาดอนุภาคตะกอน คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอนินทรีย์ (แคลเซียมคาร์บอเนต) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะทำให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มการสะสมของปริมาณปรอทและสารหนูในตะกอนดินในพื้นที่ที่ศึกษาได้ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้การวางแผนบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมด้านสารพิษในระยะยาวต่อไป

บทที่ 2 วิธีการวิจัย

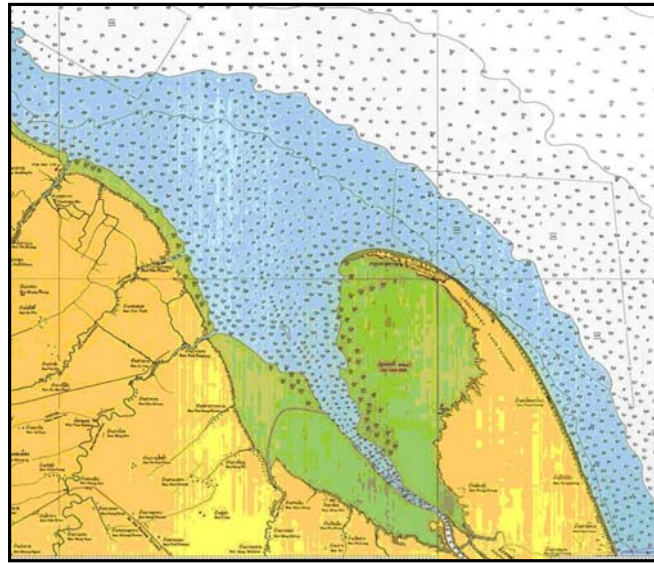
พื้นที่ในการศึกษารั้งนี้ ประกอบด้วย 3 พื้นที่ ได้แก่ อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา

2.1 จุดเก็บตัวอย่าง

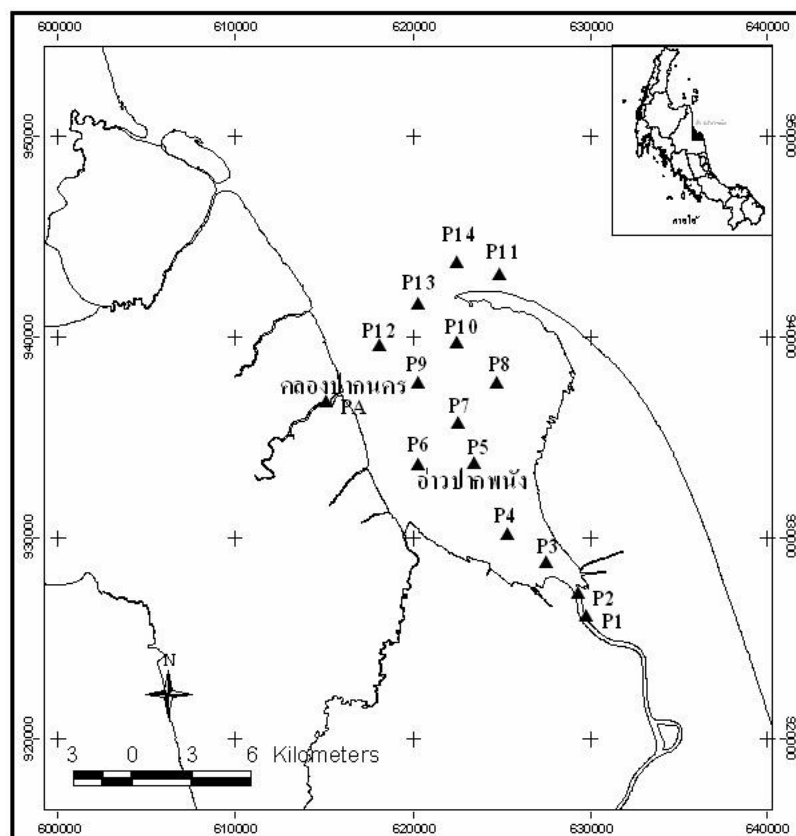
กำหนดจุดเก็บตัวอย่างเพื่อเก็บตัวอย่างตะกอนดินท้องน้ำให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยวิธี systematic grid sampling แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นกริด (grid) เพื่อให้จุดเก็บตัวอย่างกระจายและครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (Mudroch and MacKnight, 1994) โดยมีสถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่อ่าวปากพนัง 15 สถานี ในทะเลสาบสงขลาตอนใน 9 สถานี และนอกปากทะเลสาบสงขลา 16 สถานี พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง แสดงไว้ในตาราง 2-1 และรูปที่ 2-1, 2-2 และ 2-3 ตามลำดับ

ตาราง 2-1 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

(ก) อ่าวปากพนัง			(ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน			(ค) นอกปากทะเลสาบสงขลา		
สถานี	พิกัด		สถานี	พิกัด		สถานี	พิกัด	
	X	Y		X	Y		X	Y
P1	628787	926214	D1	635994	847459	S1	674196	799338
P2	628330	927383	D2	638421	847687	S2	676014	798758
P3	626733	928815	D3	638431	844038	S3	675444	799549
P4	624798	930269	D4	636115	844031	S4	674890	800130
P5	623155	933756	D5	633246	844023	S5	674260	800423
P6	620345	933736	D6	633238	847008	S6	673623	800866
P7	622312	935772	D7	633227	850768	S7	676319	799376
P8	624299	937836	D8	635433	850774	S8	675915	799928
P9	620343	937788	D9	638412	850783	S9	675345	800734
P10	622285	939793				S10	674721	801073
P11	624410	942007				S11	674139	801497
P12	618395	939708				S12	676884	800125
P13	620328	941787				S13	676051	800469
P14	622276	943807				S14	675944	801215
PA	616240	936268				S15	675299	801490
						S16	674647	802157

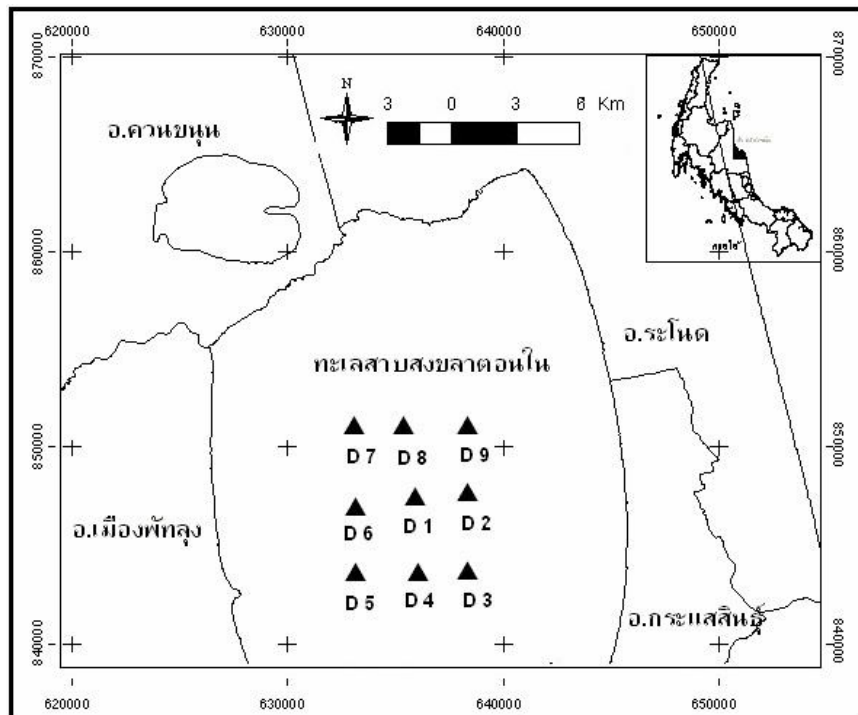


(ก)

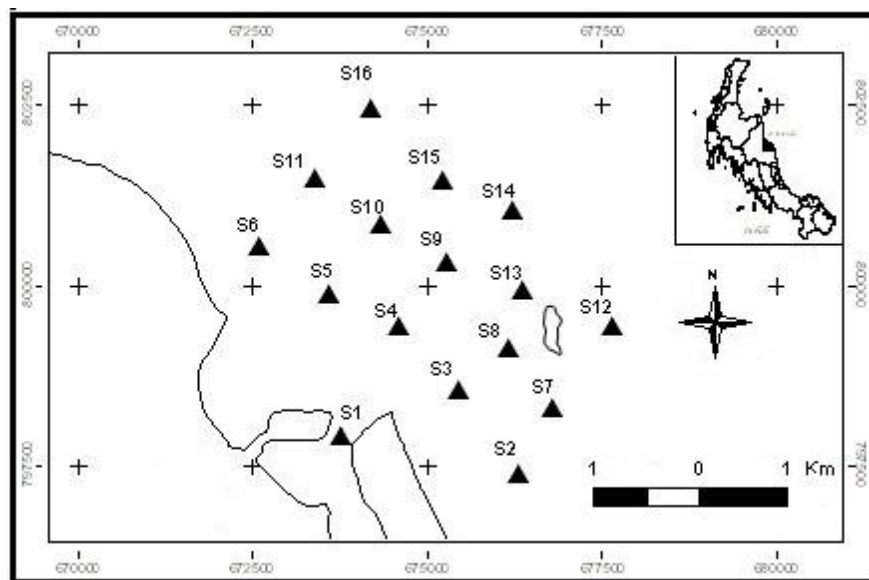


(ข)

รูปที่ 2-1 (ก) แนวร่อนน้ำบริเวณที่เก็บตัวอย่าง (ข) ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในอ่าวปากพนัง (สถานี P1 – แม่น้ำปากพนัง, สถานี P2-P14 – ในอ่าว และสถานี PA – ในคลองปากนคร)



รูปที่ 2-2 ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนใน



รูปที่ 2-3 ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา

อ่านพิกัดภูมิศาสตร์ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างตะกอนดินแต่ละสถานีด้วยเครื่อง GPS (Global Positioning System) ทั้ง easting (X) และ northing (Y) ในระบบ WGS 84 zone 47N-UTM

2.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนดินที่องน้ำโดยใช้เครื่องมือเก็บตะกอนดินผิวหน้าชนิด Birge-Ekman ซึ่งเป็นตะกอนดินตั้งแต่ผิวหน้าถึงระดับความลึกประมาณ 10 ซม. หลังจากได้ตะกอนดินแล้ว เก็บตัวอย่างตะกอนดินจากตรงกลางเครื่องมือซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สัมผัสกับโลหะบรรจุลงถุงพลาสติกสะอาด ปิดผนึกให้แน่น ติดฉลากบันทึกสถานีและวันที่เก็บ และสวมทับด้วยถุงพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง ก่อนเก็บรักษาในถังแช่แข็ง นำกลับมายังห้องปฏิบัติการ การเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่องน้ำดำเนินการใน 2 ฤดูกาล เพื่อให้ครอบคลุมใน 1 รอบปี ดังตาราง 2-2

ตาราง 2-2 วันที่เก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ในแต่ละฤดูกาลในปี พ.ศ. 2550

พื้นที่	ฤดูน้ำน้อย (ฤดูแล้ง)	ฤดูน้ำมาก (ฤดูฝน)
อ่าวปากน้ำ	14 กุมภาพันธ์ 2550	23 พฤษภาคม 2550
ทะเลสาบสงขลาตอนใน	12 พฤษภาคม 2550	6 มกราคม 2550
นอกปากทะเลสาบสงขลา	28 กุมภาพันธ์ 2550	1 มิถุนายน 2550

2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

เมื่อถึงห้องปฏิบัติการ อบตัวอย่างตะกอนดินให้แห้งที่อุณหภูมิ $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ในตู้อบที่ทำความสะอาดจนปราศจากฝุ่น โดยไม่ต้องถ่ายออกจากถุงพลาสติก เพียงแต่เปิดปากถุงพลาสติกและอบจนกว่าจะแห้งสนิท ใช้เวลาอบประมาณ 3 วัน ถึง 1 สัปดาห์ ระหว่างการอบใช้มือขยี้ภายนอกถุงพลาสติกเป็นระยะๆ เพื่อไม่ให้ตะกอนกอดตัวกัน

เมื่อตัวอย่างแห้งดีแล้ว (น้ำหนักตะกอนคงที่) แบ่งตะกอนออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งไม่ต้องบด สำหรับวิเคราะห์หาองค์ประกอบขนาดอนุภาคของตะกอน (grain size composition) อีกส่วนหนึ่งบดให้ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกร่งโมรา (agate mortar) สำหรับใช้วิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ คาร์บอนอินทรีย์ คาร์บอนอนินทรีย์ (แคลเซียมคาร์บอเนต) โปรท และสารหนู (Sompongchaiyakul, 1989; Loring and Rantala, 1995; เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2549)

2.4 การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมี

2.4.1 การหาขนาดอนุภาคของตะกอนดิน

การหาองค์ประกอบขนาดอนุภาคของตะกอนดิน ใช้เทคนิคการร่อนเปียกผ่านตะแกรง ขนาดรูเปิด 63 ไมครอน หลังจากกำจัดสารอินทรีย์ที่เชื่อมระหว่างอนุภาคแล้ว โดยใช้ 10% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง คือ อนุภาคขนาดทราย (> 63 ไมครอน) และส่วนที่ลอดผ่านตะแกรง คือ ส่วนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอน นำไปหาสัดส่วนของอนุภาคทรายแป้ง (2 – 63 ไมครอน) และอนุภาคดินเหนียว (< 2 ไมครอน) โดยวิธีการตกตะกอน ซึ่งเป็นไปตาม Stoke's Law โดยวิธีที่ปรับปรุงจาก Müller (1967) และ Carver (1971) ดังรายละเอียดวิธีการใน Sompongchaiyakul (1989) ดูรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ก

2.4.2 การหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่าย

วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่าย ด้วยวิธีวอลกี-แบล็ค (Walkey-Black method) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงโดย Loring and Rantala (1995) ดังรายละเอียดวิธีการใน Sompongchaiyakul (1989) ดูรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข

2.4.3 การหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยวิธี acid-base titration ตามวิธีการทดสอบที่ใช้ใน Sompongchaiyakul (1989) ดูรายละเอียดวิธีการในภาคผนวก ค

2.4.4 การย่อยสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ปรอทรวม (total mercury)

เครื่องแก้วและภาชนะพลาสติกทุกชิ้นที่ใช้ ก่อนการใช้งานให้ทำความสะอาดด้วยกรดตามวิธีการในภาคผนวก ง

ย่อยสกัดตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจาก Bloom and Crecelius (1987) และ US-EPA METHOD 1631B (US-EPA, 2001) โดยย่อยสกัดด้วยกรดกัดทอง (aqua regia) จากนั้นออกซิไดซ์ปรอทอินทรีย์ทั้งหมดในสารละลายให้อยู่ในรูปปรอทอินทรีย์ ริคิวซ์ ปรอททุกรูปให้เป็นไอปรอท (Hg^0) และตรวจวัดปริมาณไอปรอทโดยใช้เทคนิคไฮโดรเจนเนอเรชัน (hydride generation) ด้วยเครื่อง Perkin-Elmer Flow Injection Mercury Analyzer (FIMSTM 400) โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระที่ความยาวคลื่นเฉพาะตัว โดยไอปรอทจะดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น เท่ากับ 253.7 นาโนเมตร ระดับต่ำสุดของปรอทในตะกอนดินที่ตรวจวัด

ได้โดยเทคนิคนี้ (คำนวณจาก detection limit ของเครื่อง FIMSTM 400 และปริมาณตะกอนดินที่นำมาวิเคราะห์) เท่ากับ 0.0006 มก./ก. ดูรายละเอียดวิธีการย่อยสกัดและตรวจวัดในภาคผนวก จ

เทคนิคไฮโดรด์เจนเนอเรชันเป็นเทคนิคการทำให้ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารละลาย ระเหยกลายเป็นไอและแตกตัวเป็นอะตอมอิสระในหลอดแก้วควอทซ์ (quartz cell) ซึ่งบรรจุอากาศภายในหลอดแก้วปราศจากออกซิเจน เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนหรือการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) จากนั้นวัดการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระที่ความยาวคลื่นเฉพาะตัวของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับ ppb (part per billion) (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

2.4.5 การย่อยตัวอย่างและวิเคราะห์สารหนูรวม (total arsenic)

เครื่องแก้วและภาชนะพลาสติกทุกชิ้นที่ใช้ ก่อนการใช้งานให้ทำความสะอาดด้วยกรดตามวิธีการในภาคผนวก ง

ย่อยตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธีการของ Loring and Rantala (1995) โดยย่อยด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid; HF) และกรดกัดทอง (aqua regia) ใน Teflon bomb ภายใต้ความดันในเตาไมโครเวฟ และตรวจวัดปริมาณสารหนูในสารละลายโดยใช้เครื่องอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมา – แมสสเปกโตรสโคปี (inductively coupled plasma – mass spectroscopy; ICP-MS) ยี่ห้อ Agilent ระดับต่ำสุดของสารหนูในตะกอนดินที่ตรวจวัดได้โดยเทคนิคนี้ (คำนวณจาก detection limit ของเครื่อง ICP-MS และปริมาณตะกอนดินที่นำมาวิเคราะห์) เท่ากับ 0.3 มก./ก. ดูรายละเอียดวิธีการย่อยตัวอย่างและตรวจวัดในภาคผนวก ฉ

เทคนิค ICP-MS เป็นเทคนิคที่ทำให้ละอองสารละลายซึ่งถูกพาเข้าสู่กึ่งกลางของพลาสมาที่เป็นแหล่งให้พลังงานกระตุ้นความร้อนสูง (1,000 – 10,000 เคลวิน) พลังงานจากพลาสมาจะทำให้อะตอมของธาตุแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ในส่วนแรกของเครื่องมือ เรียกว่า ส่วนผลิตไอออน (ionization source) ไอออนที่ได้จะถูกส่งผ่านเข้าสู่ส่วนวิเคราะห์มวล (mass analyzer) โดยมีควอดรูโพล (quadrupole) ซึ่งภายในจะมีศักย์ไฟฟ้าและคลื่นความถี่วิทยุทำหน้าที่ในการจำแนกมวล และส่วนประกอบสุดท้าย คือ ส่วนรับสัญญาณ (detector) ทำหน้าที่เป็นฉากรับเมื่อมีไอออนมาตกกระทบเพื่อส่งข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลหรือระบบซอฟต์แวร์ และแสดงผลออกมาในกราฟที่มีชื่อเรียกเฉพาะว่า แมสสเปกตรัม (mass spectrum) ที่มีแกนตั้งเป็นค่า relative intensity และแกนนอนเป็นค่ามวลต่อประจุ (m/z) เทคนิคนี้รายงานความเข้มข้นของสารหนูในรูปของมวลโมเลกุล (molecular mass) โดยการเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม, 2535)

2.5 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์โดยทำแบลงค์ (blank) ทุกครั้ง และวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำทุก 10% ของตัวอย่าง ค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนของตัวอย่างที่วิเคราะห์ซ้ำ (SD/mean) ต้องมีค่าน้อยกว่า 10% สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ทำการ standardize สารละลายมาตรฐานที่ใช้ทุกครั้งที่ทดลอง (รายละเอียดดูในภาคผนวก ข และ ค)

ในการตรวจความถูกต้องของวิธีการ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ใช้การวิเคราะห์ dextrose ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข ส่วนความถูกต้องของการวิเคราะห์โลหะหนัก ใช้การวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิง ซึ่งทราบค่าที่แน่นอน (Certified Reference Materials หรือ CRM) ของ National Research Council of Canada ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ MESS-1 และ BEST-1 สำหรับการวิเคราะห์ปรอทรวม และใช้ MESS-1 สำหรับการวิเคราะห์สารหนูรวม โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ด้วยวิธีการเดียวกับตะกอนดิน

2.6 การนำเสนอข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

วิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลการแพร่กระจายตามพื้นที่ ด้วยข้อมูลภาพที่สร้างขึ้นโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (spatial analysis) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) ด้วยโปรแกรม ArcView 3.2a

2.7 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

2.7.1 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) วิเคราะห์หาค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่ามัธยฐาน (median) ของข้อมูล เปรียบความเข้มข้นของปรอทและสารหนูในตะกอนดินของแต่ละสถานีและในพื้นที่ทั้ง 3 บริเวณ ได้แก่ อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา โดยใช้แผนภูมิกล่อง (Box Plot) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแจกแจงข้อมูล รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนูกับปัจจัยทางกายและทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficients) โดยใช้โปรแกรม SPSS® 11.5

2.7.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักโดยใช้ Principal Components Analysis (PCA)

วิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปรด้วยวิธี Principal Components Analysis (PCA) โดยใช้โปรแกรม SPSS[®] 11.5 และ MINITAB[®] 14 วิธี PCA เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ โดยใช้เทคนิคการรวมปัจจัยต่างๆ ในแต่ละพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่ม หรือ factor เดียวกัน กรณีที่ปัจจัยต่างๆ มีจำนวนมาก สามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยออกได้หลายๆ factor ปัจจัยที่จัดอยู่ใน factor เดียวกัน แสดงว่าปัจจัยเหล่านั้นสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นไปได้ในทิศทางบวก (ในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ในทิศทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ซึ่งจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) บ่งชี้ความสัมพันธ์ในทางสถิติ ส่วนปัจจัยที่อยู่ต่าง factor นั้น ในทางสถิติถือว่าปัจจัยดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้อองค์ประกอบหลัก (component) ที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1.0 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

2.7.3 การทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากรแบบจับคู่

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกทดสอบความแตกต่างในระหว่างฤดูกาลในทางสถิติด้วยการวิเคราะห์แบบจับคู่ (Paired t-test) โดยใช้โปรแกรม SPSS[®] 11.5 เลือกใช้ Exclude Case Analysis by Analysis ซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวแปร 2 ชุด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางกายภาพเคมีและโลหะหนัก คือ ขนาดอนุภาคตะกอน (ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว) คาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต โปรท และสารหนู ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 และ 0.05 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

บทที่ 3

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพเคมีและโลหะหนัก (ปรอทและสารหนู) ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง 15 สถานี (P1 ในแม่น้ำปากพนัง, P2–P14 ในอ่าวปากพนัง และ PA ในคลองปากนคร) ทะเลสาบสงขลาตอนใน 9 สถานี (สถานี D1–D9) และนอกปากทะเลสาบสงขลา 16 สถานี (สถานี S1–S16) ในฤดูแล้งและฤดูฝน สรุปไว้ในตาราง 3-1 ส่วนรายละเอียดผลการศึกษารายสถานีรายงานไว้ในตาราง ๓-1 ถึง ๓-3 ภาคผนวก ๓

3.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของตะกอนดิน

จากผลการศึกษานำขนาดอนุภาคและพล็อตการกระจายตัวของขนาดอนุภาคตะกอนดินลงใน sediment texture triangle diagram ตามสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคขนาดทราย (> 63 ไมครอน) ขนาดทรายแป้ง (2-63 ไมครอน) และขนาดดินเหนียว (< 2 ไมครอน) เพื่อแจ้งประเภทของเนื้อตะกอนดินในอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 3-1 ถึง 3-6) สรุปได้ว่า

ก) อ่าวปากพนัง

ตะกอนดินในอ่าวปากพนัง มีลักษณะเป็น โคลนละเอียดสีเทาออกดำ ตะกอนดินส่วนใหญ่เป็นอนุภาคขนาดทรายแป้งปนดินเหนียว (clayey silt) ในทั้ง 2 ฤดู (รูปที่ 3-1) สัดส่วนของขนาดอนุภาคตะกอนดินแต่ละสถานีมีความแปรปรวนบ้าง แต่ไม่มากนัก (รูปที่ 3-4) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความแตกต่างของปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มากับมวลน้ำจืดที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน โดยสถานีที่มีอนุภาคตะกอนเนื้อละเอียดมาก ส่วนใหญ่เป็นสถานีในอ่าว และส่วนสถานีที่มีอนุภาคตะกอนเนื้อหยาบเป็นสถานีที่อยู่บริเวณปลายแหลมตะลุมพุก ได้แก่ สถานี P11, P13 และ P14 ซึ่งได้รับอิทธิพลจากทะเลมากกว่าสถานีอื่น แต่สถานี P11 ในฤดูฝน จะมีอนุภาคขนาดทรายแป้งมาก อาจเป็นเพราะได้รับอิทธิพลจากตะกอนแขวนลอยที่มากับมวลน้ำจืด

ตาราง 3-1 การกระจายของขนาดอนุภาค ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต ปรอท และสารหนู ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปาก ทะเลสาบสงขลา ในช่วงฤดูแล้ง (น้ำน้อย) และช่วงฤดูฝน (น้ำมาก)

