



การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน  
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา  
**Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediment from  
Outer Songkhla Lake, Songkhla Province, and Ao Tap Lamu, Pangnga Province**

วรนุช ดีละมัน

**Woranuch Deelaman**

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

ชื่อวิทยานิพนธ์                      การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน  
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัด  
พังงา

ผู้เขียน                                      นางสาวรณช ดีละมัน

สาขาวิชา                                    การจัดการสิ่งแวดล้อม

**คณะกรรมการที่ปรึกษา**

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ  
(ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพดี ชัยสุขสันต์)

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

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

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. นสพ.บรรจง วิทย์วิรศักดิ์)

..... กรรมการ  
(ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)

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

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม

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

ชื่อวิทยานิพนธ์	การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา
ผู้เขียน	นางสาวรณช ดีละมัน
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์ปริมาณของสาร PAHs 15 ชนิด (ประกอบด้วย Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 1HBenzo[a]Fluoranthene, 11H-Benzo[b]Fluoranthene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Benzo[e]pyrene, Benzo[g,h,i]perylene, Dibenzo[a,h]anthracene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene)) และรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก 20 ตัวอย่าง และจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ 70 ตัวอย่าง โดยการสกัดตะกอนด้วยวิธี soxhlet extraction โดยใช้ dichromethane เป็นตัวทำละลาย และตรวจวัดระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี พบว่าตะกอนจากตะกอนจากทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีค่า PAHs รวม ( $\Sigma$ PAHs) อยู่ในช่วง 12.6 – 150.1 และเฉลี่ยเท่ากับ  $36.6 \pm 31.6$  นนก./ก. นน.แห้ง ส่วนตะกอนจากทะเลสาบสงขลาตอนนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุมีค่า  $\Sigma$ PAHs ทั้ง 15 ชนิด อยู่ในช่วง 12.6 – 272.0 และเฉลี่ย  $64.5 \pm 44.3$  นนก./ก. นน.แห้ง และพบว่า  $\Sigma$ PAHs ในตะกอนนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ บริเวณที่มีค่า  $\Sigma$ PAHs สูงจะอยู่นอกแหลมปะการังออกไปยังทะเลด้านนอก ซึ่งใกล้เคียงกับแนวที่มีรายงานเบื้องต้นว่าอาจจะเป็นแนวที่มีการสะสมของตะกอนจากแผ่นดินที่ถูกพามาด้วยกระแสน้ำไหลย้อน (backwash) ของคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2547 จากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/An+Phe, Fluo/(Fluo+Pyr), B[a]A/B[a]A+Chry), Ind/(Ind+B[g,h,i]P), Phe/An, Fluo/Pyr และ B[a]A/Chry พบว่า 80% ของตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงาเป็น PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ 81.4%

<b>Thesis</b>	Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediment from Outer Songkhla Lake, Songkhla Province, and Ao Tap Lamu, Pangnga Province
<b>Author</b>	Miss Woranuch Deelaman
<b>Major Program</b>	Environmental Management
<b>Academic Year</b>	2009

### Abstract

Quantitative and spatial distribution analyses of 15 PAHs (including Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 11HBenzo[a]Fluoranthene, 11H-Benzo[b]Fluoranthene, Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Benzo[e]pyrene, Benzo[g,h,i]perylene, Dibenzo[a,h]anthracene and Indeno[1,2,3-cd]pyrene) in 20 surface sediment samples from Outer Songkhla Lake and 70 samples from offshore Ao Tap-lamu, Pangnga were carried out. Sediment samples were Soxhlet extracted using dichloromethane as a solvent. Concentrations of individual PAHs were performed by a Gas-Chromatograph-Mass Spectrometry. Total concentration of PAHs ( $\sum$ PAHs) in Outer Songkhla Lake sediments ranged from 12.6 to 150.1 ng/g dry weight, with an average of  $36.6 \pm 31.6$  ng/g dry weight. Whereas,  $\sum$ PAHs in sediments from offshore Ao Tap-lamu ranged from 12.6 to 272.0 ng/g dry weight, with an average of  $64.5 \pm 44.3$  ng/g dry weight. It was found that  $\sum$ PAHs in sediments collected from offshore Laem Pakarang show elevated values which coincident with an area as preliminary report that might be the accumulated area of terrestrial materials carried by 2004 tsunami backwash. The results from correlation plot among An/An+Phe, Fluo/(Fluo+Pyr), B[a]A/B[a]A+Chry), Ind/(Ind+B[g,h,i]P), Phe/An, Fluo/Pyr and B[a]A/Chry suggested that 80% of PAHs in Outer Songkhla Lake sediments and 81.4% of PAHs in offshore Ao Tap-lamu sediments have originated from pyrogenic source.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ศิวะพงษ์เพ็ญจันทร์ และ ผศ.ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำการวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. สมเกียรติ ขอกเกียรติวงศ์ ผศ.ดร. ยุพดี ชัยสุขสันต์ และ รศ.นสพ.ดร. บรรจง วิทยวิรัชศักดิ์ ที่ให้คำแนะนำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ประภาพร แสงกาญจนวนิช ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการนำเสนอผลงานในที่ประชุมทางวิชาการ และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง GC/MS ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ โครงการ “การเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนทะเลร่องรอยการเกิดสึนามิในอดีตจากตะกอนชายฝั่งทะเลอันดามัน” โดยภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างตะกอนดินจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา และโครงการ “ศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางสมุทรศาสตร์ อุทกวิทยา และพลวัตของสารอาหารในทะเลสาบสงขลา” โดยคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลา

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยชีวธรณีเคมีและการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย เพื่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณศรีธยา ฤทธิ์ช่วยรอด คุณคนัย ทิพย์มณี คุณยุทธนา บัวแก้ว คุณจิตรลดา มูประสิทธิ์ คุณจิณธรรม หารเทา คุณสุภาพร แก้วบุบผา และคุณธัญชนก จันทร์คง ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณ คุณชนิษฐา กูศรีสกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวดิละมัน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนมาตลอดการศึกษา

วรนุช ดิละมัน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญรูป	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 พื้นที่ในการศึกษา	2
1.2.1 กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	2
1.2.2 ทะเลอันดามัน	4
1.3 สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	7
1.3.1 สมบัติทางกายภาพเคมี (Physico-chemical) ของ PAHs	11
1.3.2 แหล่งที่มาของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	12
1.3.3 การกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	13
1.3.4 ผลกระทบของสาร PAHs ต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม	14
1.3.5 การปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต และในตะกอนดิน	15
1.4 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อมีการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอน	19
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	19
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	20
2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	20
2.2 การเก็บตัวอย่าง	
2.2.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างในทะเลสาบสงขลาตอนนอก	20
2.2.2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	22

## สารบัญญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 (ต่อ)	
2.2 การเก็บตัวอย่าง (ต่อ)	
2.2.3 วิธีเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา	24
2.3 การล้างและเตรียมเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ	24
2.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน	24
2.4.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน	24
2.4.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน	24
2.4.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs	25
2.4.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS- Ion-Trap	28
2.5 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	28
2.6 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard	28
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	29
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	30
3.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน	30
3.2 ตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา	31
3.3 ตะกอนดินผิวหน้าจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	33
3.4 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่	39
3.5 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs ในทะเลสาบสงขลาตอนนอก	44
3.6 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs ในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	50
3.7 แหล่งกำเนิดสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา	56
3.7.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก	57
3.7.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	60
3.7.3 ลักษณะของแหล่งกำเนิดสาร PAHs	66

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
4.1 สรุปผลงานวิจัย	70
4.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารโพลีไซคลิก - อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	84
ภาคผนวก ข ค่าอัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน	87
ประวัติผู้เขียน	90



## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 1-1	สาร PAHs 16 ชนิด ในบัญชีรายชื่อสารพิษอันตราย ที่กำหนดโดย U.S. EPA	9
ตาราง 1-2	สมบัติทางกายภาพเคมีของสารกลุ่มโพลีไซคลิก- อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon)	11
ตาราง 1-3	แหล่งกำเนิดหลักแต่ละประเภทของสาร PAHs	13
ตาราง 1-4	ปริมาณสาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตจากแหล่งต่างๆ	16
ตาราง 1-5	ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนแต่ละพื้นที่ต่างๆ	17
ตาราง 2-1	พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 (ตามระบบพิกัดกริดแบบ UTM)	21
ตาราง 2-2	พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ระหว่างวันที่ 1-8 ธันวาคม พ.ศ. 2551 (ตามระบบพิกัดกริดแบบ UTM)	23
ตาราง 2-3	สถานะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion-Trap (Varian Saturn 2200) ในการวิเคราะห์ หาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs	28
ตาราง 3-1	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b	30
ตาราง 3-2	ปริมาณสาร PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) แต่ละชนิด และปริมาณ ผลรวม PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) ในตะกอนดิน จากทะเลสาบ สงขลาตอนนอก	32
ตาราง 3-3	เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ $\Sigma$ PAHs ในตะกอนผิวหน้าจาก ทะเลสาบสงขลาตอนนอก กับการศึกษาในหลายประเทศ	33
ตาราง 3-4	ปริมาณสาร PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) แต่ละชนิด และปริมาณผลรวม PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) ในตะกอนดิน 70 สถานี จากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	35
ตาราง 3-5	ค่าความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs ในตะกอนผิวหน้าจาก อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เปรียบเทียบกับการศึกษาในหลายประเทศ	38
ตาราง 3-6	อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตาราง 3-7	อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก	60
ตาราง 3-8	อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	64
ตาราง ข-1	ค่าอัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก 20 สถานี	87
ตาราง ข-2	ค่าอัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา 70 สถานี	88

## สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1-1	การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ. 2545	5
รูปที่ 1-2	แผนที่แสดงที่ตั้งทะเลอันดามัน	6
รูปที่ 1-3	แหล่งกำเนิดสาร PAHs การแพร่กระจาย และการปนเปื้อนของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	14
รูปที่ 2-1	ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก เมื่อวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ภายใต้โครงการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางสมุทรศาสตร์ อุทกวิทยา และพลวัตของสารอาหารในทะเลสาบสงขลา	21
รูปที่ 2-2	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงาภายใต้การเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนทะเลร่องรอยการเกิดสีน้ำมึนในอดีตจากตะกอนชายฝั่งทะเลอันดามัน	22
รูปที่ 2-3	(ก) ชุดสกัดแบบ Soxhlet และ (ข) เครื่อง Rotary evaporators	25
รูปที่ 2-4	(ก) การเป่าเบาๆด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อลดมาตรฐานของสารละลาย (ข) การแยกส่วน (fractionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล (silica gel) และ(ค) เครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion-Trap	26
รูปที่ 2-5	ผังสรุปวิธีการดำเนินการศึกษาในงานวิจัย	27
รูปที่ 3-1	ระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า จากสถานีต่างๆในทะเลสาบสงขลาตอนนอก เรียงลำดับตามความเข้มข้น	31
รูปที่ 3-2	ระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า จากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เรียงลำดับจากสถานีที่พบความเข้มข้นสูงสุดถึงต่ำสุด	34
รูปที่ 3-3	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของระดับความเข้มข้น PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน จากทะเลสาบสงขลาตอนนอก	39
รูปที่ 3-4	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของระดับความเข้มข้น PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน จากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	40

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-5	41
แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา และจากหลายพื้นที่ที่ทำการศึกษา	
รูปที่ 3-6	45
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs รวม ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก	
รูปที่ 3-7	46
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก	
รูปที่ 3-8	51
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs รวม ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	
รูปที่ 3-9	52
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	
รูปที่ 3-10	59
ไอโซเมอร์อัตราส่วนของ (ก) An/An+Phe และ Fluo/Fluo+Pyr และ (ข) B[a]A/B[a]A+Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P ในตะกอนดินจากสถานีต่างๆในทะเลสาบสงขลาตอนนอก	
รูปที่ 3-11	62
ไอโซเมอร์อัตราส่วนของ (ก) An/An+Phe และ Fluo/Fluo+Pyr และ (ข) B[a] A/B[a]A+ Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P ในตะกอนดินจากสถานีต่างๆในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	
รูปที่ 3-12	66
รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ BaA/BaP ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic บริเวณสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอก	
รูปที่ 3-13	67
รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]A+Chry (ข) สัดส่วน Fluo/(Fluo+Pyr), B[a]A/B[a]A+Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P (ค) สัดส่วนระหว่าง B[a]A/B[a]A+Chry , Ind/Ind+B[g,h,i]P และ Phe/An จากสถานีเก็บตัวอย่างในทะเลสาบสงขลาตอนนอก	

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-14	68
รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic บริเวณสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	
รูปที่ 3-15	69
รูป 3 มิติ (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]A+Chry (ข) สัดส่วน Fluo/(Fluo+Pyr), B[a]A/B[a]A+Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P (ค) สัดส่วนระหว่าง B[a]A/B[a]A+Chry, Ind/Ind+B[g,h,i]P และ Phe/An จากสถานีเก็บตัวอย่างนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา	
รูปที่ ก-1	84
โครมาโทแกรมของตัวอย่างสารมาตรฐาน	
รูปที่ ก-2	85
โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ก) สถานีที่ 66D ข) สถานีที่ 52D และ โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ค) สถานี S-09 ง) สถานีที่ S-18	
รูปที่ ก-3	86
โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน (SRM) ก) SRM2 ข) SRM6 ค) SRM5 ง) SRM8	

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำสั้นเรื่อง

กลุ่มสารประกอบประเภทโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon หรือ PAHs) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) พบกระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ PAHs เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (benzene ring) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป (McGroddy and Farrington, 1995; Blumer, 1976) PAHs เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง เป็นสารก่อมะเร็งและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Jacob, 1996; Qiao *et al.*, 1999; Sverdrup *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่า สัตว์ทะเลจากพื้นที่ใกล้เคียงกับแหล่งที่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน มีอัตราการเกิดโรคมะเร็งเพิ่มขึ้น (Colombo *et al.*, 2005)

แหล่งกำเนิด PAHs ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม (Witt, 1995) ไฟไหม้ป่า (Olivella *et al.*, 2006) การเผาไหม้สารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ การปล่อยควันเสีย และการปนเปื้อนจากน้ำมัน (Bomboi *et al.*, 1990; Qiao *et al.*, 1999; Gocht *et al.*, 2001) เนื่องจาก PAHs ไม่ชอบน้ำ ดังนั้น เมื่อนุภาคของ PAHs เข้าสู่แหล่งน้ำจะจับตัวและเกาะติดอยู่กับอนุภาคแขวนลอย ซึ่งบางส่วนของอนุภาคแขวนลอยจะจับตัวกันและตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำ และเนื่องจาก PAHs ละลายน้ำได้น้อยมาก และสลายตัวช้า จึงคงสภาพอยู่ในตะกอนดิน (sediment) ใต้น้ำ เป็นสาเหตุให้พบ PAHs สะสมอยู่ในตะกอนดินที่มีอายุน้อย โดยเฉพาะในตะกอนดินที่มีลักษณะเป็นเลนละเอียด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก (Breedveld and Karlsen, 2000)