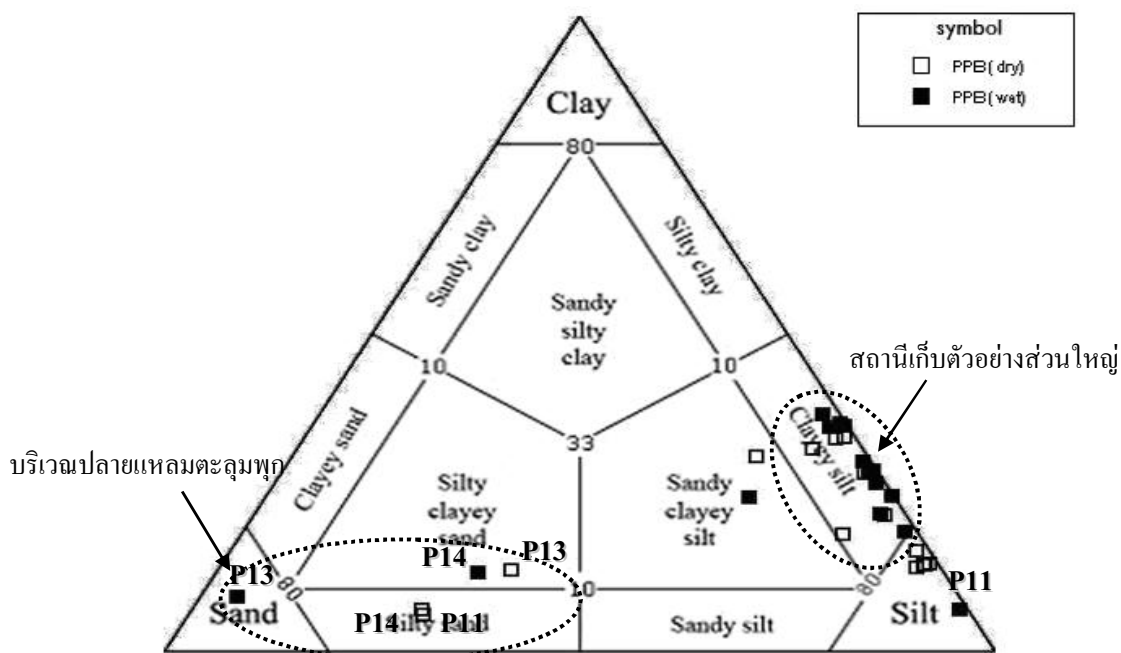
(ก) ฤดูแล้ง (น้ำน้อย)

พื้นที่	%Sand ± SD	%Silt ± SD	%Clay ± SD	%OC ± SD	%CaCO ₃ ± SD	มก./ก. น้ำหนักแห้ง	
						Hg	As
อ่าวปากพนัง (n = 15)							
ค่าเฉลี่ย	15.2 ± 24.2	65.2 ± 20.3	19.6 ± 9.6	0.80 ± 0.39	5.8 ± 3.9	0.026 ± 0.013	8.9 ± 3.5
ต่ำสุด - สูงสุด	0.9 – 66.0	27.6 – 85.1	5.8 – 33.7	0.08 – 1.52	2.2 – 14.8	0.001 – 0.055	<0.3 – 13.8
ค่ามัธยฐาน	2.4	70.3	15.9	0.92	4.6	0.026	9.8
ทะเลสาบตอนใน (n = 9)							
ค่าเฉลี่ย	0.2 ± 0.1	70.3 ± 3.6	29.5 ± 3.6	1.10 ± 0.25	2.1 ± 0.7	0.051 ± 0.036	3.2 ± 0.7
ต่ำสุด - สูงสุด	0.1 – 0.5	65.6 – 76.5	23.2 – 34.3	0.76 – 1.58	1.0 – 3.4	0.021 – 0.140	1.6 – 3.9
ค่ามัธยฐาน	0.2	70.9	29.0	1.06	2.1	0.043	3.2
นอกปากทะเลสาบ (n = 16)							
ค่าเฉลี่ย	45.9 ± 38.6	40.2 ± 33.8	13.8 ± 8.6	0.58 ± 0.45	10.5 ± 18.3	0.033 ± 0.022	6.9 ± 3.8
ต่ำสุด - สูงสุด	0.1 – 94.5	0.2 – 90.0	2.5 – 24.6	0.07 – 1.50	2.2 – 77.1	0.008 – 0.090	1.8 – 13.8
ค่ามัธยฐาน	37.7	41.2	11.7	0.63	4.4	0.030	6.8

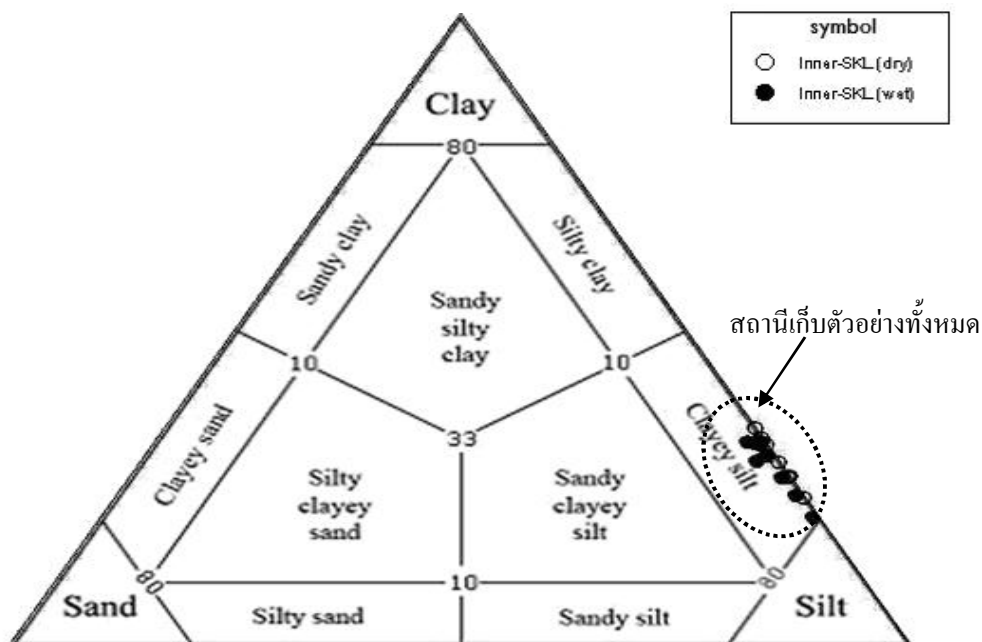
(ข) ฤดูฝน (น้ำมาก)

พื้นที่	% Sand ± SD	% Silt ± SD	% Clay ± SD	% OC ± SD	% CaCO ₃ ± SD	มก./ก. น้ำหนักแห้ง	
						Hg	As
อ่าวปากพนัง (n = 15)							
ค่าเฉลี่ย	11.6 ± 25.4	63.4 ± 21.0	25.0 ± 9.8	0.75 ± 0.33	11.5 ± 12.1	0.023 ± 0.010	6.0 ± 1.9
ต่ำสุด - สูงสุด	0.1 – 87.0	4.4 – 92.6	6.6 – 37.4	0.11 – 1.22	4.2 – 35.4	0.006 – 0.037	3.3 – 10.4
ค่ามัธยฐาน	1.0	69.2	26.5	0.90	5.6	0.023	5.6
ทะเลสาบตอนใน (n = 9)							
ค่าเฉลี่ย	1.2 ± 0.6	70.1 ± 4.5	28.6 ± 4.2	1.09 ± 0.18	0.7 ± 0.4	0.047 ± 0.026	5.2 ± 2.4
ต่ำสุด - สูงสุด	0.6 – 2.4	65.9 – 79.0	20.4 – 32.2	0.82 – 1.51	0.2 – 1.6	0.030 – 0.111	<0.3 – 8.1
ค่ามัธยฐาน	1.1	68.5	29.9	1.09	0.6	0.039	6.1
นอกปากทะเลสาบ (n = 16)							
ค่าเฉลี่ย	58.9 ± 33.3	16.5 ± 7.4	24.6 ± 29.1	0.40 ± 0.27	15.2 ± 17.0	0.027 ± 0.014	8.3 ± 3.4
ต่ำสุด - สูงสุด	1.6 – 92.3	7.0 – 34.9	0.7 – 84.2	0.06 – 0.92	2.4 – 67.5	0.005 – 0.055	3.3 – 13.6
ค่ามัธยฐาน	77.2	14.7	11.1	0.34	7.6	0.029	8.6

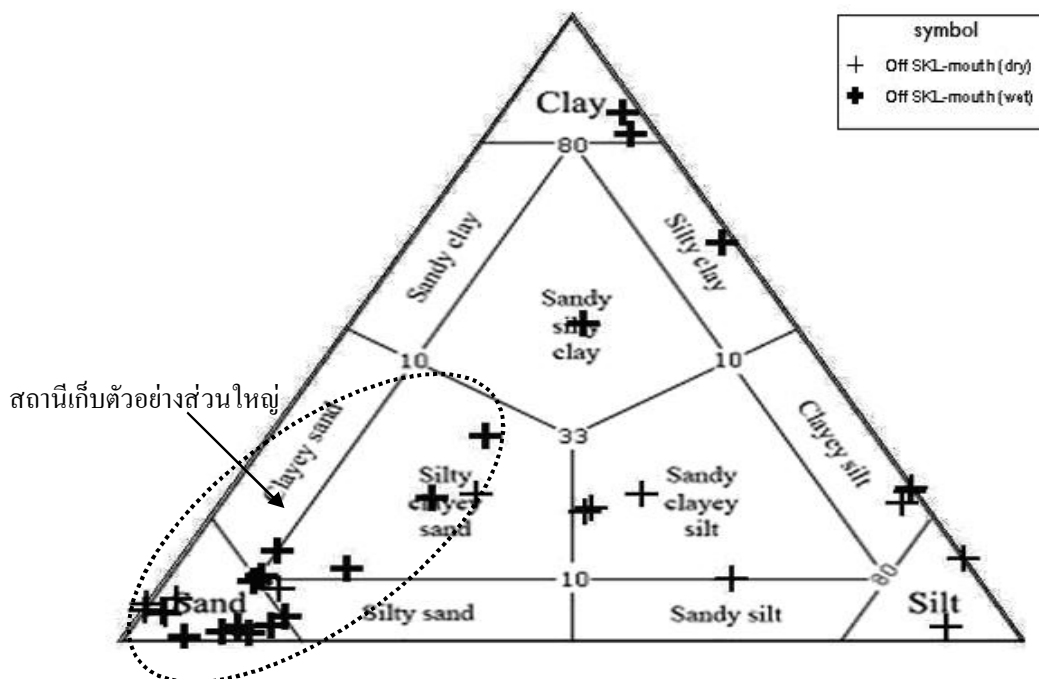
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 3-1 Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินอ่าวปากพองของแต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)



รูปที่ 3-2 Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนในของแต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)



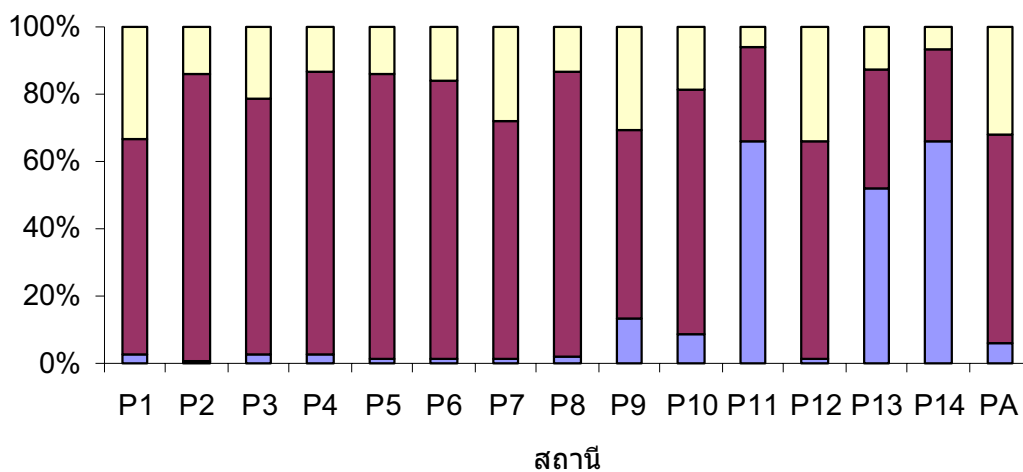
รูปที่ 3-3 Sediment texture triangle diagram ของตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลาของแต่ละสถานี ในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season)

ตะกอนดินอ่าวปากพนังในฤดูแล้งและฤดูฝน มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายอยู่ในช่วง 0.9 – 66.0 % (เฉลี่ย 15.2 ± 24.2 %) และ 0.1 – 87.0 % (เฉลี่ย 11.6 ± 25.4 %) ตามลำดับ และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 2.4% และ 1.0 % ตามลำดับ (ตาราง 3-1) เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณอนุภาคขนาดต่างๆ ด้วย paired t-test (ตาราง 3-1 ภาคผนวก 3) พบว่า ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมีความแตกต่างในระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

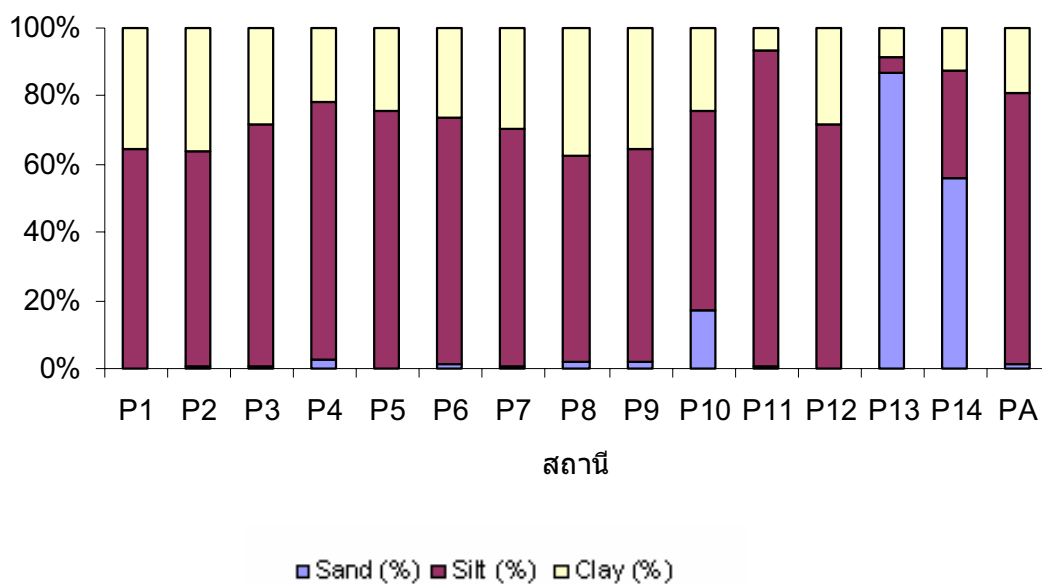
ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน

ตะกอนดินแต่ละสถานีในทะเลสาบสงขลาตอนในมีลักษณะเป็นโคลนละเอียดสีน้ำตาลดำ ตะกอนดินในทุกสถานีเป็นอนุภาคขนาดทรายแป้งปนดินเหนียว (clayey silt) ทั้ง 2 ฤดู (รูปที่ 3-2) ลักษณะโดยรวมมีเนื้อละเอียดมากที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาอื่น โดยอนุภาคขนาดทรายจะมีอยู่น้อยมาก สัดส่วนของขนาดอนุภาคตะกอนแทบจะไม่แตกต่างกัน ทั้งในระหว่างสถานีและระหว่างฤดูกาล (รูปที่ 3-5)

ฤดูแล้ง : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2550

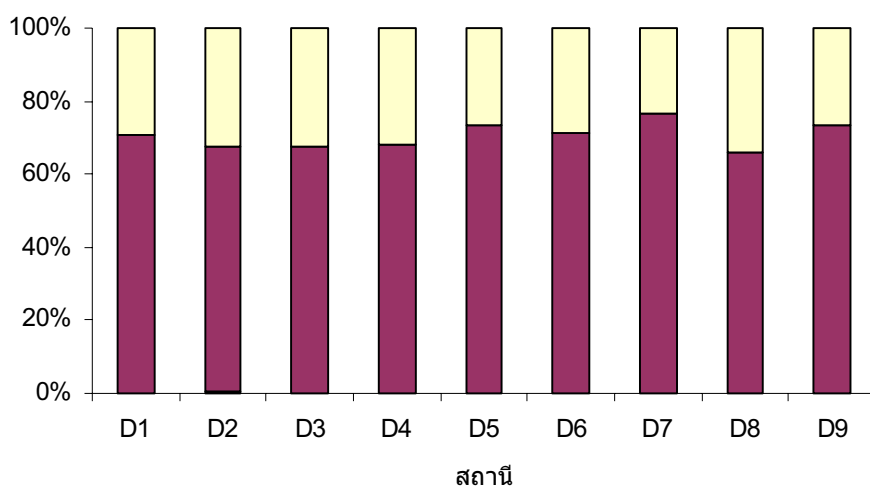


ฤดูฝน : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 23 พฤษภาคม 2550

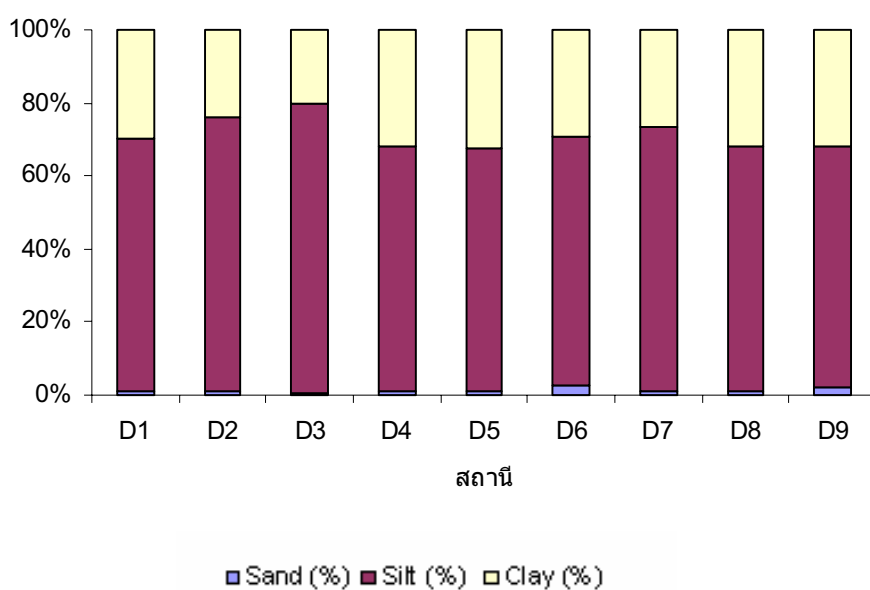


รูปที่ 3-4 รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดินจากอ่าวปากพน้ำ
ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

ฤดูแล้ง : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 12 พฤษภาคม 2550

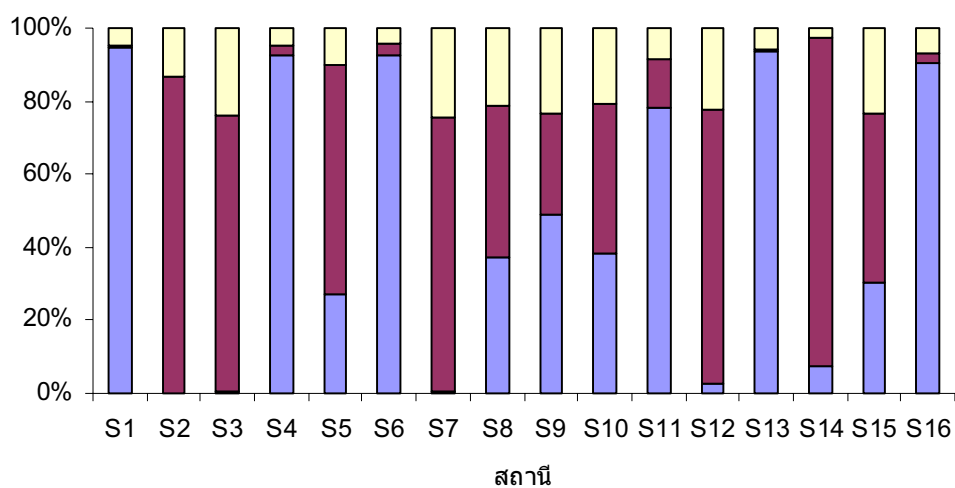


ฤดูฝน : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 6 มกราคม 2550

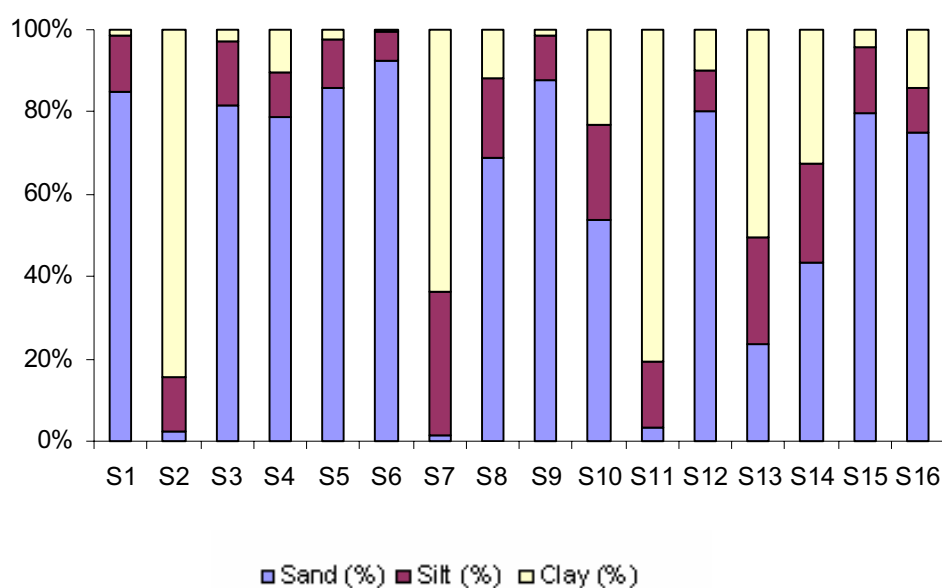


รูปที่ 3-5 รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

ฤดูแล้ง : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2550



ฤดูฝน : เก็บตัวอย่างตะกอนดินวันที่ 1 มิถุนายน 2550



รูปที่ 3-6 รูปแบบการแพร่กระจายของสัดส่วนองค์ประกอบของอนุภาคตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

ตะกอนดินแต่ละสถานีในทะเลสาบสงขลาตอนใน ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีปริมาณอนุภาครายอยู่ในช่วง 0.1 - 0.5 % (เฉลี่ย 0.2 ± 0.1 %) และ 0.6 - 2.4 % (เฉลี่ย 1.2 ± 0.6 %) ตามลำดับ และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.2 และ 1.1 % ตามลำดับ (ตาราง 3-1) เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณอนุภาคนขนาดต่างๆ ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าปริมาณอนุภาคนขนาดทรายมีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ค) นอกปากทะเลสาบสงขลา

ตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นตะกอนเนื้อหยาบ และมีทรายเป็นองค์ประกอบในตะกอนดินมากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น (รูปที่ 3-3) เนื่องจากพื้นที่ส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากทะเลมากที่สุด สัดส่วนของขนาดอนุภาคมีความแตกต่างในระหว่างสถานีมาก และมีความแปรปรวนในระหว่างฤดูกาลสูง (รูปที่ 3-6) ซึ่งน่าจะมาจากกระบวนการคัดขนาดอนุภาคตะกอนดินของธรรมชาติ

ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีปริมาณอนุภาครายอยู่ในช่วง 0.1 - 94.5 % (เฉลี่ย 45.9 ± 38.6 %) และ 1.6 - 92.3 % (เฉลี่ย 58.9 ± 33.3 %) ตามลำดับ และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 37.7 และ 77.2 % ตามลำดับ (ตาราง 3-1) เมื่อทดสอบความแตกต่างของปริมาณอนุภาคนขนาดต่างๆ ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าปริมาณทรายแป้งมีความแตกต่างกันในระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

3.2 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์

3.2.1 การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์สารอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์เดกซ์โทรส (dextrose, $C_6H_{12}O_6$) เพื่อควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์วิเคราะห์สารอินทรีย์ ตามทฤษฎีเดกซ์โทรส 1 กรัม จะมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 39.99% ดังนั้นปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ควรมีค่าใกล้เคียงกับ 39.99% ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนระหว่างการวิเคราะห์แสดงในตาราง 3-2 แสดงว่าผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิงมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิงมาตรฐานของ National Research Council of Canada (NRCC-CRM) MESS-1 และ BEST-1 แสดงในตาราง 3-3 พบว่า ในการวิเคราะห์ปรอทผลวิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 96.7 - 97.8% ของค่าที่กำกับมา และในการวิเคราะห์สารหนูผลวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 88.3% ของค่าที่กำกับมา แสดงว่าผลการวิเคราะห์ปรอทและสารหนูมีความน่าเชื่อถือ