เมื่อ PAHs ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อม จะถูกถ่ายทอดเข้าและสะสมผ่านห่วงโซ่อาหารเมื่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์ ได้รับ PAHs ในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของฮอร์โมนชนิดต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ต่อระบบการทำงานในร่างกาย เช่น ระบบการเจริญเติบโต ระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น ท้ายที่สุดก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ต่างๆ อันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (Hites *et al.*, 1977; Long *et al.*, 1995; LaRocca *et al.*, 1996)

ในประเทศไทยพบว่า PAHs ที่ปนเปื้อนในตะกอนดินอ่าวไทย แหล่งกำเนิดส่วนหนึ่งมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิน (land-based source) และส่วนหนึ่งมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในทะเล (sea-based source) ได้แก่ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเรือ เป็นต้น (Boonyatumanond, 2006)

ผลการศึกษาการสะสมของสารปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามความลึกของชั้นดินบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า PAHs ทั้งสองบริเวณ อยู่ในช่วง 2.2 – 4.5 มกค./ก. นน.แห้ง (วรัญญา วิพุทผล, 2533) ขณะที่พื้นที่ประกอบอุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า อำเภอมายาตาศ พุด จังหวัดระยอง พบ PAHs อยู่ในช่วง 0.06 – 0.87 (เฉลี่ย 0.33) และ 0.27 – 1.87 (เฉลี่ย 0.69) มกค./ก. นน.แห้ง ในเดือนตุลาคมและมิถุนายน พ.ศ 2533 ตามลำดับ (พรศรี สุทธนารักษ์, 2534) Boonyatumanond *et al.* (2006) พบว่าค่าเฉลี่ย PAHs ในตะกอนดินจากแม่น้ำ ปากแม่น้ำ และชายฝั่งของประเทศไทยอยู่ที่  $0.263 \pm 0.174$ ,  $0.179 \pm 0.222$  และ  $0.050 \pm 0.056$  มกค./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ

พื้นที่รอบทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา นอกจากจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ประมง ขนส่ง และแหล่งที่อยู่อาศัย ยังมีการพัฒนาไปเป็นพื้นที่สำหรับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ซึ่งล้วนแต่มีความจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงและมีการระบายของเสียลงสู่แหล่งน้ำ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พื้นที่ทั้งสองมีโอกาสปนเปื้อน PAHs ได้มากขึ้น

ในประเทศไทยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ PAHs ยังมีน้อย และปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาการปนเปื้อนและการกระจายตัวของ PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอก และนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาการปนเปื้อนและรูปแบบการกระจายตัวของ PAHs เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน (baseline data) และวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณของ PAHs แต่ละตัวที่ปนเปื้อน เพื่อเป็นแนวทางบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ที่สะสมในตะกอนดินในพื้นที่นั้น

## 1.2 พื้นที่ในการศึกษา

### 1.2.1 กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่รวม 8,729 ตร.กม. เป็นพื้นที่แผ่นดิน 7,687 ตร.กม. และเป็นพื้นที่ทะเลสาบ 1,042 ตร.กม. ร่องรับน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยรอบทะเลสาบ ทะเลสาบสงขลา มีลักษณะกึ่งปิด แบ่งเป็นตอนๆ ลักษณะเหมือนกระทะทองแบน ส่วนที่ลึกที่สุด (ไม่นับร่องน้ำ) ลึกประมาณ 2.5 ม. อยู่บริเวณตอนกลางของทะเลสาบสงขลาตอนบน

ทะเลสาบสงขลาตอนล่างมีพื้นที่ 182 ตร.กม. รับน้ำทั้งหมดจากลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ก่อนไหลออกสู่อ่าวไทย โดยรับจากทะเลสาบสงขลาตอนบนและตอนกลางผ่านทางคลองหลวง บริเวณบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอสิงหนคร และรับน้ำโดยตรงจากคลองหลายสายที่ระบายน้ำลงสู่ทะเลสาบตอนล่าง ได้แก่ คลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางโนน และคลองพะวง เป็นต้น

ทะเลสาบสงขลาตอนล่างมีความลึกเฉลี่ย 1.5 ม. ยกเว้นช่องแคบที่ติดต่อกับทะเลอ่าวไทย ซึ่งเป็นช่องเดินเรือมีความลึกประมาณ 12 – 14 ม. (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2548) ทะเลสาบสงขลาตอนล่างเป็นเขตที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง มีลักษณะเป็น “ลากูน” (lagoon) จึงทำให้ทะเลสาบส่วนนี้อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรสัตว์น้ำ และมีกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (วินัย เลียงเจริญสิทธิ์ และเพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2548)

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ฝนตกเกือบตลอดทั้งปี และมีเพียง 2 ฤดูกาล คือ

1. ฤดูฝน ตั้งแต่พฤษภาคมถึงมกราคม แบ่งเป็นสองระยะ
  - ระยะแรกตั้งแต่พฤษภาคมถึงกันยายน เป็นช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ช่วงนี้มีฝนตกน้อย
  - ระยะที่ 2 ตั้งแต่ตุลาคมถึงมกราคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทย ทำให้ฝนตกชุก ปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน
2. ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กุมภาพันธ์ถึงเมษายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมร้อนและชื้น ทำให้อากาศร้อน เดือนเมษายนเป็นเดือนที่อากาศร้อนที่สุด

ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาระหว่างปี พ.ศ. 2535 – 2545 มีค่าพิสัยระหว่าง 1,549 – 2,399 มม. ต่อปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,043 มม. ต่อปี และมีค่ามัธยฐานหรือปริมาณฝนรายปีส่วนใหญ่อยู่ที่ 2,008 มม. ต่อปี (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 2548)

ดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีค่า pH ประมาณ 4 – 5 มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ บริเวณชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่จะเป็นทราย ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของคลื่นลมที่พัดเอาทรายขึ้นมาทับถมใช้เป็นที่อยู่อาศัย และการปลูกมะพร้าว พื้นที่คาบสมุทรสทิงพระและรอบทะเลสาบสงขลาเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำทะเลหรือตะกอนทะเลสาบ เนื้อดินจะเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่จึงเป็นพื้นที่ทำนา บริเวณที่อยู่สูงขึ้นไปจะเป็นดินที่เกิดจากการพัดพาทับถมของตะกอนทั้งเก่าและใหม่ เนื้อดินจะเป็นดินร่วน ดินร่วนปนเหนียวถึงดินเหนียว ส่วนใหญ่ปลูกยางพาราและสวนผลไม้ ถัดขึ้นไปตามที่ลาดเชิงเขา ลักษณะดินจะขึ้นอยู่กับชนิดของหินที่รองรับอยู่ด้านล่าง พื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่ใช้ปลูกยางพารา สามารถปลูกผลไม้ได้ในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ

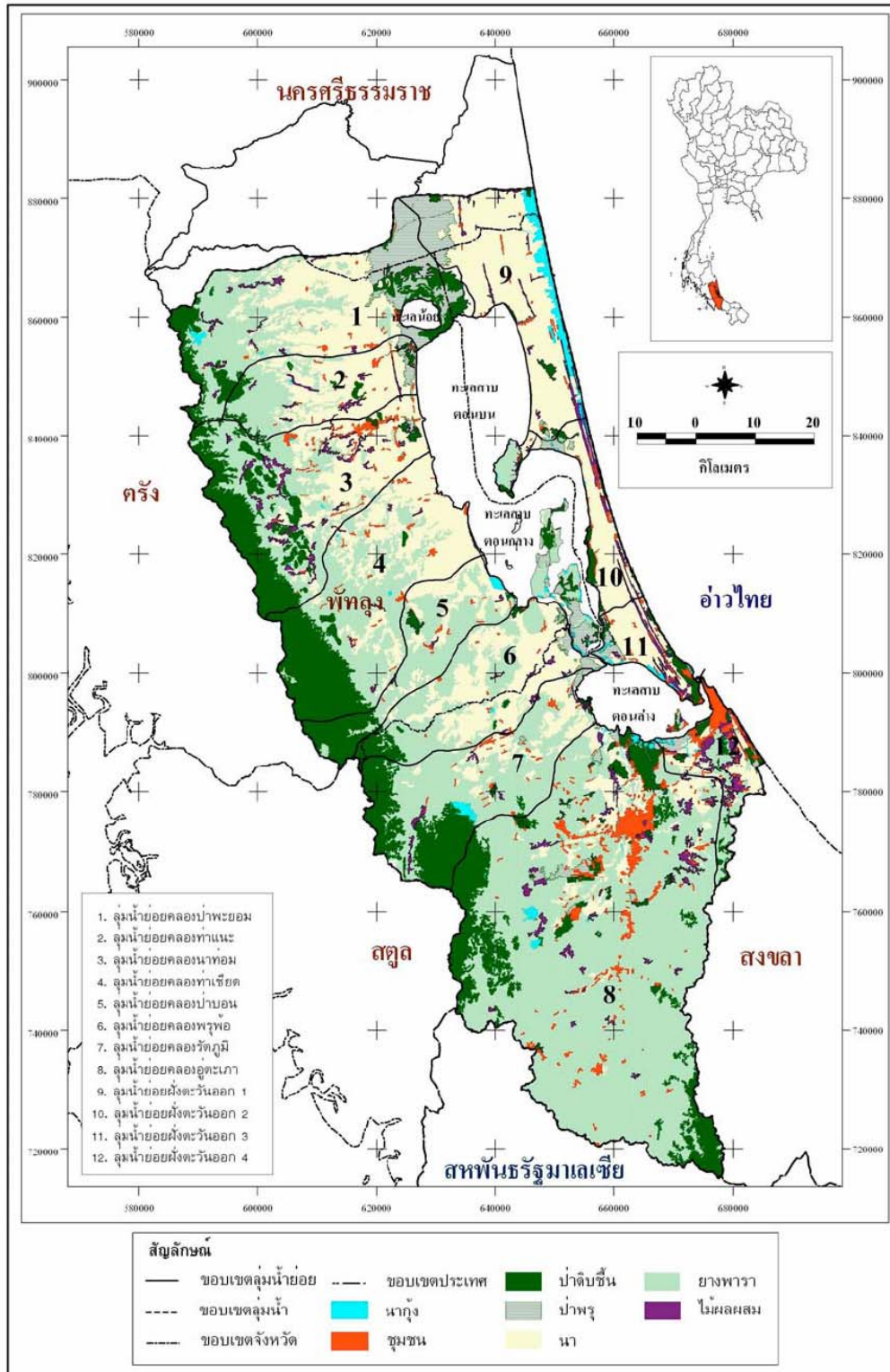


การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (7,687 ตร.กม.) มีอยู่ 5 กลุ่มหลัก ในปี พ.ศ. 2545 พบว่า เป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัยร้อยละ 2.63 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เดิมในปี พ.ศ. 2536 และ 2539 ร้อยละ 66.63 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ส่วนใหญ่เป็นสวนยางพาราและนาข้าว ร้อยละ 13.7 เป็นพื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 12.59 เป็นแหล่งน้ำ และที่เหลือร้อยละ 4.63 เป็นพื้นที่ประเภทอื่น ดังรูปที่ 1-1 (วิเชียร จากุพจน์ และคณะ, 2548)

### 1.2.2 ทะเลอันดามัน

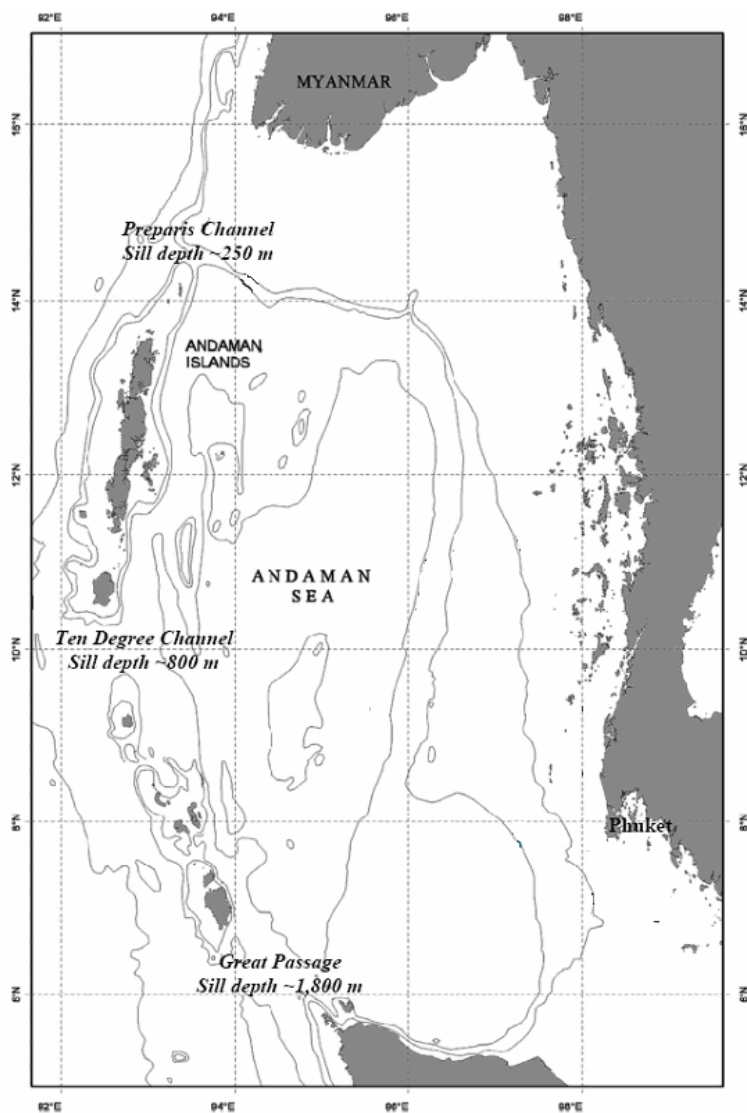
ทะเลอันดามัน (Andaman Sea) เป็นส่วนหนึ่งของอ่าวเบงกอล (Bay of Bengal) ตั้งอยู่ทางตะวันออกเฉียงของอ่าว เป็นทะเลกึ่งปิด (semi-enclosed sea) ตอนเหนือมีอาณาเขตติดต่อกับพม่า ตอนใต้ติดกับไทยและมาเลเซีย ทางทิศตะวันออกมีแนวหมู่เกาะอันดามัน-นิโคบาร์ (Andaman-Nicobar Islands) แบ่งกันระหว่างทะเลอันดามันกับอ่าวเบงกอล มีช่องแคบ Preparis North Channel, Ten Degree Channel และ Great Passage เชื่อมต่อระหว่างทะเลอันดามันกับอ่าวเบงกอล (รูปที่ 1-2) ทะเลอันดามันมีพื้นที่ประมาณ 6,105 ตร.กม. ลึกเฉลี่ย 1,100 ม. บริเวณที่ลึกที่สุดมีความลึก 4,419 ม. แม่น้ำใหญ่ๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลอันดามัน ได้แก่ แม่น้ำอิรวดี (Irrawaddy) และแม่น้ำสาละวิน (Salween) (Kamesh Raju *et al.*, 2004)

ทะเลอันดามัน เป็นแอ่งที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก (tectonic basin) ต่อเนื่องมาจากดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำอิรวดีในประเทศพม่า แผ่กว้างออกไปประมาณ 1,200 กม. ลงไปทางใต้จนถึงทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราและช่องแคบมะละกา ความกว้างจากฝั่งตะวันตกของไทยไปจนถึงหมู่เกาะอันดามัน-นิโคบาร์ ประมาณ 650 กม. หมู่เกาะเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของสันใต้น้ำที่เป็นแนวแบ่งเขตแอ่งอันดามัน ออกจากอ่าวเบงกอล ลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญในทะเลอันดามัน คือ ลาดทวีป (continental slope) ที่อยู่นอกชายฝั่งแหลมไทย-มาเลเซีย ลาดทวีปนี้เอียงลาดไปทางทิศตะวันตกจนกระทั่งไปต่อกับตะพักกลุ่มน้ำ (alluvial terrace) ที่ระดับความลึกประมาณ 2,435 ม. ตะพักกลุ่มน้ำนี้เอียงลาดไปทางทิศตะวันตกเช่นกัน โดยที่ความลาดเอียงจะค่อยๆ ลดลงไปจนกระทั่งถึงระดับความลึกประมาณ 2,670 ม. ต่อจากนั้นจึงเป็นแอ่งที่ชันในระดับความลึกประมาณ 3,035 ม. ซึ่งควรจะเป็นท้องแอ่งของทะเลอันดามันกลาง (Central Andaman Trough) ทะเลอันดามันมีพื้นที่ประมาณ 797,700 ตร.กม. มีความลึกเฉลี่ย 870 ม. จุดที่ลึกที่สุดมีระดับความลึก 3,777 ม. (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



ที่มา: วิเชียร จากุพจน์ และคณะ (2548)

รูปที่ 1-1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ในปี พ.ศ. 2545



รูปที่ 1-2 แผนที่แสดงทะเลอันดามัน

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่นอกชายฝั่งอ่าวทับละมู อำเภอยายเมือง จังหวัดพังงา แต่เดิมเป็นกิ่งอำเภอ ขึ้นอยู่กับอำเภอยุงมะพร้าว เมื่อชุมชนยายเมืองประชาชนมาทำเหมืองแร่มากขึ้นและเจริญรุ่งเรืองขึ้นอย่างรวดเร็ว ทางราชการจึงยกฐานะกิ่งอำเภอยายเมืองขึ้นเป็นอำเภอยายเมือง จังหวัดพังงา เมื่อปี พ.ศ. 2453 และลดฐานะอำเภอยุงมะพร้าวลงเป็นกิ่งอำเภอยุงมะพร้าว และเป็นตำบลยุงมะพร้าว โดยขึ้นอยู่กับอำเภอยายเมือง

อำเภอท้ายเหมือง อยู่ติดชายฝั่งทะเลอันดามัน ห่างจากตัวจังหวัด 57 กม. มีเนื้อที่ทั้งหมด 382,370 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 14.66 ของเนื้อที่จังหวัดพังงา มีแนวหาดทรายชายฝั่งทะเลยาว 31 กม. สภาพดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทราย พื้นที่ตอนล่างทางทิศตะวันตกเป็นพื้นที่ราบ พื้นที่ตอนกลางและด้านทิศตะวันออก เป็นเชิงเขาสลับซับซ้อน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม รองลงมา ได้แก่ อาชีพประมง และค้าขาย ตามลำดับ ร้อยละ 10 ของพื้นที่เกษตรกรรม มีระบบการชลประทาน มีคร่าวเรือที่ทำการประมง จำนวน 569 คร่าวเรือ และการเลี้ยงปศุสัตว์ที่สำคัญ ได้แก่ ไก่เนื้อ กระจับปี่ โค สุกร แพะ พื้นที่การเกษตรทั้งอำเภอ 382,365 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 43 ของพื้นที่เกษตรทั้งจังหวัด ซึ่งสูงเป็นอันดับ 1 ของจังหวัด แบ่งเป็น พื้นที่นา 2,544 ไร่ พื้นที่สวน 208,654 ไร่ พื้นที่อื่นๆ 171,167 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.67, 54.57 และ 44.76 ตามลำดับ พืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ยางพารา (108,364 ไร่) ไม้ผล ( 6,653 ไร่) ปาล์ม น้ำมัน (6,472 ไร่) ([www.phangnga.go.th](http://www.phangnga.go.th))

อุตสาหกรรมที่สำคัญในอำเภอท้ายเหมือง ได้แก่ โรงงานไม้อัด และโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ ในสมัยก่อนมีการทำเหมืองแร่กันมาก โดยใช้วิธีการทำเหมืองแบบเรือขุด<sup>1</sup> (dredging) และแบบเหมืองแร่สูบ<sup>2</sup> (suction boat) การทำเหมืองใน จังหวัดพังงา เริ่มตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2404 โดยชาวจีน จนถึงปี พ.ศ. 2506 สมัยจอมพลสฤษดิ์<sup>4</sup> เป็นนายกรัฐมนตรี มีการขยายตัวของกิจการอุตสาหกรรมเหมืองแร่ จนถึงปี พ.ศ. 2528 เมื่อราคาดีบุกในตลาดโลกตก การทำเหมืองแร่จึงซบเซาลงโดยลำดับ การทำเหมืองแร่ดีบุกใน จังหวัดพังงา ยังคงมีอยู่ การทำเหมืองแร่ในทะเล ส่วนใหญ่จะทำกันที่บ้านน้ำเค็ม และบ้านเขาปีหลาย อำเภอตะกั่วป่า ([www.phangnga.go.th](http://www.phangnga.go.th))

### 1.3 สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) พบในเขม่าควันไฟ (Kim *et al.*, 2003; Olivella *et al.*, 2006) ไอเสียของเครื่องยนต์ (Zwirner-Baier and Neumann, 1999) น้ำมันดิบ (Bomboi *et al.*, 1990) นอกจากนี้ยังสามารถพบได้จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ การไหม้เกรียม การปิ้ง การย่างของอาหาร อาหาร

<sup>1</sup> เป็นการทำเหมืองโดยใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ดัดตั้งบนเรือหรือทุ่น ใช้ได้ทั้งในน้ำและบนบก เป็นวิธีการที่ใช้เงินทุนสูงมาก ต้องเป็นลานแร่ขนาดใหญ่ที่เปิดเหมืองได้ไม่ต่ำกว่า 25 ปี จึงจะคุ้มทุน ในภาคใต้มีทำเพียงเฉพาะ จังหวัดพังงา และ จังหวัดภูเก็ต

<sup>2</sup> เหมาะสำหรับการทำเหมืองแร่ในทะเลใกล้ชายฝั่ง โดยติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ บนเรือหรือแพ ใช้เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่เป็นหลัก ทำที่ จังหวัดพังงา และ จังหวัดภูเก็ต ([www.phangnga.go.th](http://www.phangnga.go.th))

ทอดกรอบ อาหารรมควัน การสูบบุหรี่ (Kamiya *et al.*, 2005; Zanieri *et al.*, 2007) และเตาเผาเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม (Qiao *et al.*, 1999; Gocht *et al.*, 2001)

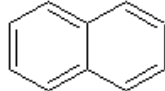
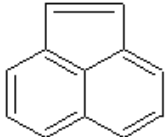
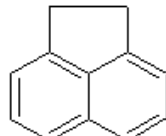
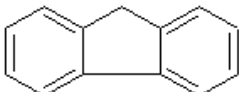
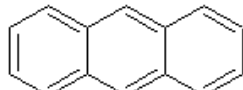
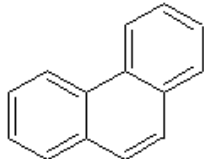
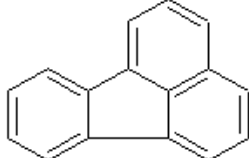
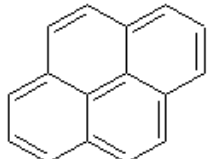
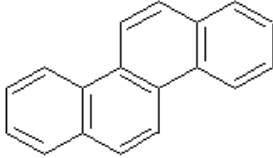
PAHs เป็นกลุ่มสารที่มีความเป็นพิษค่อนข้างรุนแรง ส่วนใหญ่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (premutagen) และโรคมะเร็งในสิ่งมีชีวิต (Grimmer, 1983; Pruell and Quinn, 1985; Varanasi *et al.*, 1985) สารกลุ่มนี้ก่อให้เกิดมะเร็งในคนได้ ถ้าได้รับจากการสัมผัสทางผิวหนังจะก่อให้เกิดมะเร็งที่ผิวหนัง หากได้รับสารโดยการสูดดมเข้าไปจะก่อให้เกิดมะเร็งที่ปอด (Okona-Mensah *et al.*, 2005) และเนื่องจากสาร PAHs เป็นพวกไม่มีขั้ว (nonpolar) จึงละลายได้น้อยในน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงสะสมในชั้นไขมันของร่างกายได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน ปกติสาร PAHs ในเนื้อเยื่อไขมันจะไม่ก่อให้เกิดพิษกับร่างกาย จนกว่าจะเข้าไปอยู่ในเซลล์ และสาร PAHs อาจสะสมได้ในชั้นเมมเบรนของเซลล์ (cell membrane) ซึ่งเป็นฟอสโฟไลปิด (phospholipid) (White, 1986; Long *et al.*, 1995)

องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency หรือ US-EPA) กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด (ตาราง ที่ 1-1) ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Anthracene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benzo[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Dibenzo[b,c]fluoranthene, Benzo[g,h,i]perylene และ Dibenzo[a,h]anthracene เป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้น (Grariviat, 1999)

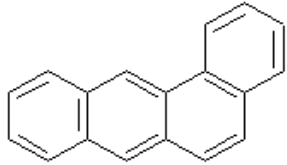
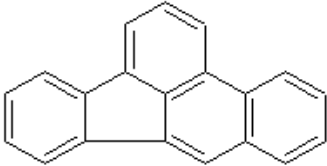
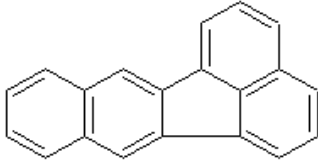
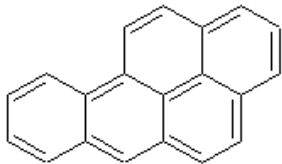
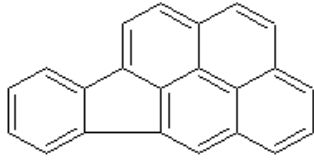
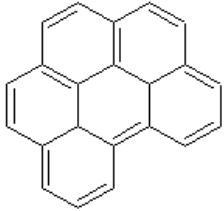
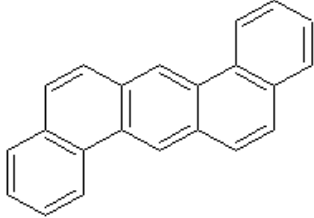
สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีจุดเดือดสูง และความดันไอต่ำ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเกิดขึ้นได้ยากกว่าตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสะสมตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมรวมถึงตะกอนดินได้นาน

ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้วิเคราะห์สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สะสมอยู่กับตะกอนดิน 15 ชนิด ได้แก่ Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 11H-Benzo[a]Fluoranthene, 11H-Benzo[b]fluoranthene, Benzo[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Chrysene, Benzo[e]pyrene, Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenzo[a,h]anthracene และ Benzo[g,h,i]perylene

ตารางที่ 1-1 สาร PAHs 16 ชนิด ในบัญชีรายชื่อสารพิษอันตรายที่กำหนดโดย U.S. EPA

PAHs	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	โครงสร้างทางเคมี
Naphthalene	Nap	128	
Acenaphthylene	Acy	152	
Acenaphthene	Ace	154	
Fluorene	Fl	166	
Anthracene	An	178	
Phenanthrene	Phe	178	
Fluoranthene	Fluo	202	
Pyrene	Pyr	202	
Chrysene	Chry	228	

ตารางที่ 1-1(ต่อ)

PAHs	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	โครงสร้าง
Benzo[a]anthracene	B[a]A	228	
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	
Benzo[a] pyrene	B[a]P	252	
Dibenzo[b,c]fluoranthene	D[b,c]F	276	
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	

### 1.3.1 สมบัติทางกายภาพเคมีของ PAHs

สาร PAHs เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม (Blumer,1976; Netto *et al.*, 2000) มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง PAHs ที่เป็นของแข็งจะไม่ละลายน้ำ ส่วนสารประกอบบริสุทธิ์และเป็นสารประกอบเดี่ยวจะกลายเป็นไอได้ที่ความดัน  $10^{-4}$  torr (3 วง) –  $10^{-12}$  torr (7 วง) สารประกอบ PAHs ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 – 400 นาโนเมตร ตารางที่ 1-2 แสดงสมบัติทางกายภาพเคมี (physico-chemical properties ) บางประการของสารประกอบ PAHs

ตารางที่ 1-2 สมบัติทางกายภาพเคมีของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons)

PAHs	จำนวนวง แหวนเบนซีน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความสามารถ ในการละลาย (mg/l)	log K <sub>ou</sub>	ความดันไอ (torr at 20°C)
Naphthalene	2	80	218	30	3.37	$4.9 \times 10^{-2}$
Acenaphthylene	3	92	265	3.93	4.07	$2.9 \times 10^{-2}$
Acenaphthene	3	96	279	3.47	4.33	$2.0 \times 10^{-2}$
Fluorene	3	116	293	1.98	4.18	$1.3 \times 10^{-2}$
Phenanthrene	3	101	340	1.29	4.46	$6.9 \times 10^{-4}$
Anthracene	3	216	340	0.07	4.45	$1.9 \times 10^{-7}$
Fluoranthene	4	111	-	0.26	5.33	$6.0 \times 10^{-6}$
Pyrene	4	149	360	0.14	5.32	$6.9 \times 10^{-7}$
Benzo(a)anthracene	4	158	400	0.014	5.61	$5.0 \times 10^{-9}$
Chrysene	4	255	-	0.002	5.61	$6.3 \times 10^{-7}$
Benzo(b)fluoranthene	5	167	-	$1.2 \times 10^{-3}$	6.57	$5.0 \times 10^{-7}$
Benzo(k)fluoranthene	5	217	480	$5.5 \times 10^{-4}$	6.84	$5.0 \times 10^{-7}$
Benzo(a)pyrene	5	179	496	$3.8 \times 10^{-3}$	6.04	$5.0 \times 10^{-7}$
Benzo(a,h)anthracene	5	262	-	$5.0 \times 10^{-4}$	5.97	$1.0 \times 10^{-10}$
Benzo(g,h,i)perylene	6	222	-	$2.6 \times 10^{-4}$	7.23	$1.0 \times 10^{-10}$
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6	163	-	0.062	7.66	$1.0 \times 10^{-10}$

ที่มา: Mabey *et al.*, (1982); ATSDR (1996)



### 1.3.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

สาร PAHs มีแหล่งกำเนิดหลัก 2 แหล่งใหญ่ คือ จากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ (Simpson *et al.*, 1996; Zakaria *et al.*, 2002; Doong and Lin, 2004) แต่ละแหล่งกำเนิดก่อให้เกิด PAHs ชนิดเด่นที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1-3)

1) จากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า (Kim *et al.*, 2003) การสังเคราะห์ด้วยแบคทีเรียบางชนิด หรือจากการย่อยสลาย triterpenoids หรือ steroids ในตะกอนดินที่ทับถมกัน สารตั้งต้นของ triterpenoids คือ กลุ่ม aliphatic isoprenoids ตัวที่เรียกว่า squalene ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นแหล่งกำเนิดน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ (Egliton *et al.*, 1967) สาร PAHs ที่พบว่ามีแหล่งกำเนิดจาก triterpenoids ได้แก่ perylene ซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก triterpenoids ถึงร้อยละ 30-70 นอกจากนี้ในพืชชั้นสูงที่มี triterpenoids ก็สามารรถที่จะสังเคราะห์สาร PAHs โดยมีสารเริ่มต้นเป็น  $\alpha$ -amyrin หรือ  $\beta$ -amyrin ซึ่งสารทั้งสองตัวสามารรถที่จะใช้เป็นตัวตั้งต้นของแหล่งที่มาของสารที่กำเนิดมาจากธรรมชาติ (Budzinski *et al.*, 1997)

2) จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง การปล่อยควันเสียของยานพาหนะ การเผาขยะ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ (Qiao *et al.*, 1999; Gocht *et al.*, 2001) ควันบุหรี่ (Nadal *et al.*, 2004) การเผาหญ้า (Dhammapalaa *et al.*, 2007) เป็นต้น PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ ได้แก่ Fluoranthene, Benzo[a]pyrene และ Benzo[g,h,i]perylene นอกจากนี้การขนถ่ายน้ำมัน การรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน ยังเป็นสาเหตุทำให้มีสาร PAHs ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำบริเวณนั้นมากกว่าปกติ (Simpson *et al.*, 1996) และอาจก่อให้เกิดพิษฉับพลันในสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นได้ง่าย PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามกระบวนการเกิดดังนี้

- ก) สาร PAHs ที่เกิดจากปิโตรเลียม (petrogenic PAHs) คือ สาร PAHs ที่มีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Howsam and Jones, 1998) โมเลกุลของสาร PAHs กลุ่มนี้ มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 2-4 วง
- ข) สาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน และจากไฟไหม้ป่า (Page *et al.*, 1999; Yunker *et al.*, 2002) โมเลกุลที่พบมักเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs โดยมีจำนวนวงแหวนเบนซีน 3-5 วง

ตารางที่ 1-3 แหล่งกำเนิดหลักแต่ละประเภทของสาร PAHs

แหล่งกำเนิด	สาร PAHs ที่พบ
กระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน	Phe, Fluo และ Pyr
กระบวนการเผาไหม้ถ่านโค้ก	An, Phe และ B[a]P
เตาเผาขยะ	Pyr, Phe และ Fluo
กระบวนการเผาไหม้	B[a]P และ Fluo
เชื้อเพลิงจากน้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรม	Fluo, Pyr และ Chry
การใช้น้ำมันเบนซินในยานพาหนะ	Fluo, Pyr, B[b]F และ B[k]F
การใช้น้ำมันดีเซลในยานพาหนะ	Fluo, Pyr, B[b]F และ B[k]F

ที่มา : <http://cpcbenvnis.nic>

### 1.3.3 การกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

สาร PAHs ในบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคและแพร่กระจายตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Simcik *et al.*, 1999) อนุภาคในชั้นบรรยากาศเกิดจากการรวมตัวกันของของแข็งและของเหลว เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย พลังงานแสงสามารถกระตุ้นให้ PAHs เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและสลายตัวได้ แต่การเปลี่ยนแปลงนั้นยังขึ้นอยู่กับประเภทของอนุภาคที่สาร PAHs ไปเกาะติดอยู่ จากการตรวจวัดสาร PAHs ในบรรยากาศในเขตชนบท ในระดับปกติจะพบ PAHs มีค่าต่ำกว่า 1 นนก./ลบ.ม. (WHO, 1987; WHO, 2000)

PAHs เป็นสารที่พบกระจายตัวอยู่ทั่วไปในดิน และอาจถูกขนถ่ายไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิด อาทิ บริเวณที่อยู่อาศัย และเขตโรงงานอุตสาหกรรม (Mai *et al.*, 2001) คาดว่าปริมาณของสาร PAHs ในดินส่วนใหญ่มาจากการปลดปล่อยควันเสียของโรงงานอุตสาหกรรม และไอเสียจากยานพาหนะ (รูปที่ 1-3) นอกจากนี้ยังพบ PAHs กระจายตัวอยู่ในตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (sewage sludge) จากครัวเรือน

สาร PAHs เข้าสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติพร้อมกับแพร่กระจายได้ทั่วไปในแหล่งน้ำ เนื่องจาก PAHs ที่เกาะติดกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศตกลงสู่พื้นล่างโดยแรงโน้มถ่วงของโลก หรือถูกชะลงมาสู่แหล่งน้ำโดยน้ำค้างหรือน้ำฝน นอกจากนี้ PAHs ยังเข้าสู่แหล่งน้ำได้โดยตรงจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ (Zakaria *et al.*, 2000) (รูปที่ 1-3) จากนั้น PAHs ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอย และท้ายที่สุดตกสะสมอยู่ในตะกอนดิน (sediment) (Gocht *et al.*, 2001) มักจะพบ PAHs ในตะกอนดินสูงกว่า PAHs ในน้ำผิวน้ำประมาณ 3-5 เท่า



รูปที่ 1-3 แหล่งกำเนิด PAHs การแพร่กระจาย และการปนเปื้อนของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

ในปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติจากการทับถมของซากอินทรีย์ภายใต้พื้นผิวโลกเป็นเวลาหลายล้านปี มีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และมักจะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญแหล่งหนึ่งของสาร PAHs ที่สะสมอยู่ในตะกอนดิน (Howsam and Jones, 1998)

#### 1.3.4 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

U.S. Department of Health and Human Services (DHHS) ระบุว่าสาร PAHs หลายตัวเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็งในสิ่งมีชีวิต (ATSDR, 1996) เช่น Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[a]pyrene, Benzo[b]fluoranthene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene เป็นต้น (Gravivat, 1999) จากการทดสอบกับสัตว์ทดลองพบว่า เมื่อสัตว์ได้รับสาร PAHs ผ่านทางการกิน การสัมผัสผิวหนัง และหายใจเอาอากาศที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนอยู่เข้าไปในร่างกายเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดเนื้องอกขึ้น สำหรับมนุษย์หากสูดดมหรือผิวหนังสัมผัสกับสาร PAHs เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Hoffman *et al.*, 1984; LaRocca *et al.*, 1996)

สาร PAHs เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ผ่านทางระบบทางเดินหายใจ โดยการหายใจเอาอากาศที่มีสาร PAHs ปนเปื้อน หรืออนุภาคฝุ่นที่มีสาร PAHs เจือปนเข้าไป หรือเข้าสู่ร่างกายผ่านการดื่มน้ำหรือกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของสาร PAHs เข้าไป (ATSDR, 1996) ภายใต้สภาวะปกติ สาร PAHs เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางผิวหนังได้ หากผิวหนังไปสัมผัสกับดินที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนในระดับสูง สาร PAHs ก็จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่ายและรวดเร็ว อัตราการเข้าสู่ร่างกายของ PAHs จะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของ oil mixture และจะเข้าสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน และมีการสะสมอยู่ในตับ ไต และไขมัน เป็นส่วนใหญ่ (Jacob, 1996)

เนื่องจากสาร PAHs แพร่กระจายอยู่ทั่วไป ดังนั้นโอกาสที่จะได้รับสาร PAHs จึงเกิดขึ้นได้ทั้งภายในและภายนอกบ้าน ในสถานที่ทำงาน จากไอเสียรถยนต์ ถนนลาดยางมะตอย ถ่านหิน ไฟป่า การเผาพืชพันธุ์การเกษตร และขยะอันตราย เป็นต้น ซึ่ง PAHs ที่ได้รับนั้นเป็นสารประกอบผสมรวมกันของสาร PAHs หลายชนิด (Kim *et al.*, 2003)

### 1.3.5 การปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต และในตะกอนดิน

สาร PAHs ที่พบปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตหลายพื้นที่ ดังตารางที่ 1-4 พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 56 - 4,877 นนก./ก. นน.แห้ง โดยพื้นที่ซึ่งพบสาร PAHs ปนเปื้อนในสัตว์ทะเลสูงมาก คือ อ่าว Victoria ในฮ่องกง พบสาร PAHs ในหอยแมลงภู่ในช่วง 600 - 22,859 นนก./ก. นน.แห้ง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นท่าเรือชั้นนำของโลก มีกิจกรรมการเดินเรือหนาแน่น การปนเปื้อนของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการขนส่งทางเรือ และอุบัติเหตุทางน้ำทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันปิโตรเลียมลงสู่ทะเล (Fang *et al.*, 2009)

ตารางที่ 1-5 แสดงปริมาณสาร PAHs เฉลี่ย ที่สะสมอยู่ในตะกอนดินจากพื้นที่ต่างๆ ในโลก พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในตะกอนดินจาก อยู่ในช่วง 120 - 128,074 นนก./ก. นน.แห้ง จากตารางพบว่าบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยของ PAHs สูงสุด คือ แม่น้ำ Haihe ประเทศจีน มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 128,074 นนก./ก. นน.แห้ง ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่ใหญ่เป็นอันดับ 3 ของจีน ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศ มีการเจริญเติบโตด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว สาเหตุการปนเปื้อนของสาร PAHs ส่วนใหญ่เกิดมาจากการใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน ภายในอุตสาหกรรม (Bin *et al.*, 2007)

ตารางที่ 1-4 ปริมาณสาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตจากแหล่งต่างๆ

ตัวอย่าง	พิสัย (นกก./ก. นน.แห่ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (นกก./ก. นน.แห่ง)	รายการอ้างอิง
Spider crabs	-	56	Wade <i>et al.</i> (1989)
หอยนางรม จากอ่าวบาราตาเรีย (Barataria) ประเทศสหรัฐ	-	1,900	
หอยแมลงภู่, ประเทศไอร์แลนด์	95–184	-	Guinan <i>et al.</i> (2001)
หอยแมลงภู่, ประเทศอินเดีย	190–1,133	556	Mohamad <i>et al.</i> (2002)
หอยแมลงภู่, ประเทศอินโดนีเซีย	58–191	117	
หอยแมลงภู่, ประเทศมาเลเซีย	11–451	162	
หอยแมลงภู่, ประเทศเวียดนาม	-	110	
หอยแมลงภู่, ประเทศฟิลิปปินส์	75–112	94	
หอยแมลงภู่, ประเทศญี่ปุ่น	42–1,269	339	
หอยแมลงภู่, ประเทศไทย	84–211	148	
หอยแมลงภู่ ( <i>Mytilus edulis</i> ) ชายฝั่ง Shanghai, ประเทศจีน	1,764–2,330	2,047	Fung <i>et al.</i> (2004)
หอยแมลงภู่ ( <i>Mytilus edulis</i> ) ชายฝั่ง Ninbo, ประเทศจีน	743–801	772	
หอยแมลงภู่ ( <i>Mytilus edulis</i> ) ชายฝั่ง Dalian, ประเทศจีน	317–332	323	
หอยแมลงภู่ ( <i>Perna viridis</i> ) อ่าว Daya, ประเทศจีน	546–637	616	Wei <i>et al.</i> (2006)
หอยแมลงภู่ ( <i>Perna viridis</i> ) ปากแม่น้ำ Pearl, ประเทศจีน	413–848	494	
หอยแมลงภู่ ( <i>Perna viridis</i> ) อ่าว Victoria ซ่งกง, จีน	600–22,859	4,877	Fang <i>et al.</i> (2009)

ตารางที่ 1-5 ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่ศึกษา	พิสัย (นกก./ก. นน.แห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (นกก./ก. นน.แห้ง)	รายการอ้างอิง
Casco Bar, USA	16 - 21,000	2,900	Kennicutt <i>et al.</i> (1994)
Baltic Sea	720 - 1,900	1,200	Witt <i>et al.</i> (1995)
Mouth of Danube River, Black Sea	200 - 1,250	-	Wakeham. (1996)
San Diego Bay, USA	80 - 20,000	3,000	Anderson <i>et al.</i> (1996)
Lazaret Bay in France	1,600 - 48,100	24,850	Benlahcen <i>et al.</i> (1997)
Kyeonggi Bay, Korea	9 - 1,400	120	Kim <i>et al.</i> (1999)
Patos Lagoon Estuary, Brazil	38 - 11,780	5,909	Medeiros <i>et al.</i> (2005)
Stagnone coastal lagoon, Marsala, Italy	72 - 18,381	9,227	Culotta <i>et al.</i> (2006)
Rovinj area, Northern Adriatic, Croatia	32 - 13,200	6,616	Bihari <i>et al.</i> (2006)
Yellow River, China	464 - 2,621	1,542.5	Xu <i>et al.</i> (2007)
Sfax, Tunisia, Mediterranean Sea	110 - 10,720	5,415	Zaghden <i>et al.</i> (2007)
Jubany Station (Antarctica) Islands	36 - 1,908	972	Curtosi <i>et al.</i> (2007)
Marine of Korea	9 - 185,000	92,504	Yim <i>et al.</i> (2007)
Haihe River, Tianjin, China	775 - 255,372	128,074	Bin <i>et al.</i> (2007)
ท่าเรือคลองเตย	2,200 - 4,500	3,350	วรัญญา วิรุพพผล. (2533)
มาบตาพุด จ.ระยอง			พรศรี สุทธนารักษ์. (2534)
เดือนตุลาคม	60 - 870	330	
เดือนมิถุนายน	270 - 1,870	690	
แม่น้ำท่าจีน	-	2,710	เกษินี สรรวานิช. (2534)
ปากแม่น้ำแม่น้ำท่าจีน	220 - 1520	870	จิราณีชัย ไชยบุรีวงศ์. (2544)
อ่าวศรีราชา จ.ชลบุรี	1,310 - 3,590	2,452	วารกรณ์ ศรีมูล. (2544)

สำหรับในประเทศไทย การศึกษาเกี่ยวกับสาร PAHs ก็มีอยู่บ้าง ได้แก่ ในพื้นที่อุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง พบสาร PAHs รวมในตะกอนดิน ซึ่งเก็บตัวอย่างในเดือนตุลาคมและมิถุนายน พ.ศ. 2533 อยู่ในช่วง 60 – 870 (เฉลี่ย 330) และ 270 – 1870 (เฉลี่ย 690) นนก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ (พรศรี สุทธนารักษ์, 2534) บริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามความลึกของชั้นดิน อยู่ในช่วง 2200 – 4500 นนก./ก. นน.แห้ง (วรัญญา วิรุพผล, 2533) การปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ในช่วงฤดูน้ำหลาก และช่วงฤดูแล้ง พบสาร PAHs ที่มีโมเลกุลเล็ก ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2-3 วง เป็นส่วนใหญ่ พบความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01 – 0.37 นนก./ล โดยปริมาณสาร PAHs รวมในช่วงฤดูน้ำหลากสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง (กัลยา วัฒนยากร, 2543)

เกศินี สรรวานิช (2534) วิเคราะห์ตะกอนดินและหอยแมลงภู่ จากปากแม่น้ำท่าจีน ตอนล่าง ในเดือนสิงหาคม พบสาร PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2-6 วง ในตะกอนดิน มีค่ารวมเฉลี่ย 2,710 นนก./ก. นน.แห้ง และตัวอย่างหอยแมลงภู่ พบ naphthalene, biphenyl, 2,6-dimethylnaphthalene, dibenzofuran, fluoranthene, pyrene และ chrysene อยู่ในช่วง 13-81 นนก./ก. นน.แห้ง