ตาราง 3-2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนที่มีในเค้กโทรส

พื้นที่ศึกษา	ครั้งที่	ค่าที่วิเคราะห์ได้ ในฤดูแล้ง (%C)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ ในฤดูฝน (%C)
อ่าวปากพนัง	1	38.47	41.13
	2	38.42	40.88
	3	38.02	–
	เฉลี่ย	38.30	41.01
ทะเลสาบสงขลาตอนใน	1	39.67	39.3
	2	39.45	38.62
	3	–	39.63
	เฉลี่ย	39.56	39.18
นอกปากทะเลสาบสงขลา	1	39.08	39.15
	2	38.67	39.7
	3	39.26	38.4
	เฉลี่ย	39.00	39.08

ตาราง 3-3 ผลวิเคราะห์ตะกอนอ้างอิงมาตรฐาน (CRM)

CRM	N	ค่าที่กำกับมากับ CRM (มก./ก. นน.แห้ง)	ค่าที่ตรวจวัดได้ (มก./ก. นน.แห้ง)	% Recovery
ปรอท				
MESS-1	3	0.179 ± 0.006	0.175 ± 0.013	97.8
BEST-1	3	0.092 ± 0.009	0.089 ± 0.001	96.7
สารหนู				
MESS-1	3	10.6 ± 1.2	9.36 ± 0.07	88.3

3.3 ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีในตะกอนดิน

ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต ปรอทรวม และสารหนูรวม ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แสดงในตาราง 3-1 ถึง 3-3 ภาคผนวก 3 และสรุปไว้ในตาราง 3-1

3.3.1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน

คาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีปริมาณ ดังสรุปต่อไปนี้

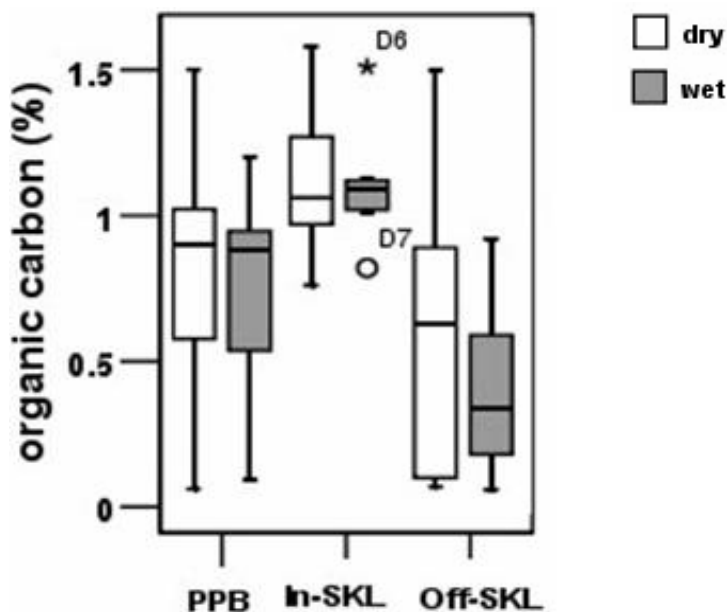
- อ่าวปากพนัง ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.08 – 1.52% (เฉลี่ย $0.80 \pm 0.39\%$) และ 0.11 – 1.22% (เฉลี่ย $0.75 \pm 0.33\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.92% และ 0.90%
- ทะเลสาบสงขลาตอนใน ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.76 – 1.58% (เฉลี่ย $1.10 \pm 0.25\%$) และ 0.82 – 1.51% (เฉลี่ย $1.09 \pm 0.18\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 1.06% และ 1.09%
- นอกปากทะเลสาบสงขลา ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.07 – 1.50% (เฉลี่ย $0.58 \pm 0.45\%$) และ 0.06 – 0.92% (เฉลี่ย $0.40 \pm 0.27\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.63% และ 0.34%

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ระหว่าง ฤดูแล้งและฤดูฝน ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าตะกอนดินทั้ง 3 พื้นที่ ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในระหว่างฤดูกาล ($p > 0.05$)

รูปที่ 3-7 เป็นแผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา จากรูปจะ เห็นว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา ในช่วงฤดูฝนมีความแปรปรวนระหว่างสถานี น้อยกว่าช่วงฤดูแล้ง น่าจะเป็นเพราะช่วงฤดูแล้ง น้ำทำมีน้อย จึงเกิดการรุกตัวของน้ำเค็มเข้าสู่พื้นที่ ศึกษาได้มากกว่าช่วงฤดูฝน ทำให้กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation)¹ และฟล็อกกูเลชัน (flocculation)² เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้ในช่วงฤดูแล้งมีการสะสมของปริมาณคาร์บอน อินทรีย์ในตะกอนดินบางสถานีสูงขึ้น ขณะที่ในช่วงฤดูฝนน้ำทำมีมาก ทำให้กระบวนการดังกล่าว เกิดในบริเวณที่ห่างไกลออกไป (เกิดขึ้นในทะเล) นอกจากนี้ความแรงของน้ำทำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในฤดูฝน อาจจะทำให้ตะกอนดินที่องน้ำบางส่วนออกสู่ทะเล (bed load)

¹ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เป็นกระบวนการทำให้ความเสถียรในการละลายของสารละลายถูกทำลายไปเนื่องจาก ค่าความเข้มของไอออน (ionic strength) ในน้ำที่เพิ่มขึ้นในขณะที่น้ำเค็มเข้ามาผสมผสานกับน้ำจืด ดังนั้นสารที่ละลายอยู่ในน้ำจะ แยกตัวออกจากมวลน้ำ

² กระบวนการฟล็อกกูเลชัน (flocculation) เป็นกระบวนการทำให้สารที่แยกตัวออกจากมวลน้ำหลังถูกทำลายความเสถียร จับตัว เป็นก้อนใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 3-7 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)

หมายเหตุ : เส้นตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และเส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และเครื่องหมายวงกลมและดอกจันแสดงค่าที่สูงเกินกว่าค่าส่วนใหญ่

ตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนในมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น (รูปที่ 3-7 และตาราง 3-1) เนื่องจากพื้นที่ส่วนนี้ถูกโอบล้อมโดยชุมชนโดยรอบ จึงมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมากับน้ำท่าในปริมาณสูง เช่นเดียวกับอ่าวปากพนังที่รองรับน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนก่อนที่จะไหลออกสู่ทะเล แต่พื้นที่อ่าวปากพนังมักจะเกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันเกือบตลอดเวลา เนื่องจากเป็นปากแม่น้ำได้รับอิทธิพลจากทั้งน้ำท่าและน้ำทะเล ขณะที่ทะเลสาบสงขลาตอนในได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลในช่วงฤดูที่แล้งจัดเท่านั้น และคาร์บอนอินทรีย์เหล่านี้ตกตะกอนลงไปสะสมที่ท้องน้ำก่อนออกสู่ทะเล ทำให้ตะกอนดินมีคาร์บอนอินทรีย์สูงในทุกสถานี

ส่วนนอกปากทะเลสาบสงขลา มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินต่ำสุดปกติ จะมีสภาพเป็นทะเลมากกว่า แต่จะได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดมากขึ้นในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตามแปรปรวนระหว่างสถานีในพื้นที่นอกปากทะเลสาบสงขลา ส่วนหนึ่งมาจากกระแสน้ำเลียบชายฝั่ง (longshore current) และกระแสน้ำในทะเลที่ทำให้ตะกอนดินท้องน้ำถูกพัดพาไปตามการไหลของน้ำ (bed load)

3.3.2 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน

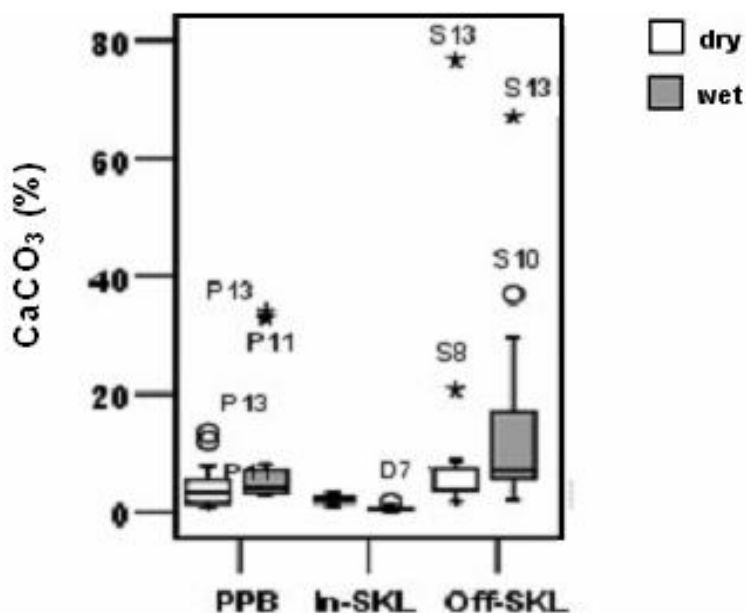
แคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีปริมาณ ดังสรุปต่อไปนี้

- อ่าวปากพนัง ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 2.2 – 14.8% (เฉลี่ย $5.8 \pm 3.9\%$) และ 4.2 – 35.4% (เฉลี่ย $11.5 \pm 12.1\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 4.6% และ 5.6%
- ทะเลสาบสงขลาตอนใน ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 – 3.4% (เฉลี่ย $2.1 \pm 0.7\%$) และ 0.2 – 1.6% (เฉลี่ย $0.7 \pm 0.4\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 2.1% และ 0.6%
- นอกปากทะเลสาบสงขลา ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 2.2 – 77.1% (เฉลี่ย $10.5 \pm 18.3\%$) และ 2.4 – 67.5% (เฉลี่ย $15.2 \pm 17.0\%$) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 4.4% และ 7.6%

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าตะกอนดินทั้ง 3 พื้นที่ ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในระหว่างฤดูกาล ($p > 0.05$ สำหรับอ่าวปากพนัง และนอกปากทะเลสาบสงขลา และ $p > 0.01$ สำหรับทะเลสาบสงขลาตอนใน)

รูปที่ 3-8 เป็นแผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา จากรูปจะเห็นว่าตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูง และมีความแปรปรวนระหว่างสถานีสูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากทะเลมากที่สุด สถานีที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงในทั้ง 2 ฤดู คือ สถานี S8 และ S13 ซึ่งอยู่ใกล้เกาะหนู (ตาราง ซ-3 ภาคผนวก ซ) ส่วนตะกอนดินในพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนในมีแคลเซียมคาร์บอเนตต่ำมาก และแทบจะไม่มีค่าแปรปรวนระหว่างสถานีเลย เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้เป็นแอ่งน้ำจืดตลอดปี มีบางปีที่แล้งจัดเท่านั้นถึงจะมีการรุกตัวของน้ำเค็มเข้าสู่พื้นที่ส่วนนี้ (รูปที่ 3-8)

จากตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ พบว่าสถานีในอ่าวปากพนังที่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูง ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่บริเวณปลายแหลมตะลุมพุก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากทะเลชัดเจนกว่าพื้นที่ส่วนอื่นในอ่าวปากพนัง และสถานีที่อยู่ด้านนอกของอ่าวจะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่าสถานีที่อยู่ลึกเข้าไปในอ่าว



รูปที่ 3-8 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)

หมายเหตุ : เส้นนาตรกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และเส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และเครื่องหมายวงกลมและดอกจันแสดงค่าที่สูงเกินกว่าค่าส่วนใหญ่

3.3.3 การปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดิน

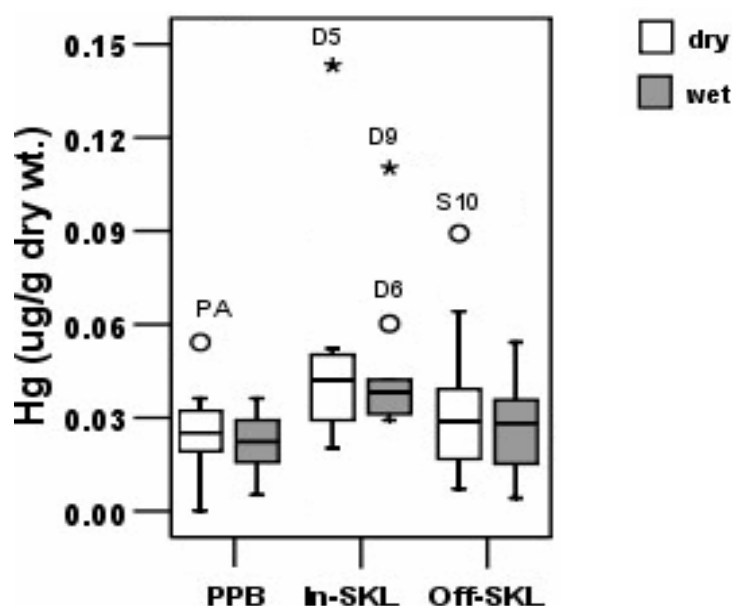
การปนเปื้อนของปรอทในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ ในฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 3-9) สรุปได้ดังต่อไปนี้

- อ่าวปากพนัง ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 – 0.055 (เฉลี่ย 0.26 ± 0.013) และ 0.006 – 0.037 (เฉลี่ย 0.023 ± 0.010) และมามีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.026 และ 0.023 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-10
- ทะเลสาบสงขลาตอนใน ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.021 – 0.144 (เฉลี่ย 0.51 ± 0.036) และ 0.030 – 0.111 (เฉลี่ย 0.047 ± 0.026) และค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.043 และ 0.039 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-11

- นอกปากทะเลสาบสงขลา ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 0.008 – 0.090 (เฉลี่ย 0.033 ± 0.022) และ 0.005 – 0.055 (เฉลี่ย 0.027 ± 0.0141) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 0.030 และ 0.029 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-12

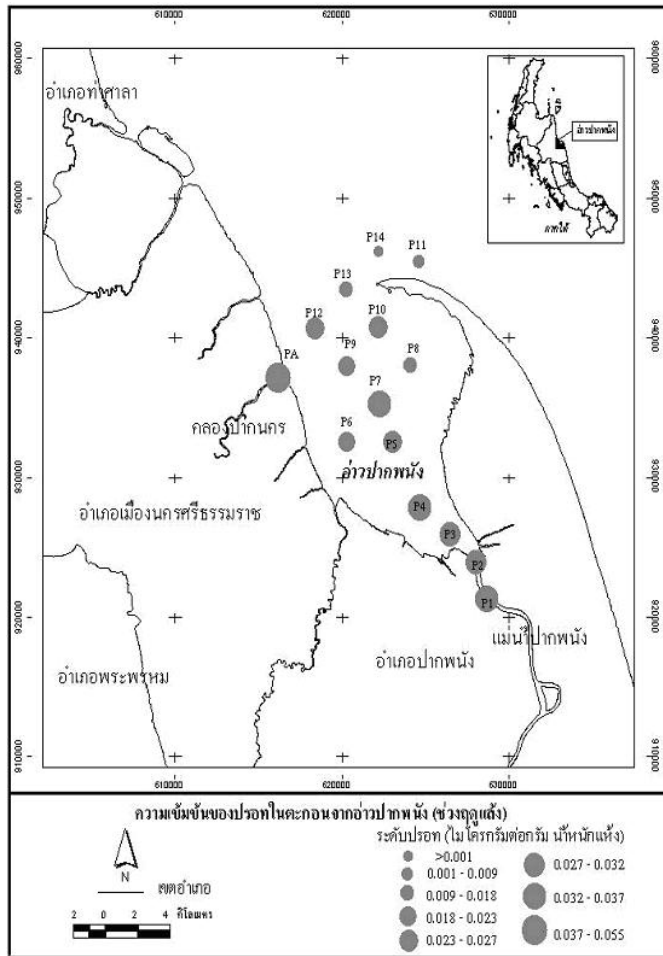
จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปรอทที่ปนเปื้อนในตะกอนดินระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าตะกอนดินทั้ง 3 พื้นที่ ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณปรอทที่ปนเปื้อนในระหว่างฤดูกาล ($p > 0.05$)

รูปที่ 3-9 เป็นแผนภูมิกำลังเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับปรอทในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนในมีปรอทสูงสุด ตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลาแม้ว่าจะมีอนุภาคหยาบกว่า และมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น้อยกว่าตะกอนดินอ่าวปากพนัง แต่มีปรอทปนเปื้อนมากกว่า (รูปที่ 3-9) บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดที่มีมากกว่า โดยพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยและ

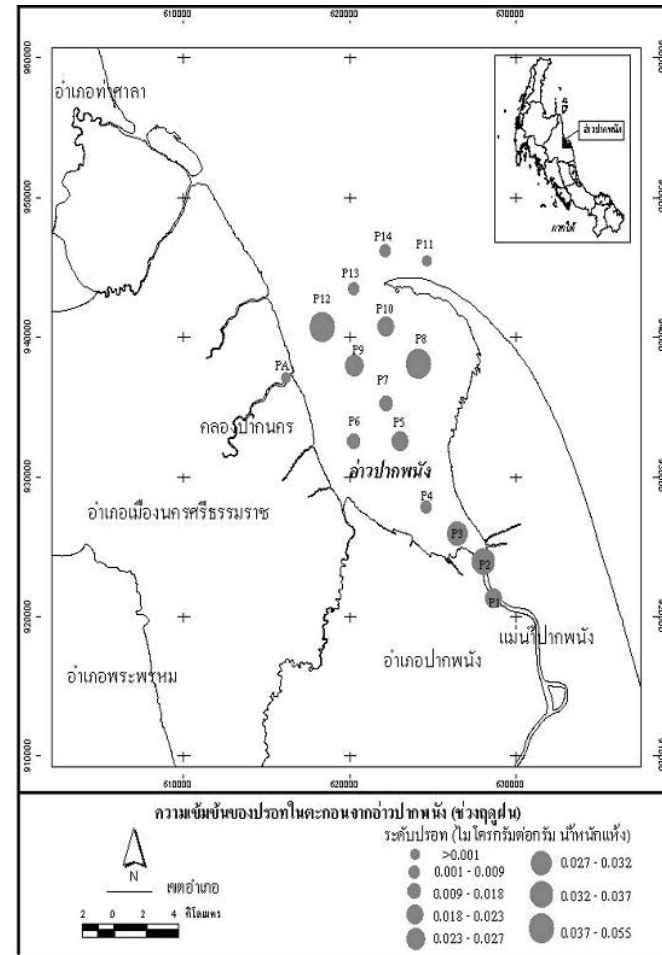


รูปที่ 3-9 แผนภูมิกำลังเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับปรอทในตะกอนดิน ทั้งในฤดูแล้ง (dry season) และฤดูฝน (wet season) ในพื้นที่อ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL)

หมายเหตุ : เส้นตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และเส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และเครื่องหมายวงกลมและดอกจันแสดงค่าที่สูงเกินกว่าค่าส่วนใหญ่

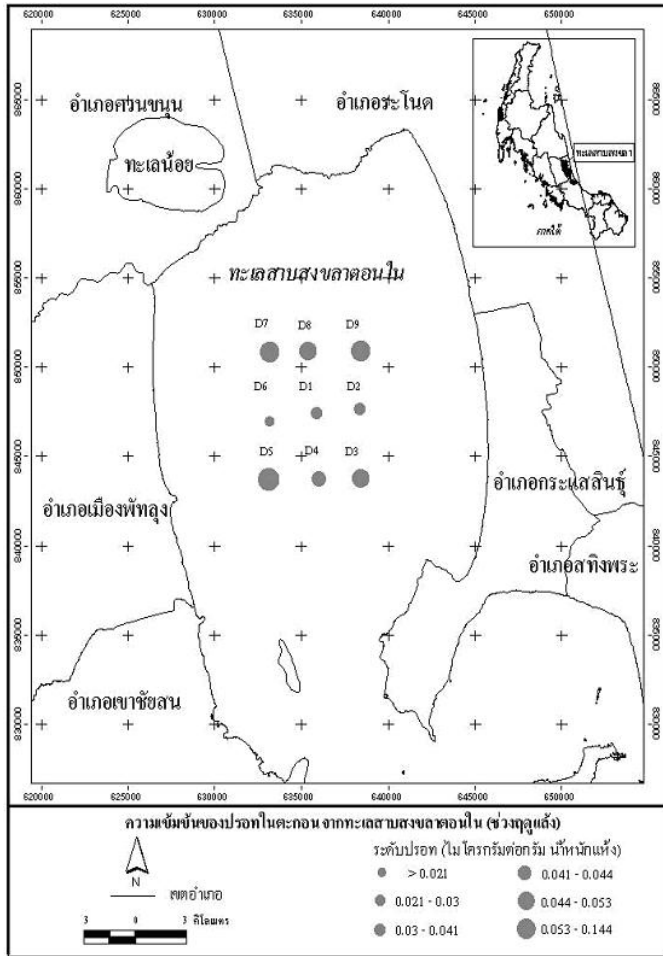


(ก) ฤดูแล้ง

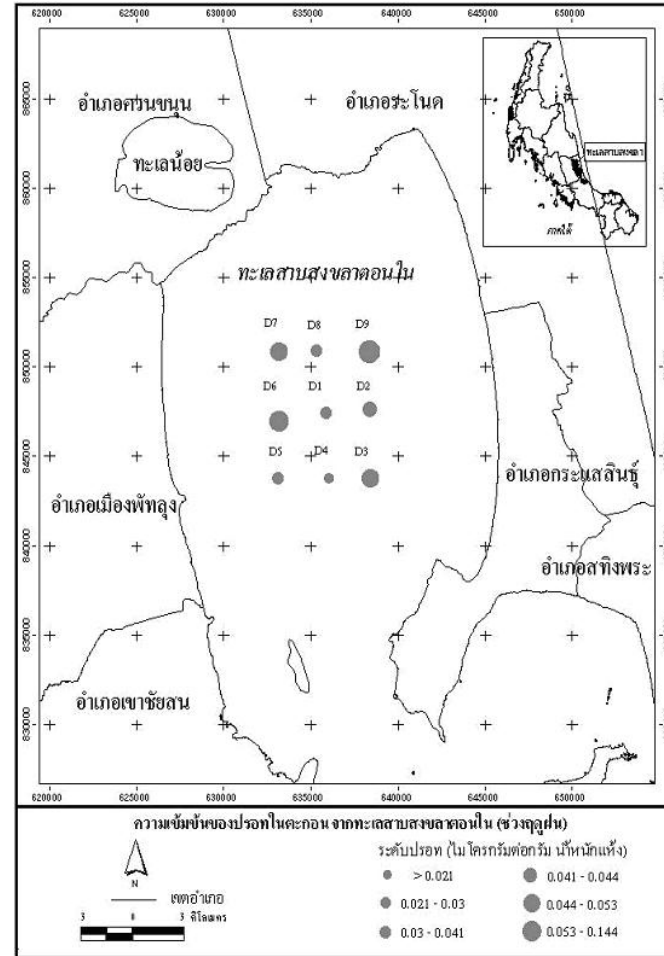


(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-10 การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินอ่าวปากพนัง ก) ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)