จากการวิเคราะห์ ตะกอนดินผิวหน้าจากอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบว่าการปนเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับบริเวณที่มีปัญหาจากทั่วโลก โดยพบ ปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 1,310-3,590 นนก./ก. นน.แห้ง และมี anthracene fluoranthene และ dibenzo[a,h]anthracene ในปริมาณที่สูงกว่าตัวอื่นๆ (วรากรณ์ ศรีมูล, 2544) จิราณีชัย ไชยปรีวงศ์ วิเคราะห์ตะกอนดินผิวหน้าและตะกอนตามความลึก จากบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน พบว่า PAHs รวมในตะกอนตามความลึก มีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกของชั้นตะกอนดินเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันมีการสะสมตัวของ PAHs มากกว่าในอดีต โดย PAHs รวมของตะกอนผิวหน้าตามลำน้ำท่าจีน มีค่าอยู่ในช่วง 220-1,520 นนก./ก. นน.แห้ง PAHs ที่พบได้แก่ naphthalene, biphenyl, acenaphthylene, fluorine, phenanthrene, chrysene, benzo[a]anthracene, perylene, pyrene, fluoranthene และ anthracene (จิราณีชัย ไชยปรีวงศ์, 2544)

#### 1.4 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อมีการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอน

ตะกอนดิน หรือ sediment เป็นสสารจากแผ่นดินที่ถูกกระบวนการผุพังกัดกร่อนจนแตกสลายเป็นอนุภาคเล็กๆ รวมตัวกับสารอินทรีย์ และถูกชะพาลงสู่แหล่งน้ำ รวมตลอดจนถึงอนุภาคที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำเอง เช่น ซากแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตอื่นหรือเกิดจากการแตกตัวออกจากมวลน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเคมี (Ditoro, 2001) คุณลักษณะของตะกอนสามารถชี้ถึงสถานะความเสื่อมโทรม โดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารได้ดีกว่าการใช้คุณภาพน้ำเป็นตัวชี้วัด เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ของตะกอนจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่าน้ำ (Kim *et al.*, 2003)

จากการที่พื้นที่เขตนํ้ากร่อยมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญ ทั้งในแง่ของการเป็นแหล่งอาหาร เส้นทางการอพยพชั่วคราวของสัตว์น้ำ และเป็นแหล่งอนุบาลของสัตว์วัยอ่อนหลายชนิด ดังนั้นหากตะกอนดินในเอสตูรีมีการปนเปื้อนจากสาร PAHs ก็จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เช่น ปู กุ้ง ปลา และสัตว์ที่อาศัยอยู่บนน้ำดิน โดยสิ่งมีชีวิตน้ำดินจะได้รับสาร PAHs ทั้งจากการกลืนกินโดยตรง หรือจากการที่สาร PAHs ถูกปลดปล่อยออกจากตะกอนดิน และสัมผัสโดนสัตว์น้ำ จากนั้นถ่ายทอดและสะสมในสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation) ตามลำดับชั้นทางโทรฟิค (trophic levels) ที่สูงขึ้นไปในห่วงโซ่อาหาร (Altindag and Yigit, 2005) สาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับชั้นห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้น จึงมีความเข้มข้นของสาร PAHs สะสมในร่างกายปริมาณสูง (biomagnifications) ดังนั้นมนุษย์ซึ่งอยู่ยอดสุดของลำดับโทรฟิค เมื่อบริโภคสัตว์น้ำที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ทั้งชนิดเรื้อรัง (chronic) เช่น มะเร็ง เกิดการบกพร่องของระบบประสาท หรือแบบเฉียบพลัน (acute) หากได้รับในปริมาณมาก (ATSDR, 1996)

#### 1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาค่ากัมมิหลังของ PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ซึ่งมีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน และประเมินรูปแบบการกระจายตัวของสาร PAHs เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการแหล่งกำเนิดสาร PAHs ในแต่ละพื้นที่



## บทที่ 2

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

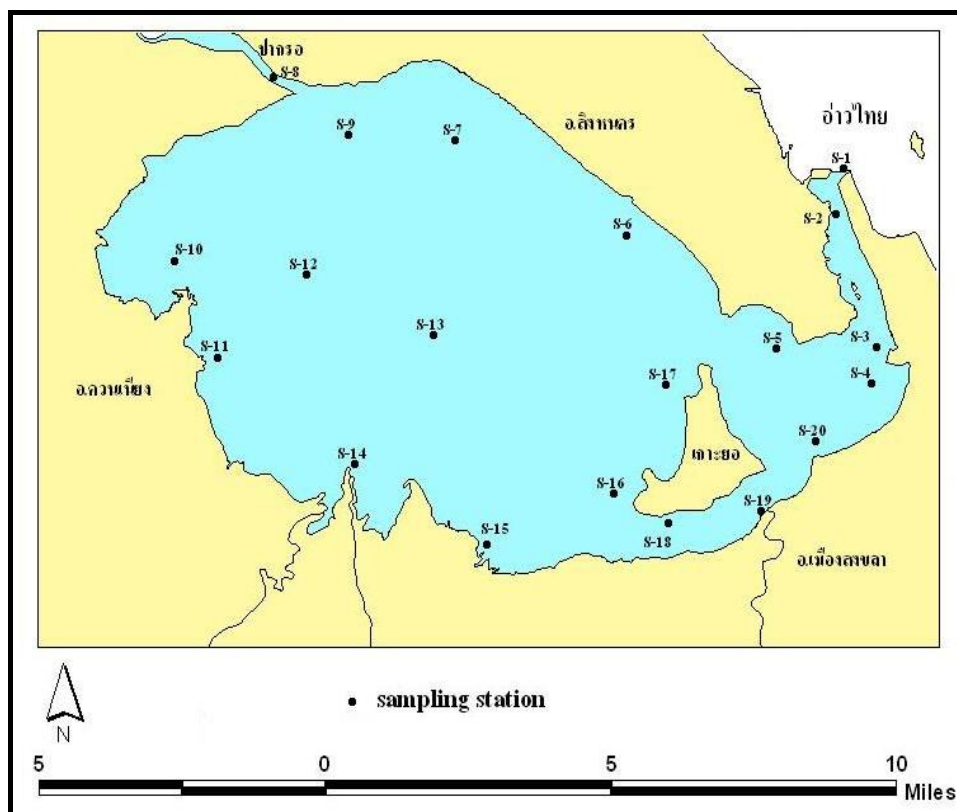
ตัวอย่างตะกอนดิน ประกอบด้วย ตัวอย่างจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา ซึ่งอยู่ทางด้านอ่าวไทย และตัวอย่างจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ซึ่งอยู่ทางฝั่งทะเลอันดามัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการศึกษาวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก เก็บตัวอย่างวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ภายใต้โครงการ “การศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางสมุทรศาสตร์ อุทกวิทยา และพลวัตของสารอาหารในทะเลสาบสงขลา” โดยคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ตะกอนดินนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ทะเลอันดามัน เก็บตัวอย่างโดยเรือจักรทอง ทองใหญ่ ระหว่างวันที่ 1 ถึง 8 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ภายใต้โครงการ “การเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนทะเลร่องรอยการเกิดสึนามิในอดีตจากตะกอนชายฝั่งทะเลอันดามัน” โดยศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัย และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SEA START RC) และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นโครงการภายใต้ความร่วมมือระหว่างไทยกับเยอรมันในโครงการ Tsunami deposits in near-shore and coastal waters of Thailand (TUNWAT)

#### 2.2 การเก็บตัวอย่าง

##### 2.2.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างในทะเลสาบสงขลาตอนนอก

ตะกอนดินผิวหน้า จำนวน 20 ตัวอย่าง จากสถานีในทะเลสาบสงขลาตอนนอก เก็บตัวอย่างด้วย Birke-Ekman Grab Sampler โดยมีตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 2-1 และรายละเอียดพิภพในตารางที่ 2-1



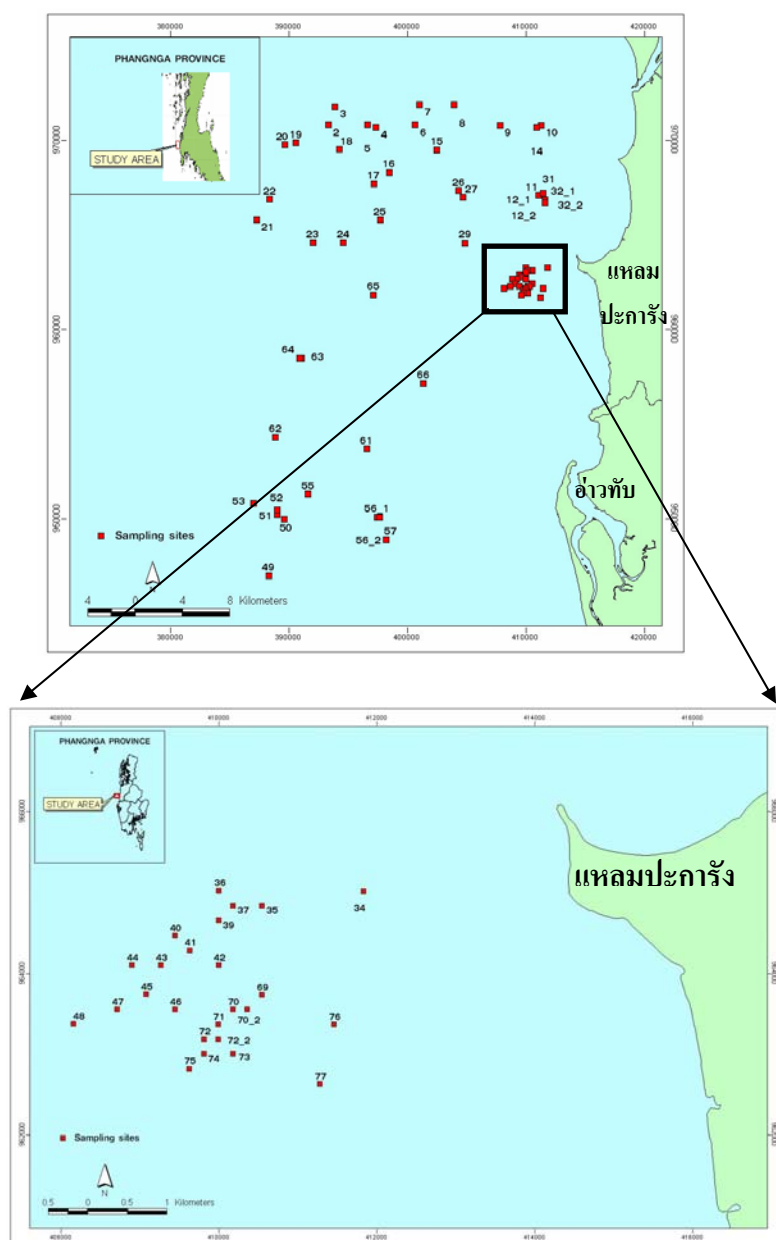
รูปที่ 2-1 ตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก เมื่อวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ภายใต้โครงการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางสมุทรศาสตร์ อุทกวิทยา และพลวัตของสารอาหารในทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ 2-1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเลสาบสงขลาตอนนอก ในวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 (ตามระบบพิกัดกริดแบบ UTM)

สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (UTM)		สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (UTM)	
	X	Y		X	Y
S-1	674256	799529	S-11	656627	794513
S-2	674049	798318	S-12	659155	796705
S-3	675170	794795	S-13	662726	795091
S-4	675053	793829	S-14	660493	791662
S-5	672342	794761	S-15	664222	789544
S-6	668128	797763	S-16	667773	790879
S-7	663330	800269	S-17	669238	793797
S-8	658219	801967	S-18	669331	790095
S-9	660325	800412	S-19	671924	790432
S-10	655417	797084	S-20	673456	792295

## 2.2.2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

เก็บตะกอนดิน จำนวน 70 ตัวอย่าง จากสถานีนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ด้วย VanVeen Grab Sampler โดยมีรายละเอียดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 2-2 และรายละเอียดพิภดในตารางที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ภายใต้โครงการเปลี่ยนแปลงของชั้นตะกอนทะเลร่องรอยการเกิดสึนามิในอดีตจากตะกอนชายฝั่งทะเลอันดามัน

ตารางที่ 2-2 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ระหว่างวันที่ 1 - 8 ธันวาคม พ.ศ. 2551 (ตามระบบพิกัดกริดแบบ UTM)

สถานี	วันเก็บตัวอย่าง	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		สถานี	วันเก็บตัวอย่าง	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	
		X	Y			X	Y
2	1 ธ.ค. 2551	393345	976672	40	5 ธ.ค. 2551	409446	964472
3	1 ธ.ค. 2551	393899	978145	41	5 ธ.ค. 2551	409629	964287
4	1 ธ.ค. 2551	397377	976478	42	5 ธ.ค. 2551	409995	964102
5	1 ธ.ค. 2551	396644	976664	43	5 ธ.ค. 2551	409262	964104
6	1 ธ.ค. 2551	400676	976654	44	5 ธ.ค. 2551	408895	964105
7	1 ธ.ค. 2551	401047	978311	45	5 ธ.ค. 2551	409078	963736
8	1 ธ.ค. 2551	403979	978304	46	5 ธ.ค. 2551	409444	963551
9	1 ธ.ค. 2551	407823	976637	47	5 ธ.ค. 2551	408711	963552
10	1 ธ.ค. 2551	411305	976629	48	5 ธ.ค. 2551	408160	963369
11	2 ธ.ค. 2551	411110	970918	49	7 ธ.ค. 2551	388299	940015
12	2 ธ.ค. 2551	411110	970918	50	7 ธ.ค. 2551	389595	944619
12_2	2 ธ.ค. 2551	411110	970918	51	7 ธ.ค. 2551	389046	944989
14	2 ธ.ค. 2551	410939	976446	52	7 ธ.ค. 2551	389047	945357
15	2 ธ.ค. 2551	402504	974622	53	7 ธ.ค. 2551	387030	945915
16	2 ธ.ค. 2551	398467	972789	55	7 ธ.ค. 2551	391618	946640
17	2 ธ.ค. 2551	397182	971871	56	7 ธ.ค. 2551	397482	944783
18	2 ธ.ค. 2551	394256	974643	56_2	7 ธ.ค. 2551	397665	944783
19	2 ธ.ค. 2551	390592	975205	57	7 ธ.ค. 2551	398211	942939
20	2 ธ.ค. 2551	389675	975023	61	7 ธ.ค. 2551	396579	950313
21	3 ธ.ค. 2551	387276	968949	62	7 ธ.ค. 2551	388879	951254
22	3 ธ.ค. 2551	388380	970604	63	7 ธ.ค. 2551	391096	957698
23	3 ธ.ค. 2551	392037	967093	64	7 ธ.ค. 2551	390913	957698
24	3 ธ.ค. 2551	394604	967087	65	7 ธ.ค. 2551	397159	962842
25	3 ธ.ค. 2551	397724	968922	66	7 ธ.ค. 2551	401359	955646
26	3 ธ.ค. 2551	404329	971301	69	8 ธ.ค. 2551	410544	963733
27	3 ธ.ค. 2551	404694	970748	70	8 ธ.ค. 2551	410177	963549
29	3 ธ.ค. 2551	404869	967062	70_2	8 ธ.ค. 2551	417694	963534
31	5 ธ.ค. 2551	411477	971101	71	8 ธ.ค. 2551	409994	963365
32	5 ธ.ค. 2551	411659	970548	72	8 ธ.ค. 2551	409810	963181
32_2	5 ธ.ค. 2551	411659	970364	72_2	8 ธ.ค. 2551	409993	963181
34	5 ธ.ค. 2551	411830	965020	73	8 ธ.ค. 2551	410176	962996
35	5 ธ.ค. 2551	410547	964838	74	8 ธ.ค. 2551	409810	962997
36	5 ธ.ค. 2551	409997	965024	75	8 ธ.ค. 2551	409626	962813
37	5 ธ.ค. 2551	410180	964839	76	8 ธ.ค. 2551	411460	963362
39	5 ธ.ค. 2551	409996	964655	77	8 ธ.ค. 2551	411275	962625