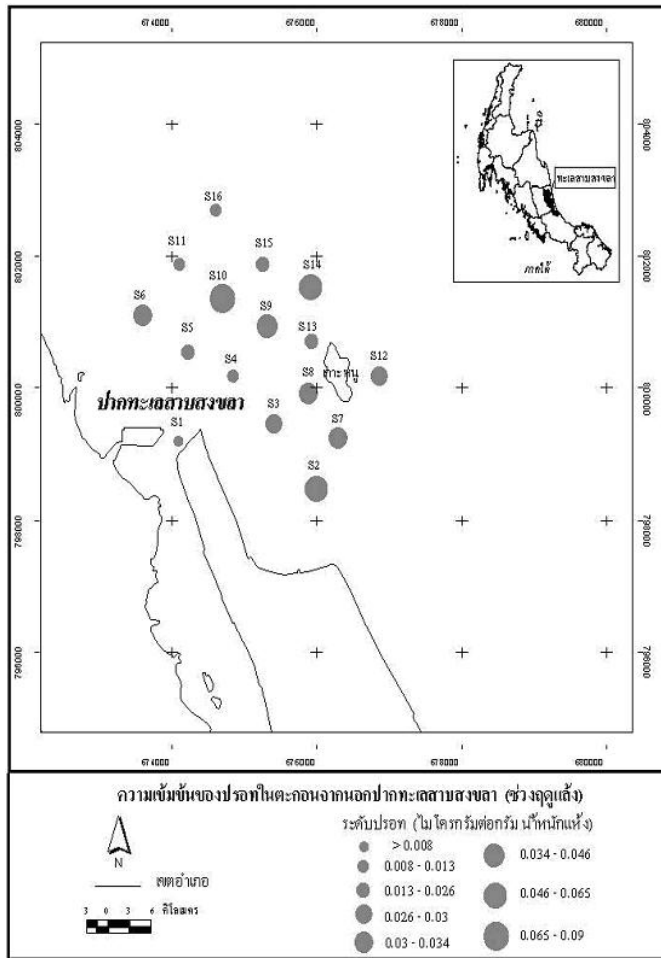


(ก) ฤดูแล้ง

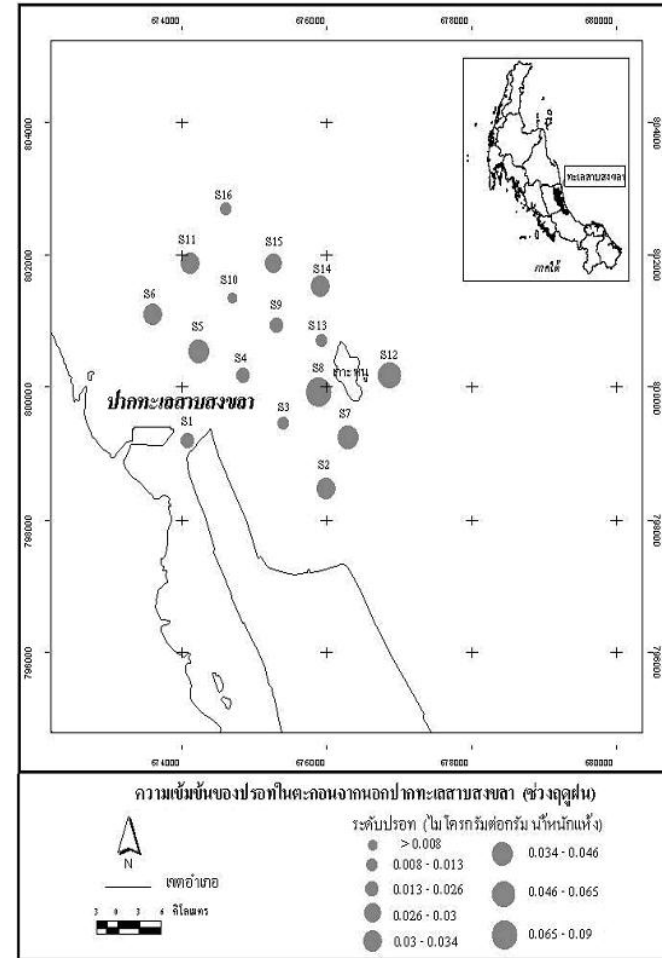


(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-11 การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ก) ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550) และ ข) ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)



(ก) ฤดูแล้ง



(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-12 การแพร่กระจายของปรอทในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ก) ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)

ย่านอุตสาหกรรมหนาแน่นกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง โดยเฉพาะในลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4 (พื้นที่บริเวณปากทะเลสาบสงขลา) ซึ่งเป็นเมืองใหญ่ มีจำนวนประชากรมาก มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่หนาแน่น และมีกิจกรรมทางเศรษฐกิจมากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น

สำหรับอ่าวปากพนัง สถานีที่มีปรอทปนเปื้อนในตะกอนดินสูงกว่าสถานีอื่น คือ สถานี PA (ในคลองปากนคร) และสถานี P1 (ในแม่น้ำปากพนัง) ซึ่งต่างก็เป็นสถานีที่รับน้ำที่ไหลผ่านชุมชนเมือง ในช่วงฤดูแล้งจะพบปริมาณปรอทในตะกอนดินสูงกว่าสถานีอื่น แต่ในช่วงฤดูฝน ปริมาณปรอทในตะกอนดินของทั้ง 2 สถานีนี้ กลับมีค่าลดลง และไปสูงขึ้นในสถานีบริเวณปากอ่าว (รูปที่ 3-10) เนื่องจากในช่วงฤดูฝน น้ำท่ามีมาก น้ำในแม่น้ำถูกผลักดันออกสู่ทะเลได้มากกว่า และเกิดการผสมผสานกับน้ำทะเล (จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง) ในพื้นที่ที่ไกลออกไปจากปากแม่น้ำ ดังนั้นในฤดูฝน กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน จึงเกิดขึ้นบริเวณปากอ่าวแทนที่จะเป็นปากแม่น้ำ ขณะที่ช่วงฤดูแล้ง น้ำท่ามีน้อย กระแสน้ำไม่แรงพอ ประกอบกับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงที่ดันน้ำทะเลให้รุกเข้ามาในอ่าวได้มากกว่า ทำให้กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันเกิดขึ้นในบริเวณที่ลึกเข้ามา จึงส่งผลให้ปรอทซึ่งจับตัวอยู่กับตะกอนดินและสารอินทรีย์ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำในช่วงฤดูแล้งมากกว่าช่วงฤดูฝน

ทะเลสาบสงขลาตอนใน แม้ว่าแหล่งกำเนิดมลพิษด้านโลหะหนักในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่ไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาตอนในจะมีน้อย แต่การปนเปื้อนของปรอทมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 2 พื้นที่ (รูปที่ 3-9) ทั้งนี้เป็นเพราะตะกอนดินในพื้นที่ส่วนนี้มีเนื้อละเอียดมาก และมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นเกือบ 2 เท่า (รูปที่ 3-7 และตาราง 3-1) อีกทั้งปรอทสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับสารอินทรีย์ในตะกอนดิน ซึ่งเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดกระบวนการเมทิลเลชันของปรอท เกิดเป็นเมทิลเมอร์คิวรีที่ไม่ละลายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขต redox transition zone ซึ่งจะมีซัลเฟตรีดิวซิงแบคทีเรีย (sulfate reducing bacteria) (Benoit *et al.*, 2001a, 2001b และ 2006; Canário *et al.*, 2008) จึงตรึงให้ปรอทอยู่กับตะกอนดิน

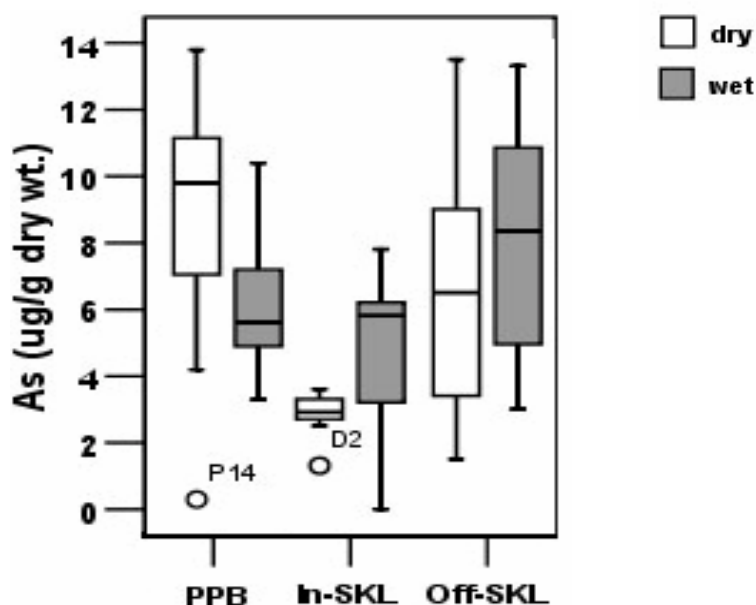
3.3.4 การปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดิน

การปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ ในฤดูแล้งและฤดูฝน (รูปที่ 3-13) สรุปได้ดังต่อไปนี้

- อ่าวปากพนัง ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง $<0.3-13.8$ (เฉลี่ย 8.9 ± 3.5) และ $3.3-10.4$ (เฉลี่ย 6.0 ± 1.9) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 9.8 และ 5.6 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-14

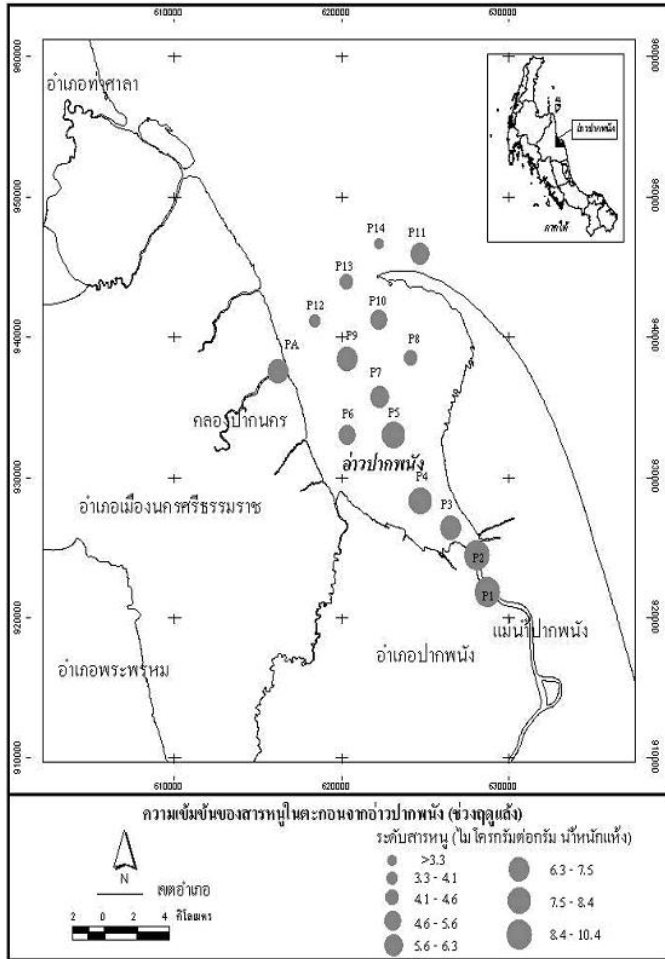
- ทะเลสาบสงขลาตอนใน ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 1.6 – 3.98 (เฉลี่ย 3.2 ± 0.7) และ $< 0.3 - 8.1$ (5.2 ± 2.4) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 3.2 และ 6.1 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-15
- นอกปากทะเลสาบสงขลา ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าอยู่ในช่วง 1.8 – 13.8 (เฉลี่ย 6.9 ± 3.8) และ $3.3 - 13.6$ (เฉลี่ย 8.3 ± 3.4) และมีค่ามัธยฐาน เท่ากับ 6.8 และ 8.6 มก./ก. น้ำหนักแห้ง โดยแสดงการแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินในแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3-16

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน ด้วย paired t-test (ตาราง ซ-1 ภาคผนวก ซ) พบว่าปริมาณสารหนูในตะกอนดินอ่าวปากพนัง ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ขณะที่ตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนในและนอกปากทะเลสาบสงขลาไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในระหว่างฤดูกาล ($p > 0.05$)

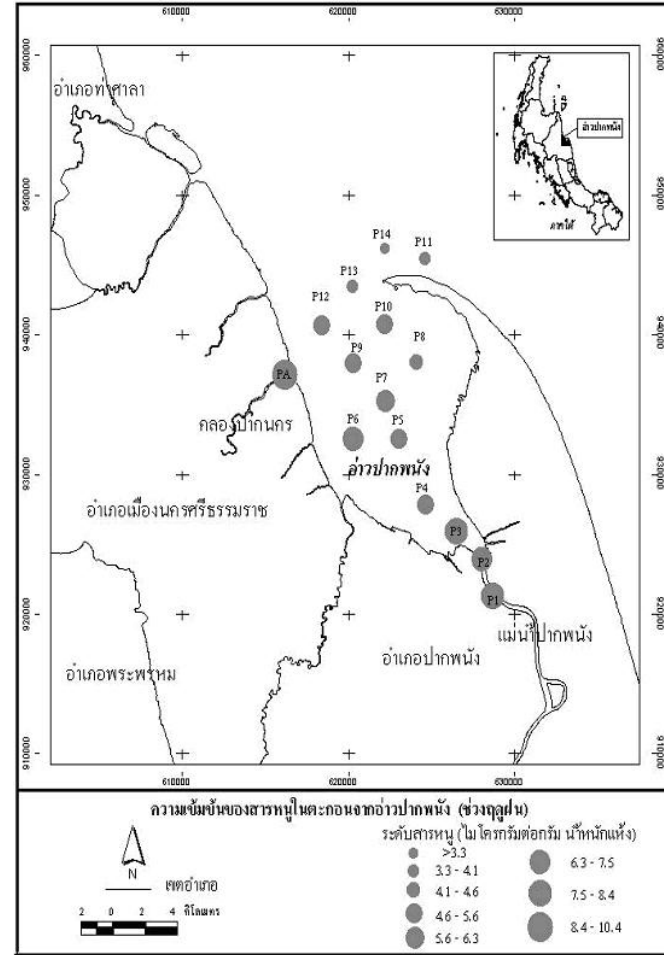


รูปที่ 3-13 แผนภูมิกล่องเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระดับสารหนูในตะกอนจากอ่าวปากพนัง (PPB), ทะเลสาบสงขลาตอนใน (In-SKL) และนอกปากทะเลสาบสงขลา (Off-SKL) ในช่วงฤดูแล้ง (dry season) และช่วงฤดูฝน (wet season)

หมายเหตุ : เส้นตรงกลางกล่องแสดงค่ามัธยฐาน เส้นล่างของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และเส้นบนของกล่องแสดงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 และเครื่องหมายวงกลมและดอกจันแสดงค่าที่สูงเกินกว่าค่าส่วนใหญ่

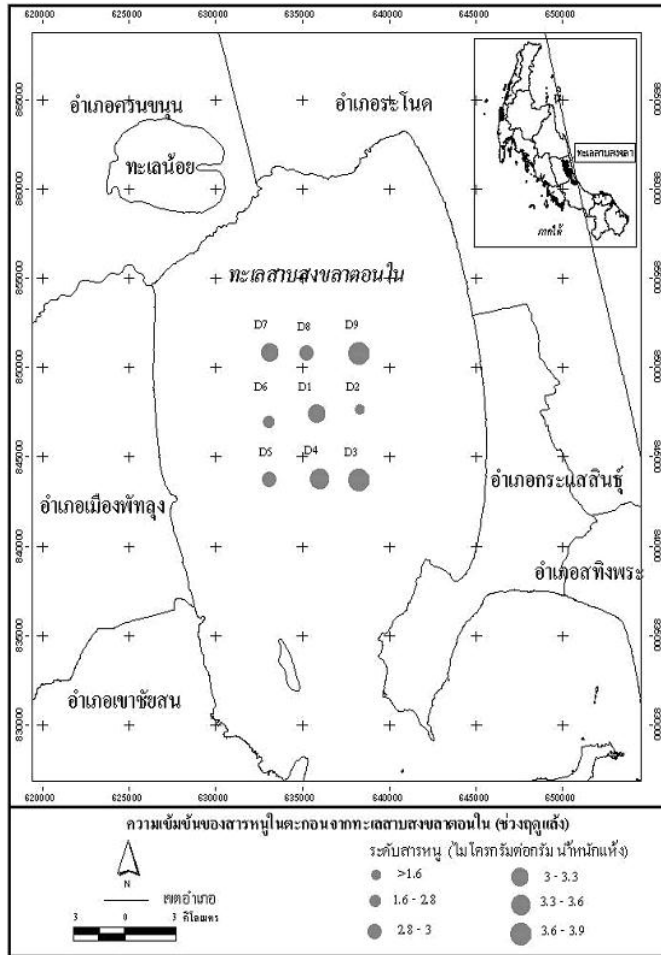


(ก) ฤดูแล้ง

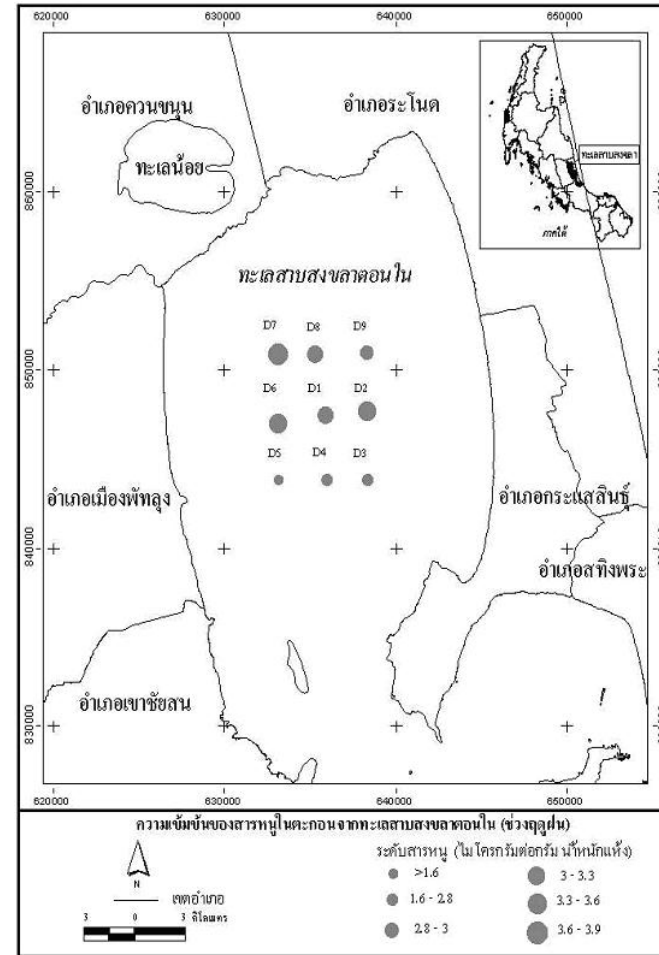


(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-14 การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินอ่าวปากพนัง ก) ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)

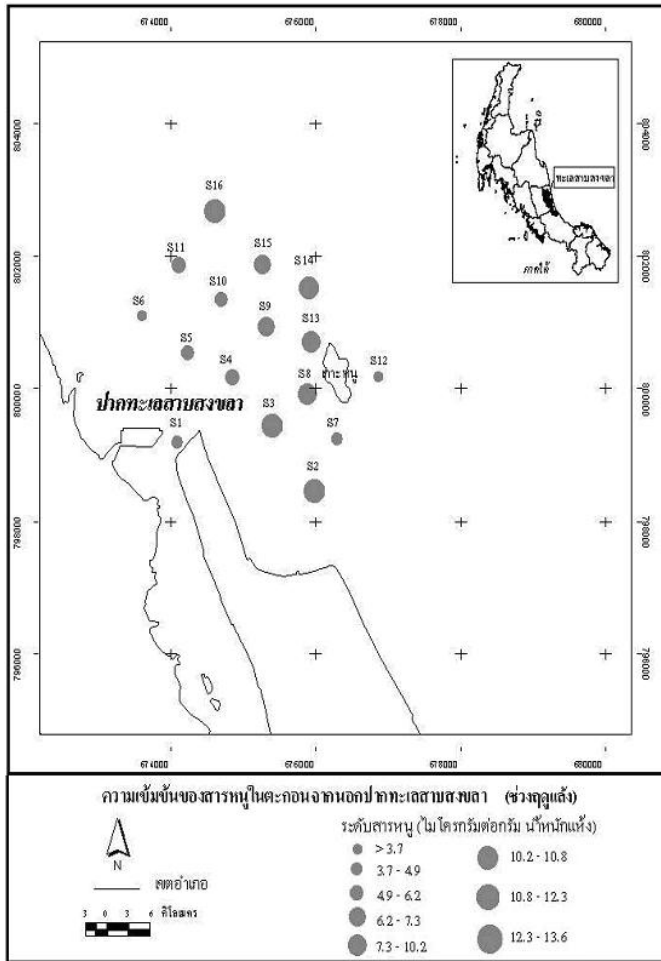


(ก) ฤดูแล้ง

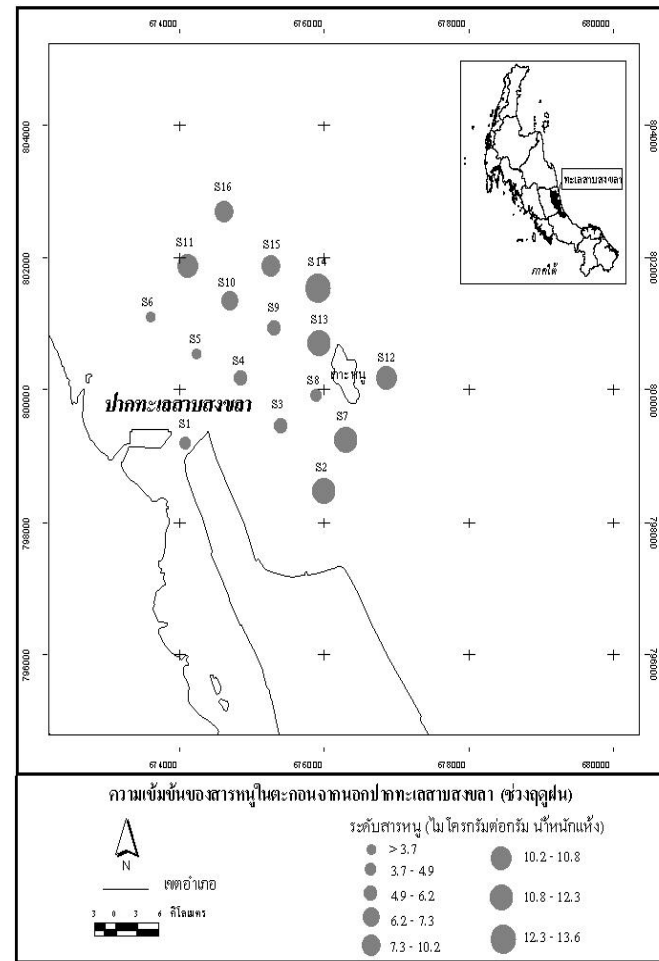


(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-15 การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ก) ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550) และ ข) ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)



(ก) ฤดูแล้ง



(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-16 การแพร่กระจายของสารหนูในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ก) ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550) และ ข) ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)

ตะกอนดินอ่าวปากพนัง มีปริมาณสารหนูในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน น่าจะเป็นเพราะพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังมีแหล่งกำเนิดของสารหนู เนื่องจากในอดีตเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุก ซึ่งสายแร่ดีบุกในพื้นที่นี้เกิดร่วมกับแร่อาร์ซีโนไฟไรท์ (FeAsS) การเปิดหน้าดินเพื่อการทำเหมืองแร่ดีบุกในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนู (กรมทรัพยากรธรณี, 2541) แม้ปัจจุบันไม่มีการทำเหมืองแร่แล้ว แต่หน้าดินที่ถูกเปิดนั้นย่อมส่งผลให้ตะกอนดินที่ถูกน้ำชะพาออกมาแขวนลอยอยู่ในมวลน้ำท่าที่มีปริมาณสารหนูปนเปื้อนสูง ตะกอนแขวนลอยเหล่านี้จะถูกพัดพาลงสู่อ่าวปากพนังพร้อมกับน้ำท่าก่อนออกสู่ทะเล และเนื่องจากสารหนูถูกพามากับตะกอนแขวนลอยด้วย ดังนั้นตะกอนดินส่วนหนึ่งที่ถูกกำจัดออกจากมวลน้ำ เมื่อกระแสน้ำชะลดตัวลงขณะกระแสน้ำขึ้นน้ำลงเปลี่ยนทิศทาง ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำ ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูแล้ง น้ำท่ามีน้อย การรูดตัวของน้ำเค็มเข้ามาในอ่าวปากพนังมีมากกว่าช่วงฤดูฝน กระบวนการฟล็อกคูเลชันเมื่อความเสถียรถูกทำลายจึงเกิดขึ้นภายในอ่าว ดังนั้นตะกอนดินที่มีสารหนูปนเปื้อนจึงตกกระจายอยู่ทั่วทั้งอ่าว ขณะที่ในช่วงฤดูฝน น้ำท่ามีความแรงพอที่จะพามวลตะกอนแขวนลอยบางส่วนที่มีสารหนูปนเปื้อนไหลได้ไกลออกไปในทะเล ทำให้ในฤดูฝนสารหนูในตะกอนดินท้องน้ำมีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูแล้ง (รูปที่ 3-14)

ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนในมีค่าต่ำสุด เนื่องจากแหล่งกำเนิดสารหนูในพื้นที่นี้มีน้อย (รูปที่ 3-13) ความแปรปรวนของสารหนูที่มีในตะกอนดินระหว่างสถานีในฤดูแล้งมีน้อย เนื่องจากน้ำท่ามีน้อย อัตราการไหลเวียนและการรบกวนระบบ เนื่องจาก bed load เกิดขึ้นได้น้อยกว่าในช่วงฤดูฝน จากรูปที่ 3-13 และ 3-15 แม้ว่าจะเห็นว่าปริมาณสารหนูในตะกอนดินในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูแล้ง เนื่องจากอัตราการชะพาเอาสารหนูจากแหล่งกำเนิดลงสู่ทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูฝนมีมากกว่าฤดูแล้ง แต่ความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ระดับสารหนูในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้ง 2 ฤดู มีความแปรปรวนระหว่างสถานีมากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น (รูปที่ 3-13) เนื่องจากพื้นที่ส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากทะเลชัดเจนที่สุด แม้ว่าจะเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเหมือนกัน แต่ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้ง 2 ฤดู มีค่าสูงกว่าในทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งนี้เพราะแหล่งกำเนิดของสารหนูที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าออกสู่ปากทะเลสาบสงขลา มีมากกว่า โดยส่วนใหญ่มาจากลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4 ซึ่งเป็นที่ตั้งของ 2 อำเภอใหญ่ คือ หาดใหญ่ และเมืองสงขลา และยังเป็นแหล่งอุตสาหกรรมของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

3.4 ความสัมพันธ์ทางสถิติของปัจจัยทางกายภาพและเคมีของตะกอนดิน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา โดยการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล โดยใช้ paired t-test หาความสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยต่างๆ (ขนาดอนุภาคตะกอน คาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต) ด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficients) และใช้สถิติแบบหลายตัวแปร (Principal Component Analysis; PCA) เพื่อวิเคราะห์กลุ่มข้อมูล

3.4.1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณปรอทและสารหนูในตะกอนดิน กับปัจจัยทางกายภาพเคมีต่างๆ ได้แก่ ขนาดอนุภาคตะกอน (ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในพื้นที่อ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 และ 0.05 แสดงในตาราง 3-4, 3-5 และ 3-6 ตามลำดับ

ก) อ่าวปากพนัง

จากการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตาราง 3-4) พบว่าในฤดูแล้งปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับตะกอนเนื้อละเอียด (ดินเหนียวและทรายแป้ง) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับตะกอนเนื้อหยาบ (ทราย) แต่ไม่พบความสัมพันธ์นี้ในฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่าในฤดูแล้งบริเวณที่มีอนุภาคตะกอนเนื้อหยาบจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ปริมาณสูง โดยอนุภาคขนาดทรายจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($p < 0.01$)

ในทั้ง 2 ฤดู พบว่าระดับปรอทในตะกอนดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอนุภาคขนาดดินเหนียว ($p < 0.01$) และในฤดูแล้งปรอทยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ($p < 0.01$) ส่วนระดับสารหนูในตะกอนดิน ทั้ง 2 ฤดู มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ฤดูแล้ง $p < 0.05$ และฤดูฝน $p < 0.01$)

ในฤดูแล้ง ปรอทมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคขนาดทราย ($p < 0.01$) ส่วนสารหนูมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคขนาดทราย ($p < 0.05$) เช่นกัน นอกจากนี้ระดับปรอทและสารหนูในตะกอนดินจากอ่าวปากพนังในฤดูแล้งมีความสัมพันธ์กัน ($p < 0.01$)

ตาราง 3-4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

(ก) ฤดูแล้ง

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.921**	-0.571*	-0.822**	0.661**	-0.683**	-0.542*
Silt		1	0.207	0.619*	-0.637*	0.503	0.490
Clay			1	0.760**	-0.317	0.657**	0.330
OC				1	-0.634*	0.910**	0.564*
CaCO ₃					1	-0.531*	-0.414
Hg						1	0.670**
As							1

(ข) ฤดูฝน

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.928**	-0.602*	-0.136	0.399	-0.251	-0.489
Silt		1	0.259	-0.010	-0.287	-0.052	0.399
Clay			1	0.372	-0.415	0.760**	0.411
OC				1	-0.486	0.147	0.744**
CaCO ₃					1	-0.179	-0.563*
Hg						1	-0.037
As							1

หมายเหตุ : ** (P-value < 0.01)

* (P-value < 0.05)

ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน

จากการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตาราง 3-5) แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน พบว่าตะกอนดินของแต่ละสถานีในทะเลสาบสงขลาตอนในมีความคล้ายคลึงกันทั้งองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีในทั้ง 2 ฤดู จนไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการที่พื้นที่ศึกษาส่วนนี้เป็นทะเลสาบที่น้ำค่อนข้างนิ่งและมีระยะเวลาที่กักพิง (retention time) นานถึง 55 วัน (VKI, 1998) ทำให้องค์ประกอบทางกายภาพ หรือขนาดของตะกอนดินที่องน้ำบริเวณนี้มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน และจากสภาพน้ำนิ่งและเป็นน้ำจืดตลอดทั้งปี จึงส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนและสะสมมลสารระหว่างน้ำกับตะกอนดินคล้ายคลึงกันในแต่ละสถานี

ตาราง 3-5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

(ก) ฤดูแล้ง

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.229	0.200	-0.065	0.403	-0.025	-0.715*
Silt		1	-0.999**	-0.168	0.485	0.382	0.168
Clay			1	0.188	-0.485	-0.372	-0.154
OC				1	0.189	0.200	0.185
CaCO ₃					1	0.214	-0.524
Hg						1	0.118
As							1

(ข) ฤดูฝน

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.535	0.443	0.663	0.198	0.689*	0.315
Silt		1	-0.994**	-0.315	-0.319	-0.237	0.134
Clay			1	0.251	0.314	0.163	-0.177
OC				1	-0.419	0.216	-0.128
CaCO ₃					1	0.045	0.456
Hg						1	0.184
As							1

หมายเหตุ : ** (P-value < 0.01)

* (P-value < 0.05)

ค) นอกปากทะเลสาบสงขลา

จากการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ตาราง 3-6) พบว่าในทั้ง 2 ฤดู ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของตะกอนดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับตะกอนเนื้อละเอียด (ดินเหนียวและทรายแป้ง) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับตะกอนเนื้อหยาบ (ทราย) การสะสมของปรอทและสารหนูไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในฤดูแล้งระดับปรอทมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ($p < 0.01$) และอนุภาคขนาดทรายแป้ง ($p < 0.05$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคขนาดทราย ($p < 0.05$) ขณะที่ฤดูฝนปรอทในตะกอนดินในพื้นที่ส่วนนี้ไม่มีความสัมพันธ์เด่นชัดกับปัจจัยใด ในฤดูแล้งระดับสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินไม่มีความสัมพันธ์เด่นชัดกับปัจจัยใดเช่นกัน แต่ในฤดูฝนระดับสารหนูมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และอนุภาคขนาดดินเหนียว ($p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคขนาดทราย ($p < 0.01$)

ตาราง 3-6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปรอทและสารหนู กับปัจจัยทางกายและเคมี ในตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลา ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน

(ก) ฤดูแล้ง

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.981**	-0.636**	-0.939**	0.313	-0.516*	-0.219
Silt		1	0.472	0.940**	-0.317	0.504*	0.248
Clay			1	0.523*	-0.161	0.335	0.008
OC				1	-0.243	0.637**	0.276
CaCO ₃					1	-0.115	0.135
Hg						1	0.180
As							1

(ข) ฤดูฝน

	Sand	Silt	Clay	OC	CaCO ₃	Hg	As
Sand	1	-0.648**	-0.981**	-0.754**	-0.194	-0.123	-0.722**
Silt		1	0.488	0.502*	0.426	0.030	0.492
Clay			1	0.736**	0.115	0.134	0.702**
OC				1	-0.223	0.367	0.784**
CaCO ₃					1	-0.373	0.043
Hg						1	0.017
As							1

หมายเหตุ : ** (P-value < 0.01)

* (P-value < 0.05)

3.4.2 ความสัมพันธ์ของกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างกับปัจจัยทางกายภาพและเคมีจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA)

3.4.2.1 อ่าวปากพนัง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง เพื่อจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่าง ที่มีปัจจัยควบคุมคล้ายคลึงกัน โดยแยกฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) โดยเลือกกลุ่มองค์ประกอบที่มีค่าความผันแปร (Eigenvalue) มากกว่า 1.0 (ตาราง 3-7) พบว่า พื้นที่ในอ่าวปากพนังแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คล้ายคลึงกันทั้ง 2 ฤดู (รูปที่ 3-17) ดังนี้

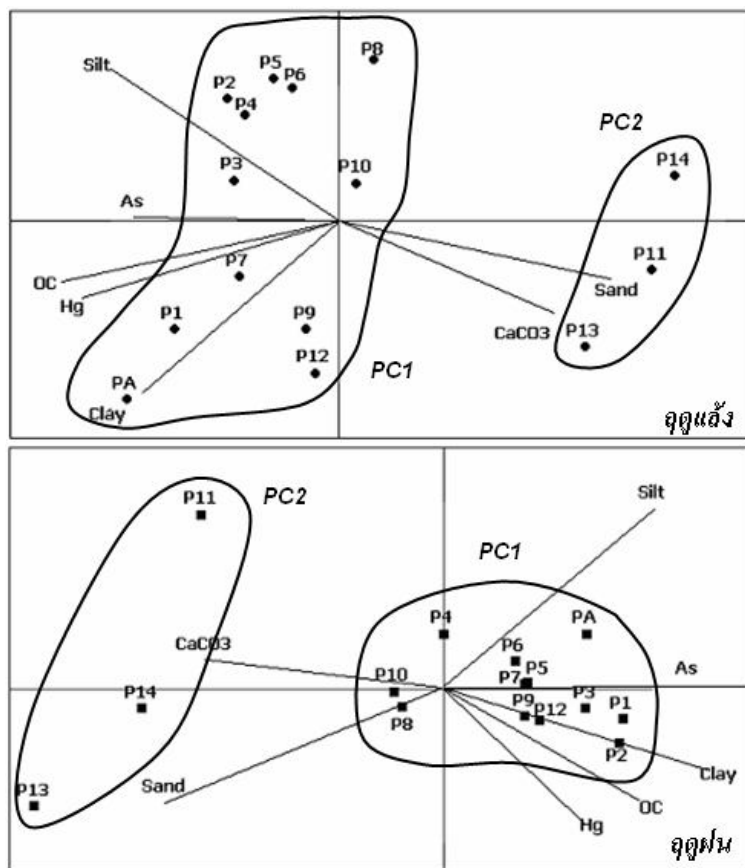
ตาราง 3-7 ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินอ่าวปากพนัง จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA

สถานี	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	PC1	PC2	PC1	PC2
P1	0.968	-0.149	0.984	-0.071
P2	0.983	-0.090	0.983	-0.063
P3	0.995	-0.092	0.998	-0.036
P4	0.984	-0.065	0.993	0.018
P5	0.984	-0.078	0.996	-0.026
P6	0.989	-0.076	0.997	-0.024
P7	0.989	-0.127	0.998	-0.034
P8	0.984	-0.065	0.898	-0.022
P9	0.973	0.045	0.987	-0.032
P10	0.997	0.012	0.965	0.261
P11	0.236	0.969	0.894	0.039
P12	0.964	-0.140	0.999	-0.033
P13	0.468	0.879	-0.246	0.957
P14	0.263	0.958	0.299	0.940
PA	0.977	-0.084	0.983	-0.015
Eigenvalue	11.919	2.735	12.521	1.886
% Variance	79.462	18.232	83.476	12.571

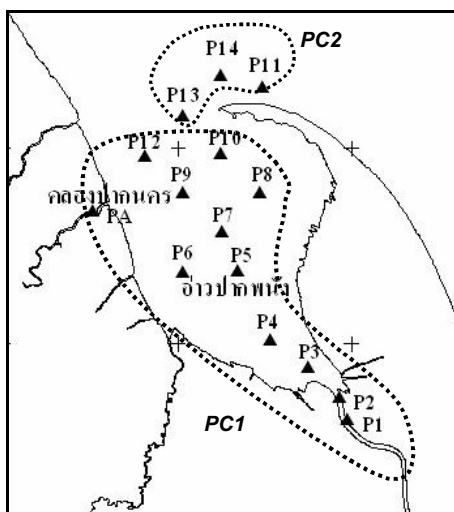
ฤดูแล้ง

แบ่งกลุ่มสถานีที่มีความสัมพันธ์กันได้ 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ 97.694%

- กลุ่ม PC1 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 11.919 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 79.462% ประกอบด้วยสถานี P1 ถึง P10, P12 และ PA
- กลุ่ม PC2 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 2.735 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 18.232% ประกอบด้วยสถานี P11, P13 และ P14



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-17 (ก) การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวปากพนัง ทั้งในดินอ่าวปากพนังและดินผืน โดยใช้การวิเคราะห์ห้ปัจจัยด้วย PCA (ข) รูปแสดงกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตามพื้นที่ในอ่าวปากพนัง

ถดถู

แบ่งกลุ่มสถานีที่มีความสัมพันธ์กันได้ 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ 96.047%

- กลุ่ม PC1 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 12.521 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 83.476% ประกอบด้วยสถานี P1 ถึง P12 และ PA
- กลุ่ม PC2 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 1.886 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 12.571% ประกอบด้วยสถานี P13 และ P14

เมื่อนำ Loading plot มาซ้อนทับ Score plot ดังรูปที่ 3-17ก พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มสถานีออกเป็น 2 กลุ่ม ทั้งในถดถูและถดถู โดย

กลุ่ม PC1 – เป็นสถานีที่อยู่ในอ่าวด้านในทั้งหมด (รูปที่ 3-17ข) ได้รับอิทธิพลจากตะกอนแขวนลอยที่ถูกชะพามาด้วยน้ำท่า ทำให้ลักษณะตะกอนดินโดยรวมเป็นตะกอนเนื้อละเอียด และมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าสถานีในกลุ่ม PC2 จากรูปที่ 3-17ก จะเห็นว่าปัจจัยทางกายภาพที่ควบคุม คือ ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งและอนุภาคขนาดดินเหนียว ส่วนปัจจัยทางเคมีที่ควบคุม คือ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าระดับของปรอทและสารหนูมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับอนุภาคขนาดเล็กและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

กลุ่ม PC2 – เป็นสถานีที่อยู่บริเวณปลายแหลมตะลุมพุกด้านนอก (รูปที่ 3-17ข) ได้แก่ P11, P13 และ P14 ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากทะเลมากกว่าสถานีที่อยู่ในอ่าว เนื้อตะกอนดินมีลักษณะหยาบ จากรูปที่ 3-17ก จะเห็นว่าปัจจัยทางกายภาพที่ควบคุม คือ อนุภาคขนาดทราย และปัจจัยทางเคมีที่ควบคุม คือ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต อย่างไรก็ตามจากค่าความสัมพันธ์ในตาราง 3-7 พบว่า ในถดถูสถานี P11 จัดอยู่ในกลุ่ม PC1 ซึ่งตรงข้ามกับในถดถู (ในถดถูสถานี P11 อยู่ในกลุ่ม PC2) เนื่องจากลักษณะตะกอนดินในสถานีนี้เป็นตะกอนเนื้อละเอียด (2-63 ไมครอน) ต่างจากถดถูที่มีสัดส่วนของตะกอนหยาบมากกว่า แต่สถานีนี้มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงในทั้ง 2 ถดถู (ตาราง ข-1 ภาคผนวก ข)

ในถดถู การปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในตะกอนดินของแต่ละสถานีในกลุ่ม PC1 มีค่าสูงกว่ากลุ่ม PC2 โดยเฉพาะสถานี PA ซึ่งอยู่ในคลองปากนคร และสถานี P1 ซึ่งอยู่ในแม่น้ำปากพ่วง โดยพบปริมาณของปรอทและสารหนูปนเปื้อนในตะกอนดินมีค่าสูง และลดลงตามลำดับสถานีที่อยู่ไกลออกไปในทะเล แต่ในถดถู ปริมาณของปรอทและสารหนูในสถานี PA และ P1 มีค่าต่ำกว่าในถดถู โดยเฉพาะปริมาณปรอทในสถานี PA มีค่าลดลงเกือบ 10 เท่า ของที่

ตรวจพบได้ในฤดูแล้ง ขณะที่สถานีที่อยู่ห่างออกมาจากปากแม่น้ำมีค่าปรอทและสารหนูสูงขึ้น (ดูหัวข้อ 3.3.3)

3.4.2.2 ทะเลสาบสงขลาตอนใน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน เพื่อจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่าง ที่มีปัจจัยควบคุมคล้ายคลึงกัน โดยแยกฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) โดยเลือกกลุ่มองค์ประกอบที่มีค่าความผันแปร (Eigenvalue) มากกว่า 1.0 (ตาราง 3-8) พบว่า พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาตอนในมีเพียงกลุ่มเดียว ในทั้ง 2 ฤดู (รูปที่ 3-18) ดังนี้

ฤดูแล้ง

มีกลุ่ม PC1 เพียงกลุ่มเดียว มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 8.690 อธิบายความแปรปรวน (Variation) ของตัวแปรทั้งหมดได้ 99.551%

ฤดูฝน

มีกลุ่ม PC1 เพียงกลุ่มเดียว มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 8.765 และสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variation) ของตัวแปรทั้งหมดได้ 97.393%

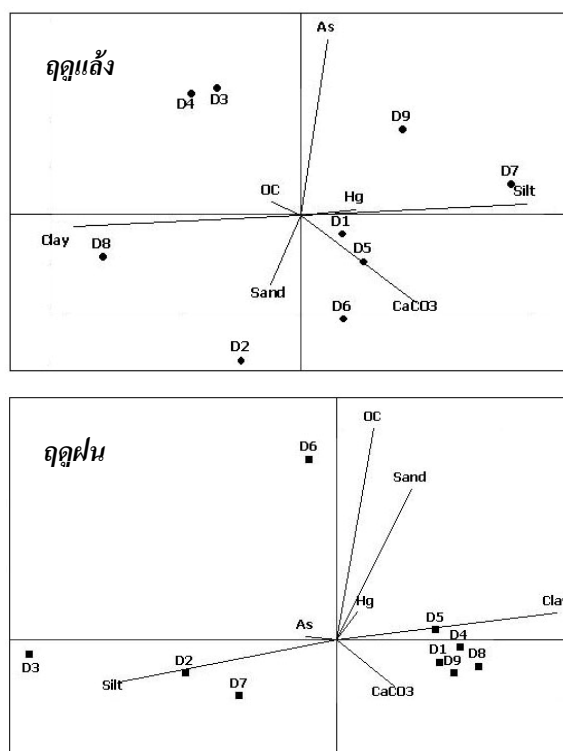
เมื่อนำ Loading plot มาซ้อนทับ Score plot ดังรูปที่ 3-18 ก็พบว่าไม่มีความชัดเจนของรูปแบบการเกาะกลุ่มของสถานีกับปัจจัยทางกายภาพและเคมี จนไม่สามารถจำแนกกลุ่มของสถานีเก็บตัวอย่างได้มากไปกว่า 1 กลุ่ม สอดคล้องกับตาราง 3-8 ทั้งนี้เนื่องจากทะเลสาบสงขลาตอนในเป็นแอ่งน้ำจืดที่มีความลึกมากที่สุดของทะเลสาบสงขลา จึงมีสภาพน้ำค่อนข้างนิ่ง (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548ข) องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีในตะกอนดินของทะเลสาบสงขลาตอนในจึงมีความคล้ายคลึงกันมากทั้งระหว่างสถานีและระหว่างฤดูกาล

3.4.2.3 นอกปากทะเลสาบสงขลา

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลา เพื่อจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่าง ที่มีปัจจัยควบคุมคล้ายคลึงกัน โดยแยกฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis; PCA) โดยเลือกกลุ่มองค์ประกอบที่มีค่าความผันแปร (Eigenvalue) มากกว่า 1.0 (ตาราง 3-9) พบว่า พื้นที่นอกปากทะเลสาบสงขลาแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม แต่แตกต่างกันในทั้ง 2 ฤดู (รูปที่ 3-19) ดังนี้

ตาราง 3-8 ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA

สถานี	ค่าความสัมพันธ์	
	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน
D1	1.000	0.970
D2	0.998	0.992
D3	0.998	1.000
D4	0.999	0.991
D5	0.998	0.992
D6	1.000	0.995
D7	0.993	0.992
D8	0.995	0.990
D9	0.998	0.957
Eigenvalue	8.960	8.765
% Variance	99.551	97.393



รูปที่ 3-18 การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย PCA

ตาราง 3-9 ค่าความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ PCA

สถานี	ฤดูแล้ง		ฤดูฝน	
	PC1	PC2	PC1	PC2
S1	0.543	0.832	0.994	-0.085
S2	0.657	-0.738	-0.172	0.949
S3	0.661	-0.746	0.997	-0.067
S4	0.555	0.820	0.993	0.021
S5	0.919	-0.357	0.994	-0.072
S6	0.564	0.816	0.985	-0.097
S7	0.675	-0.733	-0.189	0.933
S8	0.957	0.024	0.965	0.074
S9	0.888	0.389	0.991	-0.088
S10	0.992	0.030	0.848	0.315
S11	0.668	0.736	-0.162	0.965
S12	0.699	-0.711	0.986	-0.019
S13	0.315	0.756	0.133	0.666
S14	0.714	-0.648	0.762	0.586
S15	0.970	-0.190	0.991	-0.059
S16	0.540	0.833	0.991	0.071
Eigenvalue	8.556	6.718	11.186	3.638
% Variance	53.477	41.984	69.913	22.735

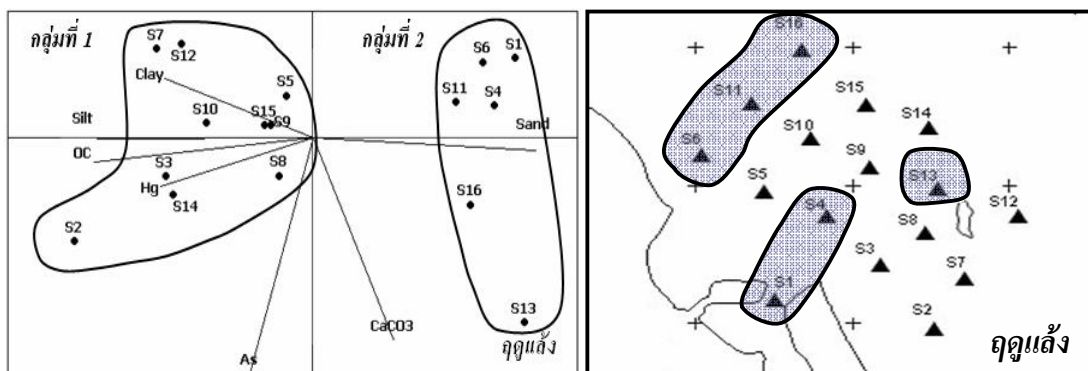
ฤดูแล้ง

แบ่งกลุ่มสถานีที่มีความสัมพันธ์กันได้ 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ 95.461%

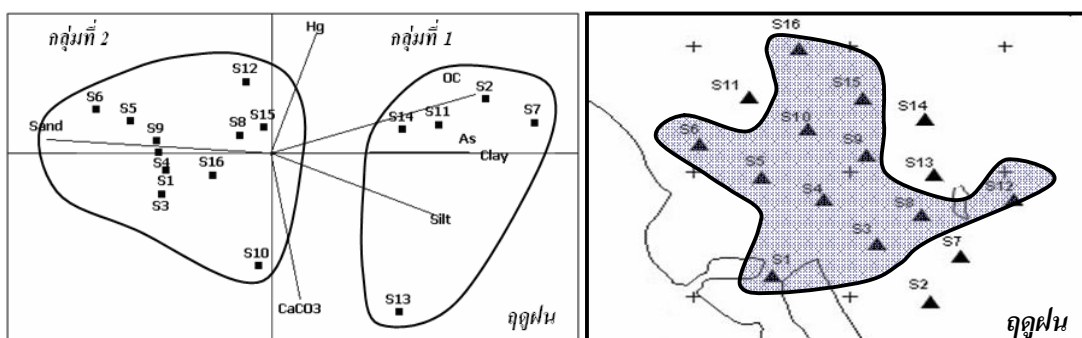
- กลุ่ม PC1 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 8.556 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 53.477% ประกอบด้วยสถานี S2, S3, S5, S7, S8, S9, S10, S12, S14 และ S15
- กลุ่ม PC2 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 6.718 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 41.984% ประกอบด้วยสถานี S1, S4, S6, S11, S13 และ S16

ฤดูฝน

แบ่งกลุ่มสถานีที่มีความสัมพันธ์กันได้ 2 กลุ่ม ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ 92.648%



(ก) ฤดูแล้ง



(ข) ฤดูฝน

รูปที่ 3-19 การจัดกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยด้วย PCA (ก) ฤดูแล้ง และ (ข) ฤดูฝน

- กลุ่ม PC1 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 11.186 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 69.913% ประกอบด้วยสถานี S1, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S12, S15 และ S16
- กลุ่ม PC2 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 3.638 อธิบายความแปรปรวนได้เท่ากับ 22.735% ประกอบด้วยสถานี S2, S7, S11, S13 และ S14

เมื่อนำ Loading plot มาซ้อนทับ Score plot ดังรูปที่ 3-19 พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มสถานีออกเป็น 2 กลุ่ม ในลักษณะเช่นเดียวกับการแบ่งกลุ่มตามตาราง 3-9 ทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แต่กลุ่มสถานีจะแตกต่างกัน โดยกลุ่ม PC1 มีปัจจัยทางกายที่ควบคุม คือ อนุภาคขนาดดินเหนียวและอนุภาคขนาดทรายแป้ง และปัจจัยทางเคมีที่ควบคุม คือ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ กลุ่มนี้ตะกอนดินมีเนื้อละเอียด มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูสูง เป็นกลุ่มที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำท่ามากกว่าอิทธิพลจากทะเล ส่วนกลุ่ม PC2 มีปัจจัยทางกายที่ควบคุม

คือ อนุภาคขนาดทราย และปัจจัยทางเคมีที่ควบคุม คือ ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต กลุ่ม PC2 นี้จะเป็นตะกอนเนื้อหยาบ มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูง แต่การปนเปื้อนของปรอทและสารหนูจะต่ำ กลุ่มนี้จะได้รับอิทธิพลจากทะเลมากกว่าจากน้ำท่า

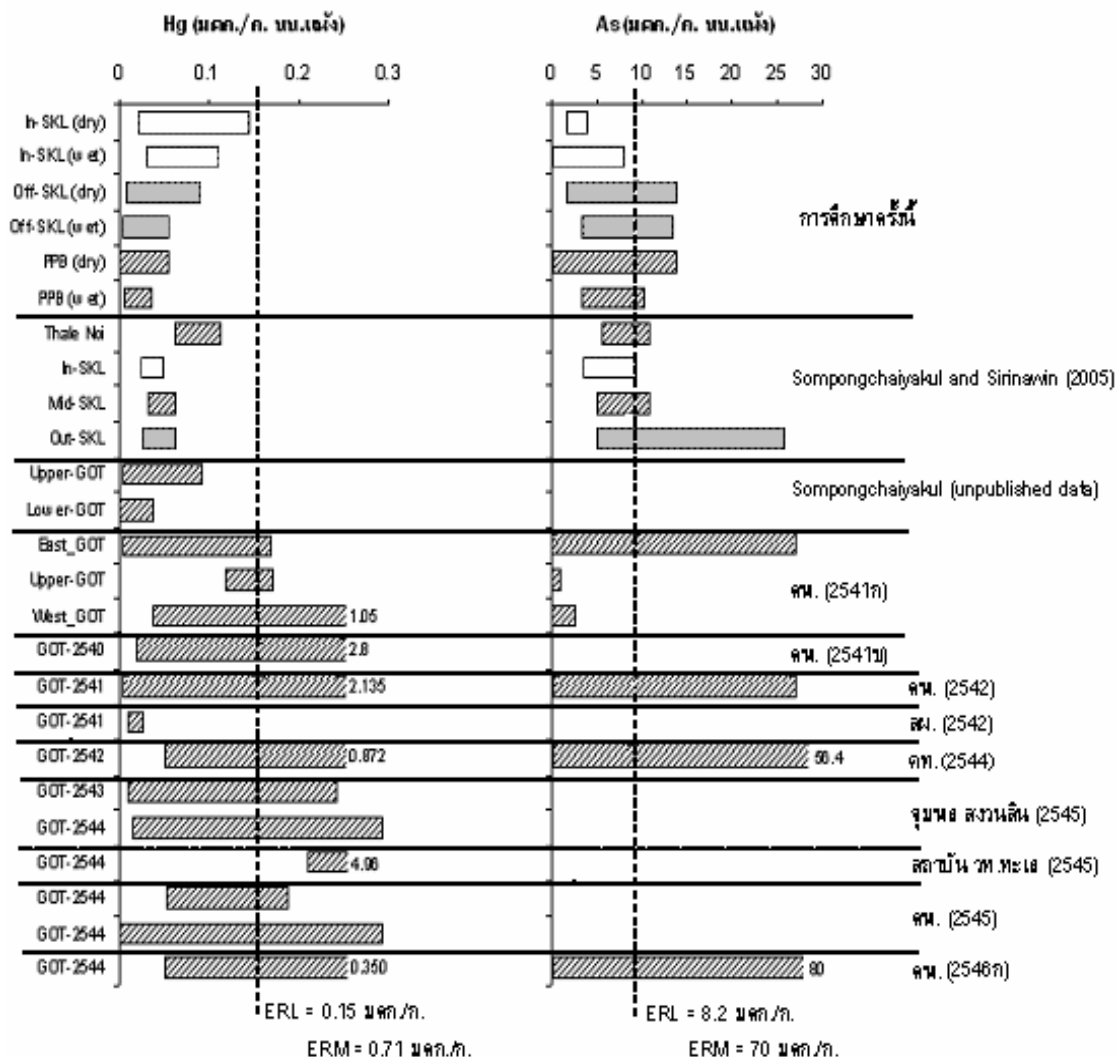
จากรูปที่ 3-19ก ในฤดูแล้ง ลักษณะตะกอนดินในสถานีกลุ่ม PC1 ส่วนใหญ่เป็นตะกอนเนื้อละเอียด และมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ปรอท และสารหนู สูงกว่าสถานีในกลุ่ม PC2 ซึ่งเป็นกลุ่มตะกอนเนื้อหยาบ มีสัดส่วนของอนุภาคขนาดทรายมาก (ตาราง ซ-3 ภาคผนวก ซ) สถานี S13 ซึ่งอยู่ใกล้เกาะหนู จะมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตสูงกว่าสถานีอื่นในทั้ง 2 ฤดู กลุ่ม PC2 นั้นเป็นกลุ่มของสถานีที่ได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำท่าที่ไหลออกจากทะเลสาบสงขลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน ดังรูปที่ 3-19ข จากปริมาณน้ำที่มากและไหลออกเพียงทางเดียว จึงทำให้กระแสน้ำไหลแรงกว่าช่วงฤดูแล้งมาก ดังนั้นตะกอนขนาดเล็ก (ทรายแป้งและดินเหนียว) จึงถูกพาออกทะเลได้ไกลกว่าตะกอนขนาดใหญ่ (ทราย)

3.5 เปรียบเทียบระดับของปรอทและสารหนูในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลา ตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา กับพื้นที่ศึกษาอื่น บริเวณชายฝั่งทะเล

เมื่อเปรียบเทียบระดับปรอทและสารหนูในตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา กับเกณฑ์ขั้นต่ำที่จะส่งผล (Effect Range Low; ERL) และเกณฑ์ชั้นกลางที่จะส่งผล (Effect Range Median; ERM) ที่ปรากฏในเกณฑ์คุณภาพตะกอนทะเลและชายฝั่งที่กรมควบคุมมลพิษได้เสนอไว้ใน Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines (PCD, 2006) โดย ERL และ ERM ของปรอท เท่ากับ 0.15 และ 0.71 มคก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และ ERL และ ERM ของสารหนู เท่ากับ 8.2 และ 70 มคก./ก. น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบ พบว่าปริมาณปรอทในตะกอนดินทุกสถานีจากทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา มีค่าต่ำกว่าค่า ERL ดังรูปที่ 3-20 ส่วนปริมาณสารหนู พบว่าสารหนูในตะกอนดินทุกสถานีจากทะเลสาบสงขลาตอนใน ทั้ง 2 ฤดู มีค่าต่ำกว่าค่า ERL ขณะที่จากนอกปากทะเลสาบสงขลาและอ่าวปากพนัง มีบางสถานีที่สารหนูมีค่าสูงเกินค่า ERL แต่ก็ยังต่ำกว่าค่า ERM

เมื่อเปรียบเทียบกับระดับปรอทและสารหนูที่ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2005) ตรวจวัดได้ในตะกอนดินทะเลสาบสงขลา (ทะเลน้อย ทะเลสาบสงขลาตอนใน ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง และทะเลสาบสงขลาตอนนอก) กับการศึกษาครั้งนี้ (รูปที่ 3-20) พบว่าปริมาณ



รูปที่ 3-20 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นของปรอทและสารหนูที่ตรวจพบในตะกอนดินจากการศึกษาครั้งนี้ และจากพื้นที่อื่นในอ่าวไทย เทียบกับเกณฑ์ขั้นต่ำที่สุดที่จะส่งผล (Effect Range Low; ERL) และเกณฑ์ขั้นกลางที่จะส่งผล (ERM) ที่กรมควบคุมมลพิษ ได้เสนอไว้ใน Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines (PCD, 2006)

หมายเหตุ : In-SKL = ทะเลสาบสงขลาตอนใน, Off-SKL = นอกปากทะเลสาบสงขลา, PPB = อ่าวปากพนัง, Mid-SKL = ทะเลสาบสงขลาตอนกลาง, Out-SKL = ทะเลสาบสงขลาตอนนอก, Upper-GOT = อ่าวไทยตอนบน, Lower-GOT = อ่าวไทยตอนล่าง, East-GOT = ชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย, West-GOT = ชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของอ่าวไทย, GOT-2540 ถึง GOT-2544 = ตัวอย่างจากชายฝั่งทะเลในอ่าวไทย, ค.พ. หมายถึง กรมควบคุมมลพิษ, ส.ศ. หมายถึง สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, สถาบัน วท.ทะเล หมายถึง สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545), ค.พ. (2541ก), ค.พ. (2541ข), ค.พ. (2542), ค.พ. (2544) และ ค.พ. (2546ก) อ้างตาม กรมควบคุมมลพิษ (2546ข)

ปรอทในตะกอนดินที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าค่อนข้างสูงกว่าปริมาณปรอทที่ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2005) รายงานไว้ ขณะที่ปริมาณสารหนูมีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับปริมาณปรอทในตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลาที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าในฤดูแล้งและฤดูฝนมีปริมาณปรอทในตะกอนดินไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อเทียบปริมาณปรอทในฤดูฝนที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาครั้งนี้กับปริมาณปรอทที่ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2005) รายงานไว้สำหรับตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ซึ่งตรวจวัดในฤดูฝนเช่นเดียวกัน พบว่าปรอทมีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน ขณะที่ระดับสารหนูมีค่าต่ำกว่าค่าที่ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2005) เคยรายงานไว้ (รูปที่ 3-20) ทั้งนี้เนื่องจากทะเลสาบสงขลาตอนนอกอยู่ลึกเข้าไปในทะเลสาบสงขลา ตะกอนดินจึงมีความละเอียดมากกว่าและมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่านอกปากทะเลสาบสงขลา ซึ่งในการศึกษาของ Sompongchaiyakul and Sirinawin (2005) พบว่าบริเวณที่มีปริมาณสารหนูสูง ส่วนใหญ่เป็นบริเวณตั้งแต่ปากคลองอู่ตะเภา รอบเกาะยอ ไปจนถึงปากทะเลสาบสงขลา (ครึ่งนอกของทะเลสาบสงขลาตอนนอก) เมื่อน้ำในทะเลสาบผสมผสานกับน้ำทะเลจากอ่าวไทย ทำให้สารหนูเกิดการแยกตัวออกจากมวลน้ำจากกระบวนการ โคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน และเกิดการตกตะกอน ทำให้ในบริเวณดังกล่าวมีสารหนูปนเปื้อนสูง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของปรอทและสารหนูที่ปนเปื้อนในตะกอนดินจากการศึกษาครั้งนี้ กับพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณอื่น พบว่าปริมาณของปรอทและสารหนูที่ตรวจวัดได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าต่ำกว่าที่กรมควบคุมมลพิษและหน่วยงานอื่นรายงานไว้ เนื่องจากงานของกรมควบคุมมลพิษและงานส่วนใหญ่มักจะเก็บตัวอย่างตะกอนดินในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสูง ได้แก่ ปากแม่น้ำ หรือบริเวณชายฝั่งที่เป็นเขตอุตสาหกรรม

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการศึกษา

4.1.1 การกระจายของขนาดอนุภาคตะกอนดิน

ลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาคตะกอนดินจากอ่าวปากพนัง ทะเลสาบสงขลาตอนใน และนอกปากทะเลสาบสงขลา แตกต่างกันทั้ง 3 บริเวณ โดยตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนในมีเนื้อละเอียดมากที่สุด และมีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนดินในทุกสถานีคล้ายคลึงกันมาก ขณะที่ตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลา มีเนื้อตะกอนหยาบที่สุด และมีความแปรปรวนของขนาดอนุภาคในระหว่างสถานีและระหว่างฤดูกาลสูง เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากทะเลมากที่สุด สำหรับอ่าวปากพนัง ตะกอนดินส่วนใหญ่เป็นอนุภาคขนาดทรายแป้งปนดินเหนียว สถานีที่มีอนุภาคเนื้อละเอียดส่วนใหญ่เป็นสถานีในอ่าว มีบางสถานีบริเวณปลายแหลมตะลุมพุกเท่านั้นที่มีอนุภาคขนาดทรายมาก

4.1.2 คาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดิน

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนใน มีระดับคาร์บอนอินทรีย์สูงเป็น 2 เท่าของที่มีในตะกอนดินจากอ่าวปากพนังและนอกปากทะเลสาบสงขลา เนื่องจากเป็นส่วนที่ลึกที่สุดของทะเลสาบสงขลา มีการสะสมของสารอินทรีย์ที่ถูกชะพามาด้วยน้ำท่าจากแผ่นดินและเกิดการตกตะกอนสะสมอยู่บริเวณท้องน้ำทะเลสาบสงขลาตอนใน และการที่มีตะกอนเนื้อละเอียดมาก โดยเฉพาะอนุภาคขนาดดินเหนียว ซึ่งเป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) จึงมีช่องว่างและพื้นที่ผิวมาก อีกทั้งยังมีประจุ สามารถสร้างพันธะกับสารอินทรีย์และโลหะหนักได้มากกว่าอนุภาคตะกอนเนื้อหยาบ (อนุภาคทราย) ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และพื้นที่ผิวในการยึดเกาะมีน้อย

สำหรับอ่าวปากพนัง สถานีในอ่าวมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าสถานีด้านนอกที่อยู่ปลายแหลมตะลุมพุก ลักษณะตะกอนดินโดยรวมของสถานีในอ่าวมีเนื้อละเอียดมากกว่า และรองรับน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน ซึ่งมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่สูง ส่วนตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลาที่มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น้อย เนื่องจากตะกอนดินส่วนใหญ่เป็นตะกอนหยาบ

4.1.3 แคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน

บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนใน แทบจะเป็นน้ำจืดตลอดปี จึงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินน้อยที่สุด ต่างจากตะกอนดินอ่าวปากพนังและนอกปากทะเลสาบสงขลา ซึ่งต่างก็เป็นบริเวณเขตน้ำกร่อย จะพบแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินสูงกว่า โดยจะพบปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินบริเวณนอกปากทะเลสาบสงขลาสูงสุด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากทะเลมากกว่าพื้นที่อื่น

4.1.4 โปรทในตะกอนดิน

การปนเปื้อนของโปรทในตะกอนดินจากทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา พบว่าตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนในและนอกปากทะเลสาบสงขลา มีการปนเปื้อนของโปรทในตะกอนดินสูงกว่าอ่าวปากพนัง ทั้ง 2 ฤดู โดยพบโปรทปนเปื้อนในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนในมีค่าสูงสุด เนื่องจากตะกอนดินในพื้นที่ส่วนนี้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าพื้นที่ศึกษาอื่นมาก และตะกอนดินในทุกสถานที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากที่สุด ขณะที่อ่าวปากพนังพบการปนเปื้อนของโปรทในตะกอนดินน้อยที่สุด แม้จะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินสูงกว่านอกปากทะเลสาบสงขลา

ลักษณะดังกล่าวข้างต้น บ่งชี้ถึงการปนเปื้อนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มากกว่าแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ โดยบริเวณลุ่มน้ำปากพนังน่าจะมีแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโปรทน้อยกว่าบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งมีชุมชนเมืองและอุตสาหกรรมหนาแน่น

4.1.5 สารหนูในตะกอนดิน

ตะกอนดินจากอ่าวปากพนังจะพบการปนเปื้อนของสารหนูมากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนังเป็นแหล่งแร่ และเคยมีการทำเหมืองแร่ดีบุก การเปิดหน้าดิน เพื่อทำเหมืองแร่ดีบุกเป็นสาเหตุให้สารหนูที่มีอยู่ในธรรมชาติ ทั้งในแร่หรือชั้นหินถูกกักร่อน และปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดิน ทำให้ปริมาณสารหนูในอ่าวปากพนังมีค่าสูง

สำหรับทะเลสาบสงขลาตอนในและนอกปากทะเลสาบสงขลา ซึ่งเป็นพื้นที่ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่านอกปากทะเลสาบสงขลา มีการปนเปื้อนของสารหนูในตะกอนดินสูงกว่าทะเลสาบสงขลาตอนใน อาจเป็นเพราะบริเวณนอกปากทะเลสาบสงขลา มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจมากกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น โดยเฉพาะลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภาและลุ่มน้ำย่อยตะวันออก 4 ที่ตั้งอยู่บริเวณปากทะเลสาบ ซึ่งไหลผ่านชุมชนเมืองและเขตที่มีโรงงานอุตสาหกรรม

4.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับตะกอนดินผิวหน้า (surface sediment) ซึ่งข้อมูลที่ได้บ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูในปัจจุบัน หรือในช่วงที่ผ่านมาไม่นานนัก หากต้องการเปรียบเทียบปริมาณของปรอทและสารหนูในอดีตที่ผ่านมากับปัจจุบัน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการเก็บตัวอย่างตะกอนดินตามระดับความลึก (core sediment) หากค่าการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จะบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของปรอทและสารหนูที่มาจากกิจกรรมอื่นที่ไม่ใช่ธรรมชาติ

นอกจากนี้ควรมีการศึกษาถึงวัฏจักรการหมุนเวียนของปรอทและสารหนูในพื้นที่ศึกษาด้วย เนื่องจากปรอทและสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนดินนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกอนดินบริเวณปากแม่น้ำ เมื่อสภาวะทางกายภาพและเคมีแปรเปลี่ยนไป จะทำให้ตะกอนดินซึ่งเป็นแหล่งสะสม (sink) กลายเป็นแหล่งกำเนิด (source) มลพิษเข้าสู่แหล่งน้ำ และถ่ายทอดเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

บรรณานุกรม

- กรมการปกครอง. 2550. ข้อมูลสถิติเกี่ยวกับประชากรจังหวัดนครศรีธรรมราช. กรมการปกครอง จังหวัดนครศรีธรรมราช กระทรวงมหาดไทย.
- กรมควบคุมมลพิษ (โสมเพจ). 2549. หุ่นส่วน... พื้นที่ทะเลสาบสงขลา. เข้าถึงได้ที่ http://www.tei.or.th/songkhllake/database/pollution_water.html. (10 มีนาคม 2550).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. สภาวะคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 24 หน้า
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมทะเล จังหวัดนครศรีธรรมราช. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 18 หน้า
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546ก. สถานการณ์โลหะหนักในตะกอนดินและเนื้อเยื่อสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 38 หน้า
- กรมควบคุมมลพิษ. 2546ข. ทะเลไทยวันนี้. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 180 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2545. โครงการประเมินสถานการณ์สิ่งแวดล้อมทางทะเล. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. รายงานโครงการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งในอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. รายงานโครงการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งบริเวณฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทยด้านตะวันตก. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ก. รายงานการศึกษาโครงการสำรวจปริมาณโลหะหนักและปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรม. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2541ข. รายงานการศึกษาปริมาณสารปรอทในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทย. ฝ่ายมลพิษทางทะเล กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 27 หน้า.
- กรมชลประทาน. 2536. การศึกษาความเหมาะสมและศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนครศรีธรรมราช. กรมชลประทาน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- กรมทรัพยากรธรณี. 2541. การศึกษาติดตามปัญหาและการแก้ไขการแพร่กระจายของสารหนู
อำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. กองสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี กระทรวง
อุตสาหกรรม.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2549. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ. ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา.
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
- กรมอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครศรีธรรมราช (โฮมเพจ). 2550. เข้าถึงได้ที่ [http://www.tmd.go.th/
programs%5Cuploads%5Cagromet%5CJan2006](http://www.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Cagromet%5CJan2006). (12 มีนาคม 2550).
- กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2531. รายงานผลการศึกษาเรื่องปัญหาสารหนูเป็นพิษที่ร้อนพิบูลย์.
วารสารการอนามัยและสิ่งแวดล้อม 11 (มกราคม-เมษายน 2531). หน้า 7-29.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2544. การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows. ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 280 หน้า
- จิรวรรณ ขวัญแก้ว. 2549. การปนเปื้อนของปรอทในดินรอบทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จุมพล สงวนสิน. 2545. เอกสารประกอบการประชุม การประชุมคณะทำงานเพื่อติดตามตรวจสอบ
ปัญหาสารปรอทในประเทศไทย ครั้งที่ 3. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ณัฐวุฒิ นาคงาม. 2549. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การแพร่กระจายของสารหนูในน้ำใต้ดิน :
กรณีศึกษาอำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ตรีรัตน์ ทองบริบูรณ์. 2540. การปนเปื้อนของสารหนูในพืชน้ำและสัตว์น้ำ บริเวณตำบล
ร้อนพิบูลย์ ถึงลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประไพศรี ทรฤทธิ์. 2545. การศึกษาปริมาณสารปรอทในเนื้อปลา น้ำ และตะกอนดิน จากทะเลสาบ
สงขลาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะ
การจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ฝ่ายข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติ สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2545. แผนที่
ดิจิทัลข้อมูลเบื้องต้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- ฝ่ายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพ สำนักงานประมงจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2544. *ข้อมูลการเลี้ยงกุ้งทะเลจังหวัดนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2529-2544*. ฝ่ายส่งเสริมและพัฒนาอาชีพ สำนักงานประมงจังหวัดนครศรีธรรมราช กรมประมง. 189 หน้า
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2549. *คู่มือเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม (น้ำและตะกอน)*. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 108 หน้า.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2535. *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์. 886 หน้า.
- ยุทธนา บัวแก้ว. 2548. *การสะสมของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในตะกอนทะเลสาบ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วรพิน วิทยรวาวัฒน์. 2537. *การปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียม และตะกั่วในลุ่มแม่น้ำปากพนังจังหวัดนครศรีธรรมราช*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วินิตา อธิไกริน. 2538. *การศึกษาการปนเปื้อนของปรอท ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำและตะกอนดินคลองอู่ตะเภา อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. 2545. *สภาวะแวดล้อมทางทะเลในบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก*. รายงานการวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย. 2542. *ครณีเคมีของปรอทในเอสทูรีของแม่น้ำเจ้าพระยา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุชาติ ฑีฆะกุล และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2547. *การกำจัดของเสียและน้ำเสียฟาร์มเลี้ยงสุกร*. *วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 6(1): 43-47
- สำนักงานเกษตรจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2548. *ผลผลิตพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ปี พ.ศ. 2547*. สำนักงานจังหวัดนครศรีธรรมราช.
- สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 8 (โฮมเพจ). 2551. *ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา – ข้อมูลลุ่มน้ำ*. เข้าถึงได้จาก <http://water8.net/modules/AMS/article.php?storyid=33> (3 กันยายน 2551)
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548ก. *คู่มือการดำเนินงานด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 67 หน้า.

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548ข. *แผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบ*. จัดทำโดย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ และมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. ในรายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2542. *โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับภาค บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดชลบุรีและจังหวัดระยอง*. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานสิ่งแวดล้อม ภาคที่ 3 สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม
- สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครศรีธรรมราช. 2550. *ข้อมูลปศุสัตว์และจำนวนผู้เลี้ยง พ.ศ. 2550*. สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครศรีธรรมราช.
- สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพัทลุง. 2550. *ข้อมูลด้านปศุสัตว์ พ.ศ. 2550*. สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดพัทลุง.
- สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา. 2550. *ข้อมูลการสำรวจสัตว์ พ.ศ. 2550*. สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดสงขลา.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 14. 2548. *โครงการจัดทำแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับภาคปี 2550 - 2554 ด้านการจัดการปัญหาน้ำเสียและขยะมูลฝอยในท้องถิ่น*. สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 68 หน้า.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 12. 2545. *รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมภาคใต้ตอนล่าง*. สำนักงานปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2550. *สถิติจำนวนโรงงานแยกตามหมวดอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2550*. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช. 2548. *ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2548*. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครศรีธรรมราช กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุง. 2548. *ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุง พ.ศ. 2548*. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุง กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. 2548. *ทำเนียบโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2548*. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา กระทรวงอุตสาหกรรม.