### 2.2.3 วิธีเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา

เมื่อได้ตะกอนดินแล้ว ตักเฉพาะตะกอนดินที่อยู่ด้านบนใน Grab Sampler วางลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ห่อให้มีมิดชิด บรรจุลงในขวดแก้วปิดฝาสนิท และใส่ลงในถุงพลาสติก รัดปากถุงให้แน่น จดบันทึกรายละเอียด พิกัดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง วันที่เก็บตัวอย่าง และเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$

## 2.3 การล้างและเตรียมเครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์และภาชนะทุกชิ้น ก่อนใช้งานต้องทำความสะอาดด้วยดีเทอเจนต์ (detergent) ล้างออกด้วยน้ำสะอาด ชะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ชะด้วยอะซิโตน (acetone) ฟุ้งอุปกรณ์หรือภาชนะให้แห้ง จากนั้นชะด้วยเมธานอล (methanol) และไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) ตามลำดับ

## 2.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน

### 2.4.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างตะกอนดินไปทำให้แห้งด้วยวิธี freeze dry เลือกเศษไม้เศษเปลือกหอยออก จากตัวอย่างแห้ง จากนั้นแบ่งตัวอย่างมาบดเบาๆ ด้วยโกร่ง เพื่อให้ตะกอนร่วนและเป็นเนื้อเดียวกัน ห่อเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่บดแล้วด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ก่อนบรรจุถุงพลาสติก รอการวิเคราะห์

### 2.4.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน

ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งมาประมาณ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบความละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB3002-S บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด ใส่ลงในเซลล์ลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 มม.  $\times$  100 มม. ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยไดคลอโรมีเทน (dichloromethane; DCM) โดยวิธีสกัดแบบ Soxhlet แล้วเติม Internal Standard (ประกอบด้วย Deuterated-Fluorene และ Deuterated-Perylene) ลงไป 50 มก. และเติมผงทองแดง (copper powder) ลงในขวดก้นกลมของชุดสกัดแบบ Soxhlet (รูปที่ 2-3ก) สกัดตัวอย่างตะกอนดินโดยใช้ DCM 150 มล. เป็นตัวทำละลาย สกัดต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-3 (ก) ชุดสกัดแบบ Soxhlet และ (ข) เครื่อง Rotary evaporators

นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary evaporator (รูปที่ 2-3 ข) จนสารละลายมีปริมาตรเหลือประมาณ 2 มล. ถ่ายสารละลายเก็บไว้ในหลอดแก้วขนาด 15 มล. เป้าเบาๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายที่เหลือ (รูป 2-4 ก) จนปริมาตรสารละลายเหลือ 0.2 – 0.3 มล. เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นเฮกเซน (hexane) ปริมาตร 10 มล. นำสารละลายที่ได้ไปสกัดแยกเฉพาะส่วนสาร PAHs ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) (รูปที่ 2-4 ข)

### 2.4.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs

วิธีการสกัดแยกส่วน (fractionation) เพื่อแยกสาร PAHs ออกจากสารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดิน โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เตรียมซิลิกาเจล (silica gel) สำหรับบรรจุในคอลัมน์โดยการอบซิลิกาเจล (Merck) ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บในเดซิเคเตอร์ (desiccator) ก่อนบรรจุลงคอลัมน์เติมเฮกเซนลงไปในซิลิกาเจลให้อยู่ในลักษณะขุ่นหนืด (slurry)

2) เตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แก้วชนิดที่มีวาล์วปิด-เปิด ปิดปลายคอลัมน์ส่วนล่างด้วยไขแก้วที่ทำความสะอาดด้วยเฮกเซนแล้ว เติมซิลิกาเจลในเฮกเซนที่เตรียมจากข้อ 1 ลงในคอลัมน์ ชะด้วยเฮกเซนโดยปล่อยเฮกเซน (ปริมาตรไม่ต่ำกว่าปริมาตรของเฮกเซนที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์) ไหลผ่านซิลิกาเจล ระวังอย่าให้คอลัมน์แห้งโดยระดับของเฮกเซนต้องอยู่เหนือระดับของซิลิกาเจลเสมอ ทั้งเฮกเซนส่วนนี้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2-4 การเป่าเบาๆด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อลดขนาดของสารละลาย (ก) การแยกส่วน (fractionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล (silica gel) และ (ข) เครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion-Trap (ค)

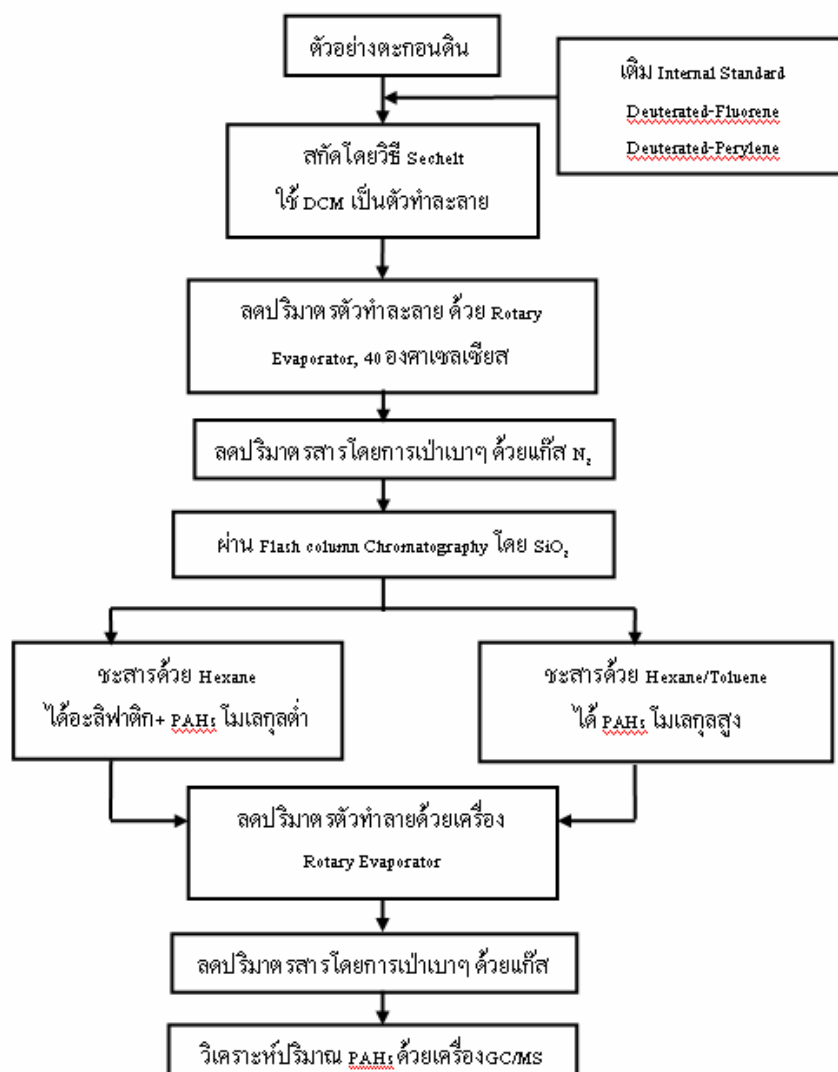
3) ไบโอสกเซนส่วนที่อยู่เหนือซิลิกาเจลทิ้ง จนระดับของเฮกเซนอยู่เหนือแนวซิลิกาเจล เพียงเล็กน้อย เทสารละลายที่ได้ในหัวข้อที่ 2.4.2 ลงในคอลัมน์ซิลิกาเจล เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์

4) เมื่อสารละลายไหลผ่านคอลัมน์จนเกือบหมด ชะคอลัมน์ด้วยเฮกเซน 15 มล. โดยปรับอัตราการไหลของเฮกเซนให้อยู่ที่ 1 หยด ต่อ 1 วินาที รอจนระดับของสารละลายเกือบถึงแนวซิลิกาเจล จึงเติมตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนกับเฮกเซน (Toluene: Hexane) อัตราส่วน 0.6: 1 ปริมาตร 15 มล. เพื่อชะสาร PAHs เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ร่วมกับสารละลายที่ได้ในข้อ 3 รอจนระดับของสารละลายเกือบถึงแนวซิลิกาเจล

5) นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ (จากข้อ 4) ไปลดปริมาตรให้เหลือ 2 มล. โดยเป่าเบาๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนจนสารละลายเหลือ 0.2 – 0.3 มล. เติมไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ลงไป 5 มล. และลดปริมาตรสุดท้ายให้เท่ากับ 0.1 มล.

6) เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณต่อไป ด้วยเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion–Trap (GC/MS – Ion-Trap) ยี่ห้อ Varian รุ่น Saturn 2200 (รูปที่ 2-4 ค)

รูปที่ 2-5 แสดงวิธีการโดยในการสกัดและวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี



รูปที่ 2-5 ฟังสรุปวิธีการสกัดและวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดิน



#### 2.4.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS- Ion-Trap

วิเคราะห์เพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS-Ion-Trap Varian Saturn 2200 โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง ดังตารางที่ 2-3 หลักการวิเคราะห์

ตารางที่ 2-3 สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion-Trap (Varian Saturn 2200) ในการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	คอลัมน์แคปิลลารี (capillary column) รุ่น CP-5865 ยาว 60 ม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มม. ความหนาของฟิล์มเหลว 1 ไมครอน.
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มล. ต่อนาที
	อุณหภูมิของ Injector	250°C
	อุณหภูมิของ Transfer line	250°C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมครอน. (splitless liner)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI <sup>+</sup> )
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)

#### 2.5 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

ควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ Standard Reference Material (SRM) 1941b organics in marine sediment เพื่อเป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลอง และการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (%Accuracy) ของ internal standard ในการทดลอง โดยใช้ SRM 1 กรัม ทำการสกัดและวิเคราะห์ 8 ชั่วโมง ด้วยวิธีเดียวกับตัวอย่าง

#### 2.6 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard

$$\frac{W_{Nat}}{W_{Deut}} = \frac{A_{Nat}}{A_{Deut}} \quad (2-1)$$

โดยที่	$A_{\text{Nat}}$	=	พื้นที่ Peak ของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
	$A_{\text{Deut}}$	=	พื้นที่ Peak ของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง
	$W_{\text{Nat}}$	=	น้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
	$W_{\text{Deut}}$	=	น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

จากสมการ 2-1 สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่างมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{RRF} \times \frac{1}{V} \quad (2-2)$$

โดยที่	$C_{\text{Nat}}$	=	ความเข้มข้นของ Native-PAHs ในตัวอย่าง (ng/g)
	$A_{\text{Nat}}$	=	พื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
	$A_{\text{Deut}}$	=	พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง
	$W_{\text{Deut}}$	=	น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง (ng)
	RRF	=	Relative Response Factor
	V	=	ปริมาณตัวอย่าง ตะกอนดิน (g)

## 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) วิเคราะห์ค่าแนวโน้มและการกระจายของข้อมูล โดยการหา ค่าผลรวม ค่าเฉลี่ยหรือตัวกลางทางคณิตศาสตร์ (arithmetic mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) สกัดส่วนและองค์ประกอบ แสดงผลข้อมูล โดยโปรแกรม Sigma-plot

### บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ รายงานในตารางที่ 3-1 ค่าเฉลี่ยของสาร Phe, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, Ind และ B [g,h,i]P ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ  $486 \pm 66$ ,  $733 \pm 79$ ,  $551 \pm 65$ ,  $277 \pm 46$ ,  $227 \pm 83$ ,  $396 \pm 134$ ,  $197 \pm 86$ ,  $409 \pm 175$ ,  $438 \pm 92$  และ  $382 \pm 84$  ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับมากับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

ตารางที่ 3-1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

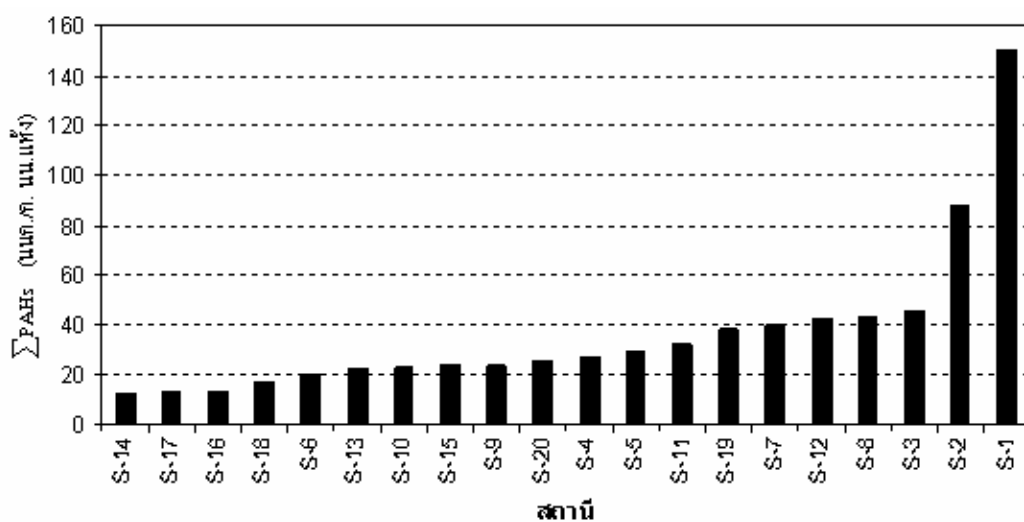
SRM	CODE	N	ค่าที่กำกับมา	ค่าที่วิเคราะห์ได้	%Accuracy
			นกก. /ก. นน.แห้ง	นกก. /ก. นน.แห้ง	
Phenanthrene	Phe	8	$406 \pm 44$	$486 \pm 66$	$120 \pm 16$
Fluoranthene	Fluo	8	$651 \pm 50$	$733 \pm 79$	$113 \pm 12$
Pyrene	Pyr	8	$581 \pm 39$	$551 \pm 65$	$95 \pm 11$
Benzo[a]anthracene	B[a]A	8	$335 \pm 25$	$277 \pm 46$	$83 \pm 13$
Chrysene	Chry	8	$291 \pm 31$	$227 \pm 83$	$78 \pm 28$
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	8	$453 \pm 21$	$396 \pm 134$	$87 \pm 29$
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	8	$225 \pm 18$	$197 \pm 86$	$88 \pm 38$
Benzo[e]pyrene	B[e]P	8	$325 \pm 25$	$409 \pm 175$	$126 \pm 53$
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	8	$341 \pm 57$	$438 \pm 92$	$129 \pm 26$
Benzo[g,h,i]perylene	B [g,h,i]P	8	$307 \pm 45$	$382 \pm 84$	$124 \pm 27$