- อารี สุวรรณมณี. 2534. การแพร่กระจายของสารหนูในสภาพแวดล้อม อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัด นครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Anderson, D.H.M. 1985. *Sediment in Historical Monitoring*. MARC Report No. 31 : 1-95 Marc.
- Benoit, J.M., Shull, D.H., Robinson, P. and Ucran, L.R. 2006. Infaunal burrow densities and sediment monomethyl mercury distribution in Boston Harbor, Massachusetts, *Marine Chemistry* 102: 124–133.
- Benoit, J.M., C.C. Gilmour and R.P. Mason. 2001a. The influence of sulfides on solid-phase mercury bioavailability for methylation by pure cultures of *Desulfobulbus propionicus*. *Environ Sci. & Tech.* 35: 127–132.
- Benoit, J.M., R.P. Mason, C.C. Gilmour and G.R. Atken. 2001b. Constants for mercury binding by dissolved organic matter isolates from the Florida Everglades. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65: 4445–4451.
- Bernardello, M., T. Secco, F. Pellizzato, M. Chinellato, A. Sfriso and B. Pavoni. 2006. The changing state of contamination in the Lagoon of Venice. Part 2: Heavy metals. *Chemosphere.* 64: 1334-1345.
- Blake, N. 1980. *Land into water-water into land*. University Presses of florida. USA.
- Bloom, N.S. and W.F. Fitzgerald. 1988. Determination of volatile mercury species at the picogram level by low temperature gas chromatography with cold vapor atomic fluorescence detection. *Anal. Chim. Acta.* 208:151-161.
- Bloom, N.S. and E.A. Crecelius. 1987. Distribution of silver, mercury, lead, copper and cadmium in central Puget Sound sediments. *Mar. Chem.* 21: 377-347
- Bloom, H. and G.M. Ayling. 1977. Heavy metals in the Derwent Estuary. *Environ. Geol.* 2: 3-22.
- Bryan, G.W. and W. Langston. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediment with special reference to United Kingdom Estuaries: A Review. *Environ. Pollut.* 76: 89-131.
- Buakaew, S. 2008. *Contamination of mercury in surface sediment in the Gulf of Thailand*. Master Thesis chulalagkon University.

- Buccolieri, A.; G. Buccolieri, N. Cardellicchio, A. Dell'Atti, A. Di Leo and A. Maci. 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry*. 99 : 227-235.
- Canário, J., C. Vale, and M. Nogueira. 2008. The pathway of mercury in contaminated waters determined by association with organic carbon (Tagus Estuary, Portugal). *Applied Geochemistry* 23(3): 519-528.
- Carver, R.E. (ed.) 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. John Wiley & Sons, New York.
- Chester, R. 1993. *Marine Geochemistry*. London: *Chapman & Hall*. 698 p.
- Cooper C.M. and W.B. Gillespie. 2001. Arsenic and mercury concentrations in major landscape components of an intensively cultivated watershed. *Environ. Pollut.* 111: 67-74.
- Fujiki, M. 1980. The pollution of Minamata Bay by mercury and Minamata Disease. In *Contaminants and Sediments Vol. 2.*, p. 493-500, Baker, R.A. ed., Ann Arbor Science Publ., Ann Arbor, Michigan.
- GDR2909 – Philippe Bertin. 2006. de la résistance à la détoxification. Available from <http://www.gdr2909.u-strasbg.fr/pages.jsp?idsite=279>
- Gorsline, D.S. 1960. *A Lecture at University of Texas*. Austin.
- Guy, R. D., C. L. Chakrabarti and D. C. McBain. 1978. An Evaluation of Extraction Techniques for the Fraction of Copper and Lead in Model Sediment System. *Water Res.* 12: 21-24.
- Hall, B. 1995. The gas phase oxidation of elemental mercury by ozone. *Water. Air and Soil Pollut.* 80: 301-315.
- Hudson, R.J.M., S.A. Gherini, C.J. Wastras and D.P. Porcella. 1992. Modeling the biogeochemical cycle of Mercury in lakes: The Mercury Cycling Model (MCM) and its application to the MTL Lake. *Proceeding of the 1992 Conference on Mercury as a Global Pollutant*, Monterey, California.
- Iverfeldt, A. 1999. Occurrence and turnover of atmospheric mercury over the Nordic countries. *Water. Air and Soil Pollut.* 56: 252-256.
- Janicki, K. 1987. Correlation between contamination of the rural environment with mercury and occurrence of Leukaemia in men and cattle. *Chemosphere.* 16: 253-257.
- Jickells, T.D. and J.E. Rae. 1997. *Biogeochemistry of intertidal sediments*. Cambridge University press. 193 p.

- Khoomrung, S. 2006. *Analysis of total arsenic in soil and edible plant samples from Ronphiboon Sub-district, Nakorn Si-Thammarat province by hydride generation spectrophotometry*. Master Thesis, Prince of Songkla University.
- Kim, L.H., E. Choi, and M.K. Stenstrom. 2003. Sediment characteristic, phosphorus type and phosphorus release rates between river and lake sediment. *Chemosphere*. 50: 53-61.
- Kucuksezginetel F. 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environ. Inter.* 32: 41-51.
- Lindqvist, O.; Johansson, K.; Aastrup, M.; Andersson A.; Bringmark, L.; Hovsenius, G. and Timm, B. 1991. Mercury in the Swedish environment-recent research on causes consequences and corrective methods. *Water. Air and Soil Pollut.* 55: 7-17.
- Loring, D.H. and R.T.T. Rantala. 1995. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Reference Methods for marine pollution Studies*. No. 63. S.1, IAEA-UNEP. Monaco.
- Macleod, C.L., M.D. Scrimshaw, R.H.C. Emmerson, Y.H. Chang and J.N. Lester. 1999. Geochemical changes in metal and nutrient loading at Orpland farm managed retreat site, Essex, UK (April 1995-1997). *Mar. Pollut. Bull.* 38: 1115-1125.
- McArthur, J.M., P. Ravenscroft, S. Safiulla and M.F. Thirlwall. 2001. Arsenic in groundwater: testing pollution mechanisms for sedimentary aquifers in Bangladesh. *Water Resour. Res.* 37:109–117.
- Mercury and the Environment. 2006. *Environment and Health-Biogeochemical*. Available from <http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EH/EN/eh-b.cfm>
- Mercury Facts. 2005. *Major sources of Mercury in the world*. Available from <http://www.toquopenegyproject.com/mercury.htm>
- Mitra, S. 1986. *Hg in the Ecosystem*. Switzerland:Technomic Publ. Co.
- Mudroch, A. and S.D. MacKnight. 1994. *Handbook of Aquatic Sediments Sampling*. 2nd edition. Lewis Publishers. 236 p.
- Mukherjee, A.B. 1991. Industrial emission of mercury in Finland between 1967 and 1987. *Water. Air and Soil Pollut.* 56:35-46.
- Müller, G. 1967. *Methods in Sedimentary Petrology*. E. Schweizerbart'ssche Verlangsbuchhandlung, Stuttgart.

- Pacyna, J.M. and J. Munch. 1991. Anthropogenic mercury emission in Europe. *Water, Air and Soil Pollut.* 56:51-60
- PCD. 2006. *Proposed Marine and Coastal Sediment Quality Guidelines*. Final Report submitted to UNEP-GEF under the UNEP-GEF Project “Reversing Environmental Degradation Trends in the South China Sea and Gulf of Thailand”, Thailand Pollution Control Department, 61 p.
- Ram, A., M. A. Rokade, D. V. Borole and M. D. Zingde. 2003. Mercury in sediments of Ulhas estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 46: 846–857.
- Roach A.C., 2005. Ecotoxicology and Water Science Section, New South Wales Department of Environment and Conservation, NSW Environment Protection Authority, Australia. *Mar. Environ. Res.* 59: 453–472.
- Schroeder, H.W., C. Yarwood and H. Niki. 1991. Transformation processes involving mercury species in the atmosphere. *Water Air and Soil Poll.* 56: 653-665.
- Schuster, E. 1991. The behavior of mercury in the soil with special emphasis on complexation and adsorption processes-a review of the literature. *Water, Air and Soil Pollut.* 56: 657-616.
- Sfriso, A., E. Argese, C. Bettiol and C. Facca. 2008. Tapes philippinarum seed exposure to metals in polluted areas of the Venice lagoon. *Estuar. Coast Shelf Sci.* 79: 581–590.
- Sirinawin, W. and P. Sompongchaiyakul. 2004. Arsenic in Ron Phibun sub-district, Nakhon Si Thammarat: A review. *Proceedings of the LUCED International workshop on MARNURE (MANagement of Resources in urban areas and industries, focus on nutrient Recycling) and CHASE (CHEmical ASsessment of the Environment)*, 15-16 June 2004, Suratthani, Thailand.
- Sompongchaiyakul, P., W. Sirinawin and S. Dharmvanij. 2005. *Spatial and temporal variability of mercury (Hg) and arsenic (As) in Songkhla Lake Sediment*. Final Report RESEARCH PROJECT NO.: NRC-EHWM/2003-008.
- Sompongchaiyakul P. and W. Sirinawin. 2005. Arsenic, Chromium and Mercury in Surface Sediment of Songkhla Lake System, Thailand. *Asian J. Water. Environ. Pollut.* 4: 17-24.
- Sompongchaiyakul, P. 1989. *Analysis of chemical species for trace metals in Near-Shore sediment by Sequential Leaching Method*. Master of Science Thesis, Chulalongkorn University.

- Stumm, W. and J.J. Morgan. 1996. *Aquatic Chemistry*. New York : John Wiley & Son, Inc.
- US-EPA. 2001. *Appendix to Method 1631 Total Mercury in Tissue, Sludge, Sediment, and Soil by Acid Digestion and BrCl Oxidation*. Based on a standard operating procedure provided by Frontier Geosciences, Inc. Available from <http://www.brooksrand.com/img/pdf/app1631.pdf>
- US-EPA .1997. "Mercury study report to congress Volume II: An Inventory of anthropogenic mercury emission in the United States". EPA-452/R-97-004. Office Of Air quality Planning and Development. EPA.
- VKI. 1998. *Environmental diagnosis for the Songkhla Lake Basin: Technical BackgroundRreport No.9*. (EmSong Project). VKI in association with DHI, Pem Consult A/S, COWI A/S, Prince of Songkla University and Seatec International Ltd.
- Wade, L., T. Sweet and G. Klein. 2008. Assessment of sediment contamination in Casco Bay, Maine, USA. *Environ. Pollut.* 152: 505-521.
- William, L.G. and G.L. Coffee. 1975. Mercury monitoring technique using an organic substrate. *J. of Water Pollut.* 47: 354-361.
- Xiao, Z.F., J. Munthe and O. Lindqvist. 1991. Sampling and determination of gaseous and particulate mercury in the atmosphere using gold-coated Denuders. *Water Air and Soil Poll.* 56:141.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคตะกอนดิน

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน ใช้ตะกอนแห้ง 10-20 กรัม กำจัดสารอินทรีย์ด้วย 10% H_2O_2 ใช้วิธีการร่อนเปียก ร่อนตะกอนที่กำจัดสารอินทรีย์แล้ว ผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 60 ไมครอน ส่วนที่ติดค้างอยู่บนตะแกรง คือ อนุภาคขนาดทราย ส่วนที่ลอดผ่านตะแกรงนำไปหาสัดส่วนของขนาดอนุภาคทรายแป้ง (2 – 60 ไมครอน) และขนาดอนุภาคดินเหนียว (< 2 ไมครอน) โดยการตกตะกอนอย่างอิสระในน้ำ (sedimentation method) ตามกฎของสโตรก (Stoke's Law) วัดปริมาณตะกอนขนาด < 2 ไมครอน ที่เหลือล่องลอยอยู่ในมวลน้ำเหนือระยะที่กำหนด โดยการดูดสารละลายที่ระดับที่กำหนดในปริมาตรที่แน่นอนด้วยปิเปต (pipette) มาชั่งน้ำหนักของแข็งที่ล่องลอยอยู่

ก่อนการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคตะกอน คำนวณเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนอนุภาคขนาดที่กำหนด ในระยะทางที่กำหนด จากกฎของสโตรก ดังสมการ ก-1

$$k = 175 \sqrt{\frac{\eta h}{t(\rho_k \rho_f)}} \quad (\text{ก-1})$$

- เมื่อ k คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ไมครอน)
 η คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลาง (น้ำ) (poises)
 h คือ ระยะทางจากผิวหน้าของตัวกลาง (น้ำ) ถึงระดับที่ต้องการ (เซนติเมตร)
 t คือ ระยะเวลาจากที่เริ่มตกตะกอนจนถึงตอนที่ดูดสารละลายออกโดยใช้ปิเปต (นาทิจ)
 ρ_k คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคตะกอน
 ρ_f คือ ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) ของตัวกลาง (น้ำ)

การทดลองนี้ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน มีองค์ประกอบเป็นควอตซ์ (quartz) เมื่อมีการกระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 20°C ความถ่วงจำเพาะของควอตซ์ในน้ำ (ρ_k) มีค่าเท่ากับ 2.65, ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของน้ำ (ρ_f) มีค่าเท่ากับ 0.998 และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำ (η) มีค่าเท่ากับ 0.0100 ดังนั้น หากต้องการให้อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (k) ใหญ่กว่า 2 ไมครอน ตกตะกอนลงต่ำกว่าระดับผิวน้ำ (h) 5 เซนติเมตร จะต้องใช้เวลา (t) เท่ากับ 21.727 นาที หรือ 1 ชั่วโมง 52 นาที

วิธีการดำเนินการ

1. แยกเอาสิ่งที่ไม่ใช่เนื้อตะกอน เช่น กิ่งไม้ เปลือกหอย ออกจากตะกอน
2. อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$
 - ชั่งตะกอนแห้งประมาณ 10 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. กำจัดสารอินทรีย์ออกจากตะกอน ด้วย 10% H_2O_2 (v/v) ตั้งทิ้งให้ H_2O_2 ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ 1 คืน หากมีสารอินทรีย์มากอาจต้องเติม 10% H_2O_2 เพิ่ม
5. กำจัด H_2O_2 ที่เหลือ โดยการให้ความร้อนจนเกือบเดือด
6. ตั้งทิ้งให้เย็น ร่อนตะกอนแบบเปียกผ่านตะแกรงร่อน (รูปที่ ก-1) ขนาดรูเปิด 6 μm ไมครอน



รูปที่ ก-1 ตะแกรงร่อน

7. อบตะกอนที่มีขนาด $> 6 \mu\text{m}$ ไมครอน ซึ่งค้างอยู่บนตะแกรงร่อน และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด ผลที่ได้จะเป็นน้ำหนักอนุภาคทราย
 8. นำตะกอนส่วนที่ผ่านตะแกรง (ขนาด $< 6 \mu\text{m}$ ไมครอน) ใสลงในกระบอกตักตะกอน ขนาดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร และทำการตักตะกอนที่อุณหภูมิคงที่ 20°C
 9. เติม 10% (w/v) โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodiumhexametaphosphate) 10 มิลลิลิตร เพื่อให้เม็ดดินกระจายตัวอย่างอิสระ
 10. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ของกระบอกตักตะกอน
 11. ตั้งกระบอกตักลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20°C
 12. ใช้แท่งคนตะกอน กวนภายในกระบอกตักจนอนุภาคภายในกระบอกตักฟุ้งกระจายทั่วกัน เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากหยุดกวน
- 1 หลังจากเวลาผ่านไป ชั่วโมง 52 นาที ใช้ไมโครปิเปต (micropipette) ขนาด 5 มิลลิลิตร จุ่มปลายลงที่ระดับต่ำจากผิวน้ำ 5 เซนติเมตร ดูดน้ำที่ระดับความลึกนี้ 5 มิลลิลิตร

14. อบอุ่นที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C และชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักของอนุภาคขนาดคินเนียว (< 2 ไมครอน)
15. คำนวณสัดส่วนของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และคินเนียว เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือว่าน้ำหนักรวมของทุกขนาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข

การตรวจวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายในตะกอนดิน

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์วิเคราะห์โดยใช้วิธีวอลกี-แบล็ค (Walky-Black Method) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงโดย Loring and Ranta (1995) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะจำเพาะกับคาร์บอนอินทรีย์ประเภทฮิวมัส (humus) แต่จะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอินทรีย์ประเภทที่ออกซิไดซ์ได้ยาก ได้แก่ แกรไฟท์ (graphite) ถ่านหิน (coal) และคาร์บอนอินทรีย์ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (readily oxidizable organic matter) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตย่อยสลายและนำไปใช้ (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2548)

รีเอเจนต์

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นและซิลเวอร์ซัลเฟต (conc. H_2SO_4 with Ag_2SO_4)
เตรียมโดย ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 2.5 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร
2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 1 นอร์มอล (1 N $K_2Cr_2O_7$ solution)
เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร
- สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0.5 นอร์มอล (0.5 N ferrous solution)
เตรียมโดย ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มล. ซึ่งมีกรดซัลฟูริกเข้มข้นอยู่ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้เป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร
4. ไดฟีนีลลามีนอินดิเคเตอร์
เตรียมโดย ละลายไดฟีนีลลามีน (diphenylamine หรือ N-phenylamine; $(C_6H_5)_2NH$) ประมาณ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร

วิธีการดำเนินการ

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งที่ผ่านการบดละเอียด 0.5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนบนทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย 1 N $K_2Cr_2O_7$ 10 มิลลิลิตร โดยใช้ปิเปต
- เติมสารละลายซิลเวอร์ซัลเฟตในกรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4 with Ag_2SO_4) 20 มิลลิลิตร

4. ผสมกันโดยแก้วเบาๆ ประมาณ 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ในตู้ดูดควันไม่ต่ำกว่า 10 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
5. เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ตามด้วย conc. H_3PO_4 (phosphoric acid) 10 มิลลิลิตร
6. เติม โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride, NaF) 0.2 กรัม
7. เติม ไดฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ 15 หยด (ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร)
8. ไทเทรตด้วย 0.5 N ferrous solution จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเป็นสารละลายสีเขียวใส (brilliant green) บันทึกปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต

การเตรียม Standardization

1. ใช้ขวดรูปชมพู่เปล่าที่สะอาดและไม่มีตะกอน
2. ดำเนินตามวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนข้างต้นตั้งแต่ข้อ 2
- บันทึกปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต
4. ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

การคำนวณผล

เปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน หาได้จากสมการ ข-1 และเทียบเป็นปริมาณสารอินทรีย์ โดยคูณด้วย 1.72 ตามสมการ ข-2

$$\% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} = 10 \times (1-T/S) \times F \quad (\text{ข-1})$$

$$\% \text{ สารอินทรีย์} = \% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} \times 1.72 \quad (\text{ข-2})$$

- เมื่อ 1.72 = ค่า factor สำหรับคูณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ให้เป็นปริมาณสารอินทรีย์
- S = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไป ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
- T = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
- F = ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการ ค- 1 ($12/4000$ คือ milliequivalent weight ของคาร์บอน)

การหาความถูกต้องของการวิเคราะห์สารอินทรีย์

ในการหาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ ใช้เดกซ์โทรส (dextrose, $C_6H_{12}O_6$) เป็นสารมาตรฐาน (ตามทฤษฎีเดกซ์โทรส 1 กรัม จะมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 9.99%) ซึ่งเดกซ์โทรส 0.01 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่แล้วทำการทดลองหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน จากนั้นคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ตามสมการ ข- [ค่าที่ได้ ควรใกล้เคียงกับ 9.99%

$$\% \text{ คาร์บอนในเดกซ์โทรส} = 10 \times (1-T/S) \times F \quad (\text{ข- [$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } F &= (1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times (100/\text{น้ำหนักเดกซ์โทรส}) \\ &= [0 \text{ เมื่อเดกซ์โทรส น้ำหนัก } 0.01 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค

การตรวจวัดปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดิน

แคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินจากการศึกษาในครั้งนี้ จะอยู่ในรูปของเปลือกหอยที่ปนเปื้อนมากับตะกอนดิน เนื่องจากตะกอนดินที่เก็บมาทดลองนั้นอยู่ในพื้นที่บริเวณเอสทูรี โดยเฉพาะตะกอนดินจากนอกปากทะเลสาบสงขลาและอ่าวปากพนัง

การตรวจวัดแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนดินที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและเหมาะสมที่สุด คือ เทคนิคการไทเทรตด้วยกรดและเบส (Acid-base titration technique) (Sompongchaiyaku, 1989) ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดหรือเบส โดยให้สารละลายกรดหรือเบสทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน และใช้อินดิเคเตอร์เป็นสารบอกจุดยุติ ขณะไทเทรต pH จะเปลี่ยนไป หากเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม จุดยุติจะใกล้เคียงกับจุดสมมูล

รีเอเจนต์

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล (0.5 N HCl solution)
เตรียมโดย ละลายกรดไฮโดรคลอริก 20.8 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และเจือจางเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 นอร์มอล (0.25 N NaOH solution)
เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5.0 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร
- สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein solution)
เตรียมโดย ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 100 มิลลิกรัม ใน ethyl alcohol เข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
5. โพแทสเซียม ไฮโดรเจน พทาเลต (Potassium hydrogen phthalate ; $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)
6. สารละลายโบรโมกรีน (Bromocresol green solution)
เตรียมโดย ละลายโบรโมกรีน 100 มิลลิกรัม ในโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.45 นอร์มอล และเจือจางโดยใช้น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

วิธีการดำเนินการ

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้ง 1 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย HC \square 10 มิลลิลิตร โดยใช้บีเวอร์
 - ตั้งสารละลายบน heater ใช้อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
4. จากนั้นทดสอบ pH โดยใช้กระดาษลิตมัส (ถ้า pH > 2 ให้เติม HC \square 10 มิลลิลิตร ลงไป และให้ความร้อนต่ออีกเป็นเวลา 20 นาที)
5. เมื่อ pH < 2 เจือจางสารละลายโดยใช้น้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร
6. เติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ \square 4 หยด
7. ไทเทรตด้วย 0.25 N NaOH solution จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเป็นสารละลายสีม่วง (purple) บันทึกปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต

การเตรียม Standardization ของ NaOH

1. อบ KHC \square H \square O \square ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์
2. ชั่ง KHC \square H \square O \square 0.9-1.0 กรัม (ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - ละลาย KHC \square H \square O \square ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร
4. เติมฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ \square 4 หยด
5. ไทเทรตด้วย 0.25 N NaOH solution จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเป็นสารละลายสีชมพู
6. ทำซ้ำอย่างน้อย \square ซ้ำ

การเตรียม Standardization ของ HCl

1. อบ Na \square CO \square ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์
2. ชั่ง Na \square CO \square 0.6-0.7 กรัม (ให้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - ละลาย NH \square CO \square ในน้ำกลั่น 25-50 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดปรับปริมาตร
4. เติมโบรโมกรีน กรีน \square 4 หยด

5. ไทเทรตด้วย 0.5 N HCl solution จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเป็นสารละลายสีเขียว
6. ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

การคำนวณผล

$$\% \text{CO}_3^{2-} \text{C} = [(100)(0.006)(m_{\text{HCl}})(N_{\text{HCl}})] - [(m_{\text{NaOH}})(N_{\text{NaOH}})] \quad (\text{ค-1})$$

$$\% \text{CaCO}_3 = [(100)(0.05)(m_{\text{HCl}})(N_{\text{HCl}})] - [(m_{\text{NaOH}})(N_{\text{NaOH}})] \quad (\text{ค-2})$$

- เมื่อ $N = (A \times B) / (MW \times C)$
- A = น้ำหนักของสารที่ใช้ในการทำ Standardize (กรัม)
- B = ปริมาตรน้ำกลั่นที่เติม (มิลลิลิตร)
- C = ปริมาตรกรดและเบสที่ใช้ในการไทเทรต
- MW = น้ำหนักโมเลกุลของสาร

ภาคผนวก ง

การทำความสะอาดอุปกรณ์ในการทดลอง

ภาชนะและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและการทดลองเกี่ยวกับโลหะหนัก เกือบทั้งหมดเป็นภาชนะพลาสติกประเภท Teflon[®] PTFE, polypropylene และ polyethylene ซึ่งต้องผ่านการแช่ด้วยกรดไนตริกเจือจาง (diluted nitric acid; 10% HNO₃) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และชะภาชนะครั้งสุดท้ายด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI water) ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้า > 18 MΩ-cm จนหมดฤทธิ์กรด ผึ่งให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet) class 100 จนแห้งสนิท แล้วบรรจุภาชนะและอุปกรณ์ในถุงพลาสติกและปิดผนึกพร้อมที่จะใช้งาน (รูปที่ ง-1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานและการใส่กรดลงในภาชนะ Teflon bomb รวมไปถึงการเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทุกขั้นตอนทำในตู้ปลอดฝุ่น Class 100 และสวมถุงมือพลาสติกทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างทำการทดลอง