ผลการวิเคราะห์ตะกอนดินผิวหน้าเพื่อหาชนิดและระดับความเข้มข้นของสาร PAHs 15 ชนิด ประกอบด้วย Phe, An, Fluo, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, B[e]P, B[g,h,i]P, D[a,h]A และ Ind พบการปนเปื้อนของสาร PAHs ในทุกตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของชนิดและระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในตะกอนดินผิวหน้าแต่ละพื้นที่ ดังนี้

### 3.2 ตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา

ผลจากการศึกษาตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก 20 สถานี พบว่าระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ทั้ง 15 ชนิด ในช่วง 12.6 – 150.1 นนก./ก. นน.แห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $36.6 \pm 31.6$  นนก./ก. นน.แห้ง โดยพบสาร PAHs ชนิดที่วิเคราะห์เกือบทุกชนิด โดยพบ B[a]A, B[b]F, B[k]F, B[a]P, B[e]P, D[a,h]A และ Ind ในระดับความเข้มข้นต่ำ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-2 สถานีใกล้ปากทะเลสาบมีค่า  $\Sigma$ PAHs สูงกว่าสถานีอื่น เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมต่างๆ โดยรอบ เช่น ปากทะเลสาบสงขลาเป็นเส้นทางที่มีเรือประมงเข้าออกพลุกพล่าน เนื่องจากมีท่าเทียบเรือประมง มีแพขนานยนต์ข้ามฟากรับส่งระหว่างชุมชนประมงบ้านหัวเขาแดง อ.สิงหนคร และแหลมสนอ่อน อ.เมือง นอกจากนี้ยังมีท่าเรือน้ำลึก และมีสถานีคลังน้ำมัน อยู่บริเวณปากทะเลสาบสงขลาด้วย

สถานีที่มี  $\Sigma$ PAHs มากที่สุด คือ สถานี S-1 (รูปที่ 3-1) รองลงมา คือ S-2, S-3 และ S-8 โดยพบอยู่ที่ระดับ 150.1, 88.2, 45.7 และ 43.0 นนก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ สามสถานีแรกอยู่ปากทะเลสาบสงขลาเชื่อมต่อกับอ่าวไทย ส่วนสถานี S-8 เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในคลองหลวงบริเวณบ้านป่ากรอ ซึ่งเป็นทางเชื่อมของทะเลสาบสงขลาตอนในสู่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก จะเห็นได้ว่าสถานีที่มีการคมนาคมจอแจจะมีสาร PAHs สะสมอยู่ในตะกอนดินมากกว่าสถานีอื่น



รูปที่ 3-1 ระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า จากสถานีต่างๆในทะเลสาบสงขลาตอนนอก เรียงลำดับตามความเข้มข้น

ตารางที่ 3-2 ปริมาณสาร PAHs (นกก. /ก. นน.แห้ง) แต่ละชนิด และปริมาณผลรวม PAHs (นกก. /ก. นน.แห้ง) ในตะกอนดิน จากทะเลสาบสงขลาตอนนอก

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	∑ PAHs
S1	36.45	3.80	10.75	5.90	5.72	4.67	4.59	6.11	15.06	10.73	7.12	3.52	11.64	4.71	19.29	150.1
S2	27.02	5.03	5.24	4.81	3.09	2.59	4.68	4.82	8.35	1.63	5.13	2.69	5.14	1.46	6.47	88.2
S3	19.21	1.83	2.05	1.76	1.08	0.91	1.74	1.74	3.32	1.96	1.45	N.D	N.D	6.32	2.29	45.7
S4	11.37	1.06	1.07	0.89	0.70	0.65	0.58	0.98	2.24	0.37	1.02	0.36	2.10	1.03	3.06	27.5
S5	14.60	2.37	1.15	0.95	0.60	0.50	0.86	0.76	2.00	0.97	0.67	N.D	1.21	0.82	2.16	29.6
S6	13.07	1.02	0.75	1.11	0.27	0.39	0.51	0.40	0.53	N.D	0.44	0.16	0.81	N.D	0.85	20.3
S7	14.17	1.84	2.23	2.95	0.75	0.61	1.23	1.65	2.82	0.80	1.96	1.17	3.33	N.D	4.21	39.7
S8	2.56	0.37	2.54	2.85	0.35	0.54	0.61	0.35	3.19	N.D	2.91	N.D	4.73	11.69	10.33	43.0
S9	3.03	0.36	2.00	3.13	0.29	0.36	0.45	0.16	1.66	1.72	N.D	N.D	2.15	3.43	5.25	24.0
S10	4.01	0.37	2.10	2.56	0.31	0.40	0.21	0.11	2.40	1.51	N.D	N.D	N.D	N.D	9.03	23.0
S11	1.12	0.63	1.94	4.87	0.38	0.39	0.75	0.67	N.D	N.D	N.D	N.D	7.78	4.59	8.99	32.1
S12	13.76	1.74	1.67	1.43	1.36	0.95	1.16	1.29	3.73	1.03	3.55	3.41	2.50	1.35	3.87	42.8
S13	2.09	0.33	3.24	6.66	0.38	0.60	0.80	0.36	0.53	0.85	N.D	N.D	1.38	1.67	3.33	22.2
S14	2.77	0.30	1.23	2.94	0.21	0.29	0.14	0.09	0.42	0.23	0.43	N.D	0.41	1.20	1.94	12.6
S15	3.34	0.33	1.79	3.57	0.26	0.30	0.26	0.29	0.88	0.46	0.72	N.D	1.30	7.69	2.54	23.7
S16	2.73	0.27	0.97	1.84	0.21	0.23	0.14	0.12	N.D	N.D	0.49	N.D	1.42	1.28	3.34	13.0
S17	4.56	0.18	0.85	2.06	0.14	0.12	0.20	0.14	0.42	0.37	0.33	N.D	0.88	0.61	2.10	13.0
S18	10.22	0.61	0.87	1.65	0.38	0.38	0.19	0.12	N.D	N.D	0.35	N.D	0.61	0.83	1.47	17.7
S19	7.28	1.04	7.81	6.34	3.07	0.36	0.22	0.18	N.D	N.D	1.78	N.D	2.24	2.31	5.58	38.2
S20	7.14	0.79	2.68	2.78	0.52	0.51	0.35	0.56	1.25	0.29	1.01	N.D	2.09	1.34	4.29	25.6
average	10.03	1.21	2.65	3.05	1.00	0.79	0.98	1.05	2.44	1.15	1.47	0.56	2.59	2.62	5.02	36.6
SD	9.22	1.28	2.54	1.79	1.40	1.05	1.32	1.61	3.56	2.35	1.89	1.18	2.86	3.02	4.28	31.6

หมายเหตุ N.D. = not detected

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมของสาร PAHs 12 ชนิด ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, B[g,h,i]P, D[a,h]A และ Ind (ไม่รวม 11H-B[a]F, 11H-B[b]F และ B[e]P เนื่องจากผลการศึกษายังมีน้อย) ในตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $33.3 \pm 27.6$  นนก./ก. นน.แห้ง กับผลการศึกษาในพื้นที่อื่น (ตารางที่ 3-3) พบว่าค่าที่พบในตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลา ยังมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับที่พบในตะกอนดินจากคลอง แม่น้ำ และปากแม่น้ำในพื้นที่อุตสาหกรรมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด PAHs (Bixian *et al.*, 2001; Gaspare *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2008)

ตารางที่ 3-3 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก กับการศึกษาในหลายประเทศ

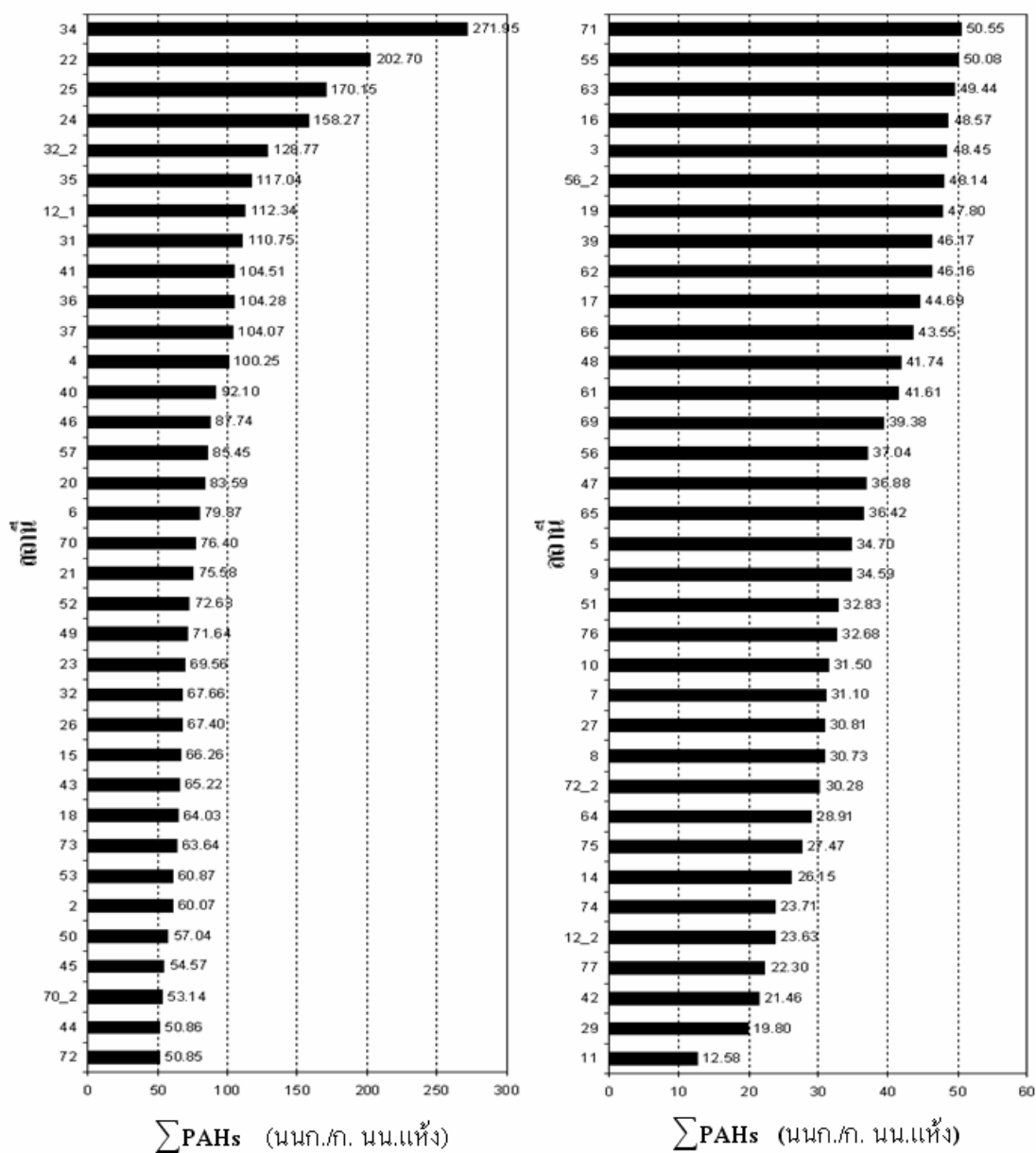
พื้นที่	ค่าความเข้มข้นรวมของ PAHs (นนก./ก. นน.แห้ง)	อ้างอิง
Songkhla Lake	33.3	การศึกษารุ่นนี้
Msimbazi creek, Tanzania	271.5	Gaspare <i>et al.</i> (2009)
Shiziyang Channel China	565.7	Bixian <i>et al.</i> (2001)
Mzinga creek, Tanzania	843.3	Gaspare <i>et al.</i> (2009)
Guangzhou Channel China	5,288	Bixian <i>et al.</i> (2001)
Haihe River, Tianjin, China	22,223	Liu <i>et al.</i> (2008)

### 3.3 ตะกอนดินผิวหน้าจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

ผลจากการศึกษาตะกอนดินผิวหน้าจากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา จำนวน 70 สถานี พบว่าระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ทั้ง 15 ชนิด อยู่ในช่วง 12.6 – 272.0 นนก./ก. นน.แห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $64.5 \pm 44.3$  นนก./ก. นน.แห้ง โดยพบสาร PAHs ชนิดที่วิเคราะห์เกือบทุกชนิด โดยที่ B[b]F, B[k]F, B[a]P และ B[e]P พบในระดับความเข้มข้นต่ำ (ตารางที่ 3-4) สถานีใกล้ฝั่งมีค่าสูงกว่าสถานีที่ไกลฝั่ง ซึ่งน่าจะมาจากการชะพาคลื่นที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนมากกว่าลงสู่ทะเลในช่วงที่ฝนตก และสะสมอยู่ในตะกอนดินใกล้ฝั่ง (Ashley *et al.*, 2008)

สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่มี  $\Sigma$ PAHs มากที่สุด คือ สถานี 34 ซึ่งอยู่นอกชายฝั่งบริเวณแหลมปะการัง พบอยู่ที่ระดับ 272.0 นนก./ก. นน.แห้ง รองลงมา คือ สถานี 22, 25 และ 24 มีค่าเท่ากับ 202.7, 170.2 และ 158.3 นนก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ ทั้ง 3 สถานี อยู่ถัดห่างชายฝั่งออกไป

ในแนวเดียวกับสถานี 34 (รูปที่ 3-2) และพบว่าตัวอย่างตะกอนดินที่ได้จากสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณนอกแหลมปะการัง (สถานีในกรอบดำในรูปที่ 2-2 บทที่ 2) ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นของ PAHs สูงเกินกว่า 100 นนก./ก. นน.แห่ง ได้แก่ สถานี 12, 31, 35, 36, 37, 32\_2 และ 41



รูปที่ 3-2 ระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า จากนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เรียงลำดับจากสถานีที่พบความเข้มข้นสูงสุดถึงต่ำสุด

ตารางที่ 3-4 ปริมาณสาร PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) แต่ละชนิด และปริมาณผลรวม PAHs (นกก./ก. นน.แห้ง) ในตะกอนดิน 70 สถานี จากอ่าวทับตะมุ จังหวัดพังงา