(ก)



(ข)

รูปที่ ง-1 (ก) การผึ่งอุปกรณ์ให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet) class 100 และ (ข) อุปกรณ์ที่แห้งแล้วบรรจุในถุงพลาสติกและปิดผนึกพร้อมที่จะใช้งาน

* กรดไนตริก (HNO₃) ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นชนิด AR grade และผ่านการเตรียมให้เป็นกรดชนิดบริสุทธิ์สูง (suprapure) โดยนำมากลั่นด้วยเครื่องกลั่นกรดแบบ sub-boiling ยี่ห้อ Bergthof (Germany)

ภาคผนวก จ

การย่อยสกัดและวิเคราะห์หาปรอทรวมในตะกอนดิน

วิธีที่ใช้ย่อยสกัดตะกอนดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณปรอทรวม (total mercury) ดัดแปลงจากวิธีของ Bloom and Crechius (1987) และของวิธี US-EPA METHOD 1631B (US-EPA, 2001) โดยใช้กรดกัดทอง (aqua regia; HNO_3 : HCl = 1:3 (v/v)) ย่อยสกัดโลหะในตะกอนดินให้อยู่ในสารละลาย ตรวจสอบปริมาณปรอทในสารละลายโดยเทคนิคไฮโดรด์เจเนอเรชัน (hydride generation) เครื่องแก้วและภาชนะพลาสติกทุกชิ้นผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วตามวิธีการในภาคผนวก ก

รีเอเจนต์ (Reagent)

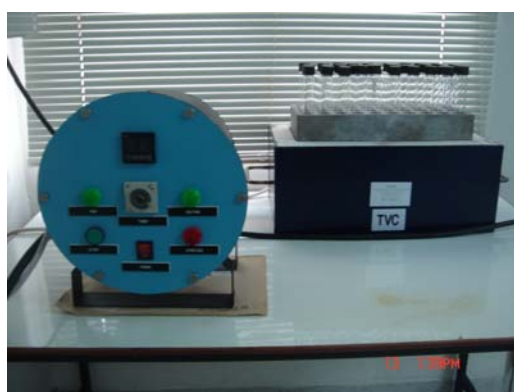
1. กรดกัดทอง (aqua regia; HNO_3 : HCl = 1:3 (v/v))
เตรียมโดยผสมกรด HCl : HNO_3 ในสัดส่วน 3:1 โดยปริมาตร
2. สารละลาย bromine monochloride เข้มข้น 0.02 นอร์มอล
เตรียมโดยละลาย KBr 27 กรัม ใน conc. H_2SO_4 2.5 ลิตร เมื่อ KBr ละลายหมดเติม KBrO_3 8 กรัม ลงในสารละลาย
3. Bromine monochloride solution เข้มข้น 0.07 นอร์มอล
เตรียมโดยเจือจางสารละลาย bromine monochloride เข้มข้น 0.02 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (> 18 $\text{M}\Omega\text{-cm}$) ให้เป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร
4. สารละลาย $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$
เตรียมโดยละลาย NaCl 12 กรัม และ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ 12 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน (> 18 $\text{M}\Omega\text{-cm}$) 100 มิลลิลิตร
5. สารละลาย 0.2% NaBH_4
เตรียมโดยละลาย NaBH_4 2 กรัม ใน 0.05% (w/v) NaOH 1 ลิตร
6. 0% (v/v) HCl

วิธีการดำเนินการ

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งที่ผ่านการบดละเอียดด้วยโกร่งโมรา (รูปที่ จ-1) 0.6 กรัม บนที่ก้นน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่งในหลอดแก้วทนความร้อนขนาด 60 มิลลิลิตร
2. เติมกรดกัดทอง 5 มิลลิลิตร ลงไปหลอดแก้วที่บรรจุตะกอนดิน
 - ปิดฝาหลอดแก้วด้วยแผ่นพลาสติกสะอาด ก่อนปิดฝาเกลียว จากนั้นบรรจุหลอดแก้วลงในเตาให้ความร้อนแบบ heating block (รูปที่ จ-2) สกัดตะกอนดินที่อุณหภูมิ $95 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 10 นาที



รูปที่ จ-1 โกร่งโมราและสากโมรา (agate mortar and pestle)



รูปที่ จ-2 การย่อยตัวอย่างใน heating block

4. นำหลอดแก้วออกจาก heating block ตั้งทิ้งให้สารละลายเย็นลง
5. เติม 0.07 N BrC₁₀₀ มิลลิลิตร เพื่อออกซิไดซ์ปรอทอินทรีย์ทั้งหมดให้อยู่ในรูปปรอทอินทรีย์ ที่จับไว้น้ำมัน
6. เทสารละลายลงในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) ปากแคบ และเติมสารละลาย NH₂OH.HC₁₀₀ มิลลิลิตร เพื่อกำจัด BrC₁₀₀ ส่วนเกิน
7. วัดความเข้มข้นของปรอทในสารละลาย โดยใช้สารละลาย 0.2% NaBH₄ เป็นตัวรีดิวซ์ปรอททุกรูป ให้เป็นไอปรอท (Hg⁰) ใช้ 0% (v/v) HC₁₀₀ เป็น carrier solution และใช้ก๊าซอาร์กอน (argon gas) เป็นตัวพาไอปรอทเข้าเครื่องตรวจวัดปริมาณไอปรอท Perkin-Elmer Flow Injection Mercury Analyzer (FIMSTM 400) (รูปที่ จ-1)



รูปที่ จ-1 การตรวจวัดความเข้มข้นของปรอทโดยเทคนิค hydride generation ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปรอท Perkin-Elmer FIMSTM 400

ภาคผนวก จ

การย่อยและวิเคราะห์หาสารหนูรวมในตะกอนดิน

วิธีการย่อยตะกอนดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารหนูรวม (total arsenic) ใช้วิธี total digestion ตามวิธีของ Loring and Ranta (1995) โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid, HF) และกรดกัดทอง (aqua regia; HNO_3 : HCl = 1:1 (v/v)) ย่อยโลหะทั้งหมดในตะกอนดินให้อยู่ในสารละลาย ตรวจวัดปริมาณสารหนูในสารละลายโดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาสเปกโตรสโกปีร่วมกับแมสสเปกโตรสโกปี (inductively coupled plasma spectroscopy – mass spectroscopy; ICP-MS) เครื่องแก้วและภาชนะพลาสติกทุกชิ้นผ่านการล้างทำความสะอาดแล้วตามวิธีการในภาคผนวก ก

วิธีการดำเนินการ

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งที่ผ่านการบดละเอียดด้วยโกร่งโมรา 0.2 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน Teflon bomb (รูปที่ จ-1ก)
2. เติมกรดกัดทอง (วิธีเตรียมเหมือนในภาคผนวก จ) 1 มิลลิลิตร
 เติมกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น (conc. HF) 6 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ
4. ปิดฝา Teflon bomb ให้แน่น จากนั้นวาง Teflon bomb ลงในหม้ออัดความดัน ปิดฝาหม้ออัดความดัน (รูปที่ จ-1ข) และใส่ในเตาอบไมโครเวฟ และวางบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำบรรจุอยู่ 50 มิลลิลิตร ไว้ข้างๆ (รูปที่ จ-2)
5. ย่อยตะกอนโดยตั้ง μpower นาน 5 นาที และ high power นาน 10 นาที ทั้งช่วงระหว่างรอบแรกและรอบหลังนาน 10 นาที
6. หลังจากครบกำหนดเวลา นำ Teflon bomb ออกมาจากหม้ออัดความดัน ตั้งให้เย็นโดยการแช่ลงในถาดน้ำแข็งหรือน้ำเย็น โดยอย่าให้ความสูงของน้ำเกินกว่าขอบต่ำสุดของฝา Teflon bomb
7. ขณะที่รอให้ Teflon bomb เย็น ชั่งกรดบอริก (boric acid; H_3BO_3) 5.6 กรัม และใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
8. เติมน้ำปราศจากไอออน ($> 18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$) 20 มิลลิลิตร เพื่อละลายกรดบอริก



(ก)

(ข)

รูปที่ ๑-1 (ก) ภาชนะอัดความดันเทฟลอน (Teflon bomb) และ (ข) หม้ออัดความดันผลิตภัณฑ์ Nordic Ware[®] รุ่น TENDER COOKER



รูปที่ ๑-2 การจัดเรียงหม้ออัดความดันและบีกเกอร์น้ำในเตาไมโครเวฟ

9. หลังจาก Teflon bomb เย็นแล้ว เช็ด Teflon bomb ให้แห้ง
10. ค่อยๆ เปิดฝา Teflon bomb เพื่อป้องกันการพุ่งของสารละลาย เนื่องจากความดันภายใน
11. รินสารละลายใน Teflon bomb ลงในขวดปรับปริมาตรที่มีกรดบอริกอยู่
12. ชะ Teflon bomb หลายๆ ครั้ง โดยใช้น้ำปราศจากไอออน ($> 18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$)
13. ปิดฝาและเขย่าขวดปรับปริมาตรเพื่อให้กรดบอริกทำปฏิกิริยากับ HF ที่เหลือในสารละลาย
14. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน ($> 18 \text{ M}\Omega\text{-cm}$)

15. เทสารละลายลงในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) ที่จุ่มไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อรอให้ตะกอน gelatinous borosilicate ที่เกิดขึ้นตกตะกอนนอนก้นก่อน นำสารละลายส่วนใสไปตรวจวัดปริมาณสารหนูด้วยเครื่อง ICP-MS (รูปที่ ฉ-1)



รูปที่ ฉ-1 การตรวจวัดความเข้มข้นของสารหนูโดยเทคนิค ICP-MS ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ ICP-MS ยี่ห้อ Agilent

ภาคผนวก ข
ตารางผลการศึกษา

- ตาราง ข-1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินอ่าวปากพนัง
- ก) อ่าวปากพนัง – ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550)
 - ข) อ่าวปากพนัง – ฤดูฝน (2 พฤษภาคม 2550)
- ตาราง ข-2 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน
- ก) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550)
 - ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)
- ตาราง ข-□ ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา
- ก) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550)
 - ข) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)

ตาราง ข-1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินอ่าวปากพนัง

ก) อ่าวปากพนัง – ฤดูแล้ง (14 กุมภาพันธ์ 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
P1	628787	926214	4.4	37.0	13.8	1.1	2.4	2.4	64.1	33.5	Clayey silt
P2	628330	927383	2.1	28.6	12.6	1.1	3.2	0.9	85.1	14.0	Silt
P3	626733	928815	0.4	32.4	10.5	1.0	2.4	2.4	76.1	21.5	Clayey silt
P4	624798	930269	0.5	36.8	11.5	0.9	4.1	2.7	84.0	13.3	Silt
P5	623155	933756	0.6	27.2	11.3	0.8	3.7	1.5	84.8	13.7	Silt
P6	620345	933736	0.9	22.8	7.3	0.9	2.5	1.4	82.7	15.9	Silt
P7	622312	935772	1.7	34.1	9.8	1.0	4.6	1.6	70.3	28.1	Clayey silt
P8	624299	937836	1.0	14.2	6.8	0.6	6.3	1.7	84.6	13.6	Silt
P9	620343	937788	2.0	21.8	11.0	0.9	5.8	13.3	56.0	30.7	Sandy clayey silt
P10	622285	939793	1.5	25.5	7.9	0.6	7.1	8.9	72.5	18.6	Clayey silt
P11	624410	942007	1.7	8.8	8.9	0.1	13.4	66.0	28.3	5.8	Silty sand
P12	618395	939708	1.7	25.6	4.2	1.1	9.3	1.3	65.0	33.7	Clayey silt
P13	620328	941787	2.2	17.8	6.2	0.4	14.8	51.8	35.3	12.9	Silty clayey sand
P14	622276	943807	2.7	1.5	<0.3	0.1	5.0	65.7	27.6	6.7	Silty sand
PA	616240	936268	4.4	55.4	10.8	1.5	2.2	6.0	62.1	31.9	Clayey silt

ตาราง ข-1 (ต่อ)

ข) อ่าวปากพนัง – ฤดูฝน (23 พฤษภาคม 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
P1	628787	926214	4.5	22.8	8.4	1.1	4.3	0.2	64.2	35.7	Clayey silt
P2	628330	927383	2.6	34.2	7.5	1.0	4.2	0.6	63.5	35.9	Clayey silt
P3	626733	928815	0.4	32.3	7.8	0.9	5.6	0.8	70.7	28.5	Clayey silt
P4	624798	930269	0.5	15.7	5.6	0.6	5.6	2.9	75.5	21.7	Clayey silt
P5	623155	933756	0.8	25.2	5.6	1.0	4.2	0.1	75.3	24.5	Clayey silt
P6	620345	933736	0.7	20.5	6.9	0.7	4.4	1.0	72.4	26.5	Clayey silt
P7	622312	935772	1.6	20.4	6.3	0.9	5.3	0.9	69.2	29.9	Clayey silt
P8	624299	937836	0.5	36.3	4.6	0.4	34.5	2.0	60.6	37.4	Clayey silt
P9	620343	937788	1.1	27.7	5.6	0.8	7.4	2.1	62.6	35.3	Clayey silt
P10	622285	939793	0.8	24.8	5.3	0.5	9.5	17.4	58.2	24.4	Sandy Clayey silt
P11	624410	942007	1.4	6.0	3.8	0.1	35.4	0.8	92.6	6.6	Silt
P12	618395	939708	1.3	36.6	5.2	0.9	6.0	0.3	71.2	28.5	Clayey silt
P13	620328	941787	1.1	15.7	4.1	1.0	34.1	87.0	4.4	8.6	Sand
P14	622276	943807	2.1	16.7	3.3	0.2	7.5	56.0	31.4	12.5	Silty clayey sand
PA	616240	936268	3.3	6.0	10.4	1.2	4.7	1.2	79.8	19.0	Clayey silt

ตาราง ข-2 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนใน

ก) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูแล้ง (12 พฤษภาคม 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
D1	635994	847459	2.3	29.7	3.3	1.27	2.13	0.1	70.9	29.0	Clayey silt
D2	638421	847687	2.2	29.4	1.6	0.97	2.56	0.5	67.3	32.2	Clayey silt
D3	638431	844038	2.2	44.5	3.9	1.58	1.71	0.2	67.1	32.7	Clayey silt
D4	636115	844031	2.2	40.9	3.6	0.86	1.63	0.2	68.1	31.7	Clayey silt
D5	633246	844023	2.2	143.8	3.0	1.27	2.61	0.2	73.3	26.6	Clayey silt
D6	633238	847008	2.1	21.3	2.8	1.08	2.18	0.1	71.0	28.9	Clayey silt
D7	633227	850768	2.1	50.7	3.2	1.03	3.35	0.2	76.5	23.2	Clayey silt
D8	635433	850774	2.1	42.7	3.0	1.06	1.62	0.1	65.6	34.3	Clayey silt
D9	638412	850783	2.2	53.0	3.9	0.76	1.01	0.1	73.0	26.6	Clayey silt

ตาราง ข-2 (ต่อ)

ข) ทะเลสาบสงขลาตอนใน – ฤดูฝน (6 มกราคม 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
D1	635994	847459	2.8	31.9	6.2	1.10	0.41	1.1	69.0	29.9	Clayey silt
D2	638421	847687	2.6	38.7	6.5	1.01	0.46	0.8	75.5	23.7	Clayey silt
D3	638431	844038	2.6	43.2	3.4	1.05	0.16	0.6	79.0	20.4	Clayey silt
D4	636115	844031	2.6	29.8	3.5	1.12	0.64	0.8	67.4	31.7	Clayey silt
D5	633246	844023	2.6	32.8	<0.3	1.13	0.64	1.1	66.6	32.2	Clayey silt
D6	633238	847008	2.6	60.7	6.8	1.51	0.64	2.4	68.5	29.2	Clayey silt
D7	633227	850768	2.6	40.8	8.1	0.82	1.55	1.1	72.4	26.5	Clayey silt
D8	635433	850774	2.7	31.8	6.1	1.02	1.00	1.2	66.8	32.0	Clayey silt
D9	638412	850783	2.6	110.5	5.5	1.09	0.76	2.0	65.9	32.1	Clayey silt

ตาราง ข-3 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง สมบัติทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก ในตะกอนดินนอกปากทะเลสาบสงขลา

ก) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูแล้ง (28 กุมภาพันธ์ 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
S1	674196	799338	5.7	7.7	2.3	0.07	4.04	94.5	0.5	5.0	Sand
S2	676014	798758	6.0	64.5	13.8	1.50	4.40	0.1	86.7	13.2	Silt
S3	675444	799549	6.0	29.4	12.2	0.78	4.15	0.7	75.5	23.9	Clayey silt
S4	674890	800130	7.7	11.2	6.0	0.09	2.19	92.8	2.4	4.8	Sand
S5	674260	800423	5.4	26.1	4.8	0.63	4.34	27.3	62.6	10.1	Sandy clayey silt
S6	673623	800866	3.7	32.5	1.8	0.08	3.44	92.6	2.9	4.5	Sand
S7	676319	799376	7.1	32.8	2.6	1.12	3.69	0.3	75.1	24.6	Clayey silt
S8	675915	799928	6.0	33.6	8.6	0.61	21.19	37.2	41.4	21.4	Sandy clayey silt
S9	675345	800734	8.1	46.1	7.6	0.66	4.39	48.8	27.7	23.5	Silty clayey sand
S10	674721	801073	6.3	89.6	5.0	0.70	7.56	38.2	41.0	20.8	Sandy clayey silt
S11	674139	801497	5.6	13.0	5.6	0.11	5.16	78.1	13.5	8.4	Silty sand
S12	676884	800125	8.6	30.5	2.1	1.00	4.17	2.5	75.3	22.2	Clayey silt
S13	676051	800469	7.2	21.9	8.1	0.17	77.11	93.8	0.2	6.0	Sand
S14	675944	801215	9.2	52.7	10.0	1.07	4.11	7.5	90.0	2.5	Silt
S15	675299	801490	7.0	25.1	7.6	0.63	9.22	30.5	46.0	23.5	Sandy clayey silt
S16	674647	802157	6.8	11.8	12.4	0.08	8.09	90.2	3.0	6.8	Sand

ตาราง ข-3 (ต่อ)

ข) นอกปากทะเลสาบสงขลา – ฤดูฝน (1 มิถุนายน 2550)

สถานี	พิกัด		Depth (m)	Hg (ng/g)	As (µg/g)	% OC	% CaCO ₃	% Sand	% Silt	% Clay	Soil texture
	X	Y									
S1	674196	799338	4.2	19.6	4.5	0.34	18.70	84.9	13.8	1.3	Sand
S2	676014	798758	5.5	31.8	12.3	0.92	5.80	2.2	13.6	84.2	Silt
S3	675444	799549	4.9	11.0	5.6	0.18	15.90	81.7	15.6	2.7	Sand
S4	674890	800130	7.1	20.2	6.2	0.14	7.10	79.0	10.5	10.5	Silty clayey sand
S5	674260	800423	4.9	38.5	3.3	0.13	7.80	85.7	12.0	2.4	Sand
S6	673623	800866	3.4	34.8	3.7	0.06	2.40	92.3	7.0	0.7	Sand
S7	676319	799376	6.4	40.0	11.8	0.91	4.40	1.6	34.9	63.5	Clayey silt
S8	675915	799928	5.1	55.5	4.9	0.36	30.00	69.0	19.3	11.7	Silty clayey sand
S9	675345	800734	7.7	20.4	5.8	0.31	6.20	87.6	10.7	1.6	Sand
S10	674721	801073	5.8	5.4	7.3	0.18	37.4	53.9	23.2	22.9	Silty clayey sand
S11	674139	801497	4.9	33.5	10.8	0.59	9.9	3.1	16.1	80.8	Silt
S12	676884	800125	7.8	43.8	10.7	0.47	4.6	80.2	10.1	9.7	Sand
S13	676051	800469	6.3	12.2	11.5	0.34	67.5	23.4	26.1	50.5	Sandy clayey silt
S14	675944	801215	8.8	33.0	13.6	0.66	7.4	43.2	24.1	32.7	Silty clayey sand
S15	675299	801490	6.6	25.6	10.2	0.59	6.7	79.5	16.4	4.1	Clayey sand
S16	674647	802157	6.1	9.0	10.0	0.28	11.6	75.3	10.4	14.4	Silty clayey sand

ภาคผนวก ข

การทดสอบความแตกต่างของตัวแปรโดยใช้สถิติ

การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปัจจัยทางกายภาพเคมี และโลหะหนัก (ขนาดอนุภาคของตะกอน คาร์บอนอินทรีย์ แคลเซียมคาร์บอเนต โปรท และสารหนู) ระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝน โดยวิธี Paired-Sample T test ในการทดสอบความแตกต่าง มีการกำหนดสมมติฐานเพื่อการทดสอบดังนี้

H_0 = ค่าเฉลี่ยของปัจจัยในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกัน

H_1 = ค่าเฉลี่ยของปัจจัยในฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกัน

ผลการทดสอบทางสถิติแสดงไว้ในตาราง ข-1 หาก Sig. (2-tailed) ในตาราง ข-1 มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ให้ยอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของปัจจัยในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือ 0.05 แต่ถ้าหาก Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ให้ยอมรับสมมติฐาน H_1 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของปัจจัยในฤดูแล้งและฤดูฝนแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือ 0.05

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปัจจัยต่างๆ ทางสถิติ สรุปได้ว่า

1. ปริมาณทราย
 - อ่าวปากพนัง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
2. ปริมาณทรายแป้ง
 - อ่าวปากพนัง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
3. ปริมาณดินเหนียว
 - อ่าวปากพนัง มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)

ตาราง ซ-1 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างโดยใช้ Paired-Sample T test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	SD.	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
SAND								
PPB	3.6200	20.03491	5.17299	-7.4750	14.7150	0.700	14	0.496
In-SKL	-1.0444	0.66353	0.22118	-1.5545	-0.5344	-4.722	8	0.001
Off-SKL	-12.9688	45.34935	11.33734	-37.1337	11.1962	-1.144	15	0.271
SILT								
PPB	1.7933	22.35558	5.77219	-10.5868	14.1734	0.311	14	0.761
In-SKL	0.1889	6.44621	2.14874	-4.7661	5.1439	0.088	8	0.932
Off-SKL	23.7500	32.28923	8.07231	6.5443	40.9557	2.942	15	0.010
CLAY								
PPB	-5.4067	9.50650	2.45457	-10.6712	-0.1421	-2.203	14	0.045
In-SKL	0.8333	6.08256	2.02752	-3.8421	5.5088	0.411	8	0.692
Off-SKL	-10.7812	31.16229	7.79057	-27.3865	5.8240	-1.384	15	0.187
ORGANIC CARBON (OC)								
PPB	0.0533	0.22636	0.05845	-0.0720	0.1787	0.913	14	0.377
In-SKL	0.0033	0.30373	0.10124	-0.2301	0.2368	0.033	8	0.975
Off-SKL	0.1775	0.34327	0.08582	-0.0054	0.3604	2.068	15	0.056
CALCIUM CARBONATE (CaCO₃)								
PPB	-5.7267	9.30810	2.40334	-10.8813	-0.5720	-2.383	14	0.032
In-SKL	1.3933	0.63423	0.21141	0.9058	1.8808	6.591	8	0.000
Off-SKL	-4.7594	8.74069	2.18517	-9.4170	-0.1018	-2.178	15	0.046
MERCURY (Hg)								
PPB	0.0033	0.01695	0.00438	-0.0061	0.0127	0.746	14	0.468
In-SKL	0.00378	0.046909	0.015636	-0.03228	0.03984	0.242	8	0.815
Off-SKL	0.00594	0.026789	0.006697	-0.00834	0.02021	0.887	15	0.389
ARSENIC (As)								
PPB	2.8333	2.71363	0.70066	1.3306	4.3361	4.044	14	0.001
In-SKL	-2.0111	2.63981	0.87994	-4.0403	0.0180	-2.286	8	0.052
Off-SKL	-1.3563	4.25848	1.06462	-3.6254	0.9129	-1.274	15	0.222

4. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์
 - อ่าวปากพนัง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
5. ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต
 - อ่าวปากพนัง มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
6. ปริมาณปรอท
 - อ่าวปากพนัง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
7. ปริมาณสารหนู
 - อ่าวปากพนัง มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)
 - ทะเลสาบสงขลาตอนใน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)
 - นอกปากทะเลสาบสงขลา ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างฤดู ($p > 0.05$)