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Σ PAHs
2	8.72	0.45	1.36	2.57	0.22	0.22	0.24	0.25	N.D	6.53	2.62	N.D	4.94	13.38	18.59	60.07
3	17.57	4.34	8.90	16.28	0.11	0.13	0.27	0.19	N.D	N.D	0.08	N.D	0.09	0.16	0.34	48.45
4	16.31	2.08	21.86	22.79	7.99	1.37	3.87	5.15	1.28	0.72	1.11	0.70	1.28	12.20	1.53	100.25
5	15.41	0.84	5.53	6.95	0.36	0.66	0.79	0.80	0.13	0.19	0.12	0.06	0.19	2.07	0.58	34.70
6	12.40	1.71	3.28	10.15	0.22	0.24	0.45	0.25	1.67	2.79	4.55	3.32	2.87	28.29	7.69	79.87
7	15.97	2.16	3.22	7.69	0.21	0.28	0.42	0.28	0.05	0.08	0.05	N.D	0.04	0.50	0.15	31.10
8	15.36	2.00	4.01	8.02	0.17	0.17	0.23	0.15	0.08	0.05	0.05	N.D	0.07	0.15	0.22	30.73
9	22.31	3.25	2.79	2.71	0.43	0.70	0.69	0.34	N.D	N.D	0.15	N.D	0.14	0.45	0.63	34.59
10	14.56	0.83	8.26	4.15	0.74	0.13	0.39	0.29	0.12	0.08	0.18	0.07	0.19	0.48	1.05	31.50
11	7.07	1.19	1.04	1.63	0.23	0.28	0.26	0.21	N.D	N.D	0.09	0.00	0.10	0.16	0.34	12.58
12	36.74	7.37	6.27	6.05	5.76	4.94	4.48	5.51	5.12	1.39	4.29	2.65	5.79	6.59	9.41	112.34
12 1	11.90	1.28	2.13	2.78	0.40	0.39	0.61	0.66	N.D	N.D	0.57	N.D	0.34	0.52	2.06	23.63
14	14.89	2.15	1.72	4.15	0.36	0.49	0.57	0.45	0.08	0.11	0.12	N.D	0.08	0.74	0.24	26.15
15	20.58	2.47	5.03	7.74	1.34	1.54	1.23	1.53	N.D	N.D	0.85	N.D	2.17	19.05	2.74	66.26
16	16.65	2.21	2.56	3.65	1.42	1.22	1.01	1.43	1.60	1.36	1.66	N.D	2.23	7.78	3.78	48.57
17	20.24	2.52	6.44	7.00	1.05	0.88	0.52	0.87	N.D	N.D	0.60	N.D	0.53	2.95	1.06	44.69
18	27.86	2.35	6.72	9.27	1.36	0.99	1.54	1.69	N.D	2.99	1.23	N.D	1.48	3.67	2.90	64.03
19	4.43	0.77	4.92	11.21	0.70	0.79	1.02	0.70	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	16.74	6.51	47.80
20	23.18	2.66	7.54	20.77	0.52	0.52	0.51	N.D	N.D	4.54	2.89	N.D	1.54	14.82	4.11	83.59
21	15.14	1.38	11.84	25.49	1.07	1.57	4.84	5.76	0.79	1.18	1.25	1.01	0.74	2.70	0.83	75.58
22	21.28	3.17	4.98	10.52	1.30	1.74	1.33	1.24	16.06	18.10	12.70	N.D	21.07	72.59	16.62	202.70
23	12.07	1.54	1.77	4.38	0.66	0.88	0.52	0.52	3.90	4.78	3.73	1.92	4.80	23.91	4.19	69.56
24	21.62	2.21	14.59	13.55	11.17	1.92	0.98	1.64	N.D	7.70	11.72	8.59	20.76	21.42	20.39	158.27
25	17.39	2.28	14.24	18.06	4.85	1.37	1.13	1.36	N.D	N.D	18.45	11.15	16.92	41.48	21.48	170.15
26	22.09	7.92	5.82	14.90	2.36	1.11	1.59	2.12	N.D	N.D	1.77	0.92	1.34	2.99	2.45	67.40



ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Σ PAHs
27	15.36	0.52	1.78	9.92	0.38	0.21	0.31	0.12	N.D	N.D	0.65	N.D	0.45	N.D	1.11	30.81
29	4.33	0.30	1.72	5.23	0.24	0.33	0.21	0.12	N.D	N.D	1.30	N.D	1.04	1.39	3.61	19.80
31	10.64	1.14	11.79	12.66	5.42	0.00	0.44	0.65	5.78	4.10	11.35	4.67	15.38	11.80	14.93	110.75
32	17.13	2.15	4.27	8.94	0.77	0.47	0.54	0.93	N.D	N.D	5.08	N.D	8.74	4.50	14.12	67.66
32 2	15.16	1.46	7.39	8.39	3.94	0.65	0.85	1.08	N.D	N.D	20.55	N.D	22.32	24.67	22.30	128.77
34	18.96	2.42	17.02	18.49	12.82	9.62	0.60	0.51	4.62	3.83	3.98	5.11	13.64	113.80	46.53	271.95
35	11.24	2.11	10.60	18.18	0.89	0.66	0.60	0.50	N.D	6.89	12.43	2.70	5.89	27.38	16.95	117.04
36	16.39	1.95	6.57	15.12	0.55	0.52	0.38	0.31	N.D	11.99	8.11	N.D	4.38	25.18	12.82	104.28
37	16.05	1.97	10.42	23.77	0.65	0.61	0.52	0.46	N.D	8.88	7.30	3.10	N.D	24.13	6.21	104.07
39	14.95	1.63	7.05	10.40	0.81	0.79	0.68	0.70	N.D	1.36	1.56	N.D	0.62	3.87	1.74	46.17
40	16.05	2.59	5.63	13.63	0.66	0.54	0.37	0.41	N.D	9.25	10.65	7.72	3.92	15.74	4.96	92.10
41	22.97	1.55	2.53	5.43	0.24	0.24	0.15	0.48	N.D	13.04	6.66	7.20	5.71	25.29	13.02	104.51
42	5.94	0.28	1.25	2.45	0.21	0.14	0.13	0.12	N.D	N.D	N.D	N.D	3.54	3.62	3.77	21.46
43	16.79	1.33	15.87	21.86	7.43	0.31	0.28	0.27	N.D	N.D	0.75	N.D	N.D	N.D	0.33	65.22
44	13.36	1.26	2.24	2.69	0.26	0.16	0.30	0.23	N.D	3.79	5.91	N.D	2.36	8.48	9.80	50.86
45	27.58	2.77	6.14	14.48	0.42	0.56	0.43	0.19	N.D	N.D	0.33	N.D	0.47	0.38	0.82	54.57
46	13.17	1.30	15.73	37.58	0.50	0.88	0.99	1.04	1.47	1.76	2.19	1.12	2.21	4.81	2.98	87.74
47	12.33	1.39	5.24	11.90	0.67	0.61	0.90	0.73	0.17	0.15	0.19	N.D	0.34	1.10	1.16	36.88
48	14.45	1.58	5.51	15.85	0.31	0.39	0.49	0.22	0.21	N.D	0.38	0.36	0.29	0.70	1.01	41.74
49	37.17	4.11	7.44	15.86	0.30	0.32	0.59	0.24	0.55	N.D	0.95	N.D	0.65	1.43	2.03	71.64
50	11.15	1.48	5.41	6.82	0.29	0.19	0.20	0.14	1.83	1.68	3.11	N.D	4.14	9.66	10.94	57.04
51	13.91	1.59	2.83	5.17	1.51	1.63	0.42	0.49	N.D	0.34	0.25	0.25	0.83	0.74	2.85	32.83
52	19.38	1.59	14.39	32.64	0.48	0.77	0.53	0.33	N.D	N.D	0.55	N.D	0.50	0.49	0.98	72.63
53	27.90	2.92	8.49	15.83	1.78	1.22	0.20	0.12	N.D	0.32	0.47	N.D	0.33	0.57	0.71	60.87

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	∑ PAHs
55	10.64	1.28	2.58	6.40	0.42	0.34	0.37	0.23	N.D	N.D	3.66	N.D	5.39	5.19	13.57	50.08
56	13.53	1.52	5.67	12.66	0.31	0.28	0.26	0.14	N.D	N.D	0.68	N.D	0.41	0.68	0.92	37.04
56 2	15.60	1.67	5.85	12.43	5.34	3.49	0.32	0.21	N.D	N.D	0.87	0.44	0.34	0.63	0.94	48.14
57	25.43	2.95	4.25	18.16	0.91	0.92	0.78	0.63	2.53	2.41	2.51	1.52	3.92	10.44	8.08	85.45
61	14.33	1.86	4.66	11.18	0.39	0.46	0.43	0.31	0.80	0.44	0.50	0.31	1.15	1.74	3.05	41.61
62	13.79	2.09	4.65	11.13	0.41	0.43	0.49	0.23	0.76	0.29	0.95	N.D	1.29	3.16	6.49	46.16
63	12.10	1.60	3.09	7.53	0.45	0.34	0.43	0.38	N.D	1.06	1.70	N.D	3.42	4.91	12.42	49.44
64	12.50	1.35	4.07	6.61	0.27	0.30	0.31	0.17	N.D	0.60	0.68	N.D	0.28	0.25	1.50	28.91
65	15.41	1.83	5.32	10.37	0.13	0.18	0.26	0.19	N.D	N.D	0.67	N.D	0.45	0.47	1.15	36.42
66	10.64	1.45	7.49	21.15	0.21	0.24	0.31	N.D	N.D	0.19	0.38	0.10	0.46	0.10	0.83	43.55
69	11.00	1.19	3.80	10.53	0.08	0.18	0.29	0.22	N.D	0.78	1.05	N.D	1.40	1.94	6.92	39.38
70	16.82	2.23	9.16	23.59	0.10	0.26	0.41	0.30	N.D	N.D	2.05	N.D	3.05	5.04	13.40	76.40
70 2	12.56	1.40	4.09	15.95	0.71	0.93	0.71	0.49	1.82	1.73	1.01	0.91	1.56	5.95	3.31	53.14
71	12.41	1.77	5.60	13.09	0.81	0.72	0.68	0.51	N.D	N.D	1.01	N.D	1.88	3.21	8.85	50.55
72	9.68	1.06	3.65	7.96	0.30	0.37	0.31	0.23	0.84	0.61	1.40	0.43	2.95	5.75	15.31	50.85
72 2	9.40	1.41	1.82	3.40	0.31	0.29	0.35	0.24	N.D	N.D	1.43	N.D	1.76	3.50	6.38	30.28
73	14.58	1.84	10.68	9.41	0.00	0.21	0.34	0.18	1.15	1.52	1.98	N.D	1.99	6.65	13.11	63.64
74	14.17	0.86	2.73	4.22	0.14	0.22	0.32	0.26	N.D	0.11	0.10	N.D	0.12	0.17	0.29	23.71
75	12.69	1.08	4.04	8.06	0.09	0.18	0.24	0.18	N.D	N.D	0.07	N.D	0.11	0.21	0.52	27.47
76	11.11	0.98	4.04	9.08	0.07	0.24	0.22	0.18	1.07	N.D	0.85	N.D	0.69	0.59	3.57	32.68
77	11.75	1.55	1.70	3.43	0.16	0.24	0.22	0.11	N.D	N.D	0.43	N.D	0.45	0.63	1.63	22.30
<b>average</b>	15.77	1.94	6.19	11.46	1.40	0.82	0.69	0.70	0.78	1.85	2.85	0.95	3.15	9.52	6.40	64.47
<b>SD</b>	6.19	1.26	4.32	7.26	2.50	1.31	0.86	1.11	2.22	3.51	4.30	2.22	5.12	17.42	7.79	44.28

N.D. = not detecte

นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างตะกอนดินที่ได้จากสถานีในแนวที่พบหลักฐานการตกสะสมของวัสดุจากแผ่นดิน (เช่น กรวดและหินขนาดใหญ่) ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นแนวที่กระแสน้ำจากคลื่นสึนามิ (ที่เกิดเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547) ไหลย้อนกลับสู่ทะเล (Feldens *et al.*, 2009) แม้จะอยู่ห่างจากฝั่งออกไปมากกว่า 5 ถึง 30 กม. ก็พบค่า  $\Sigma$  PAHs ที่สูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งน่าจะเกิดจากดินที่ถูกพาลงทะเลพร้อมกับกระแสไหลย้อนของสึนามิและตกตะกอนสะสมอยู่ในพื้นที่ดังกล่าว

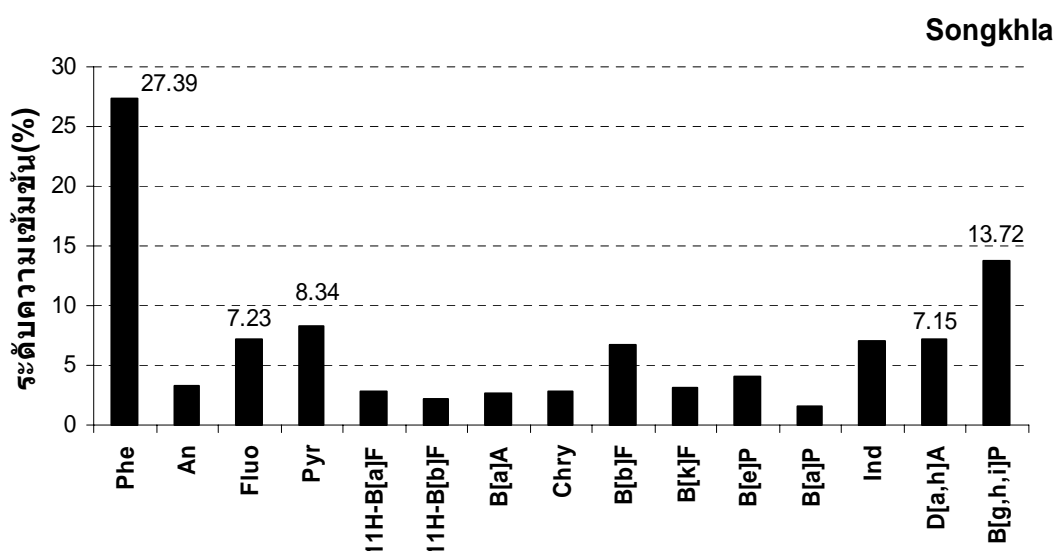
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมของสาร PAHs 12 ชนิด ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, B[g,h,i]P, D[a,h]A และ Ind (ไม่รวม 11H-B[a]F, 11H-B[b]F และ B[e]P) ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าจากชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $59.4 \pm 38.9$  นนก./ก. นน.แห้ง กับผลการศึกษาในพื้นที่อื่น (ตารางที่ 3-5) พบว่าค่าที่พบยังมีค่าต่ำกว่ามาก เมื่อเทียบกับชายฝั่งในพื้นที่อุตสาหกรรมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด PAHs (Baumard *et al.*, 1988; Benlahcen *et al.*, 1997; Bihari *et al.*, 2006; Bixian *et al.*, 2001; Culotta *et al.*, 2006; Medeiros *et al.*, 2005) แต่มีค่าสูงกว่าตะกอนดินที่ได้จาก Rosas Bay ประเทศฝรั่งเศส ที่อยู่ห่างไกลจากชายฝั่งออกไป (Baumard *et al.*, 1988)

ตารางที่ 3-5 ค่าความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs ในตะกอนผิวหน้าจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เปรียบเทียบกับการศึกษาในหลายประเทศ

พื้นที่	ค่าความเข้มข้นรวมของ PAHs (นนก./ก. นน.แห้ง)	อ้างอิง
พื้นที่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดมลพิษ		
Rosas Bay (France) Mediterranean	11.0	Baumard <i>et al.</i> (1988)
Le Planier lighthouse (France) Mediterranean	31.3	Baumard <i>et al.</i> (1988)
Andaman Sea	59.4	การศึกษาคั้งนี้
พื้นที่ใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษ		
Lingding Bay (China)	500	Bixian <i>et al.</i> (2001)
Lagoon estuary (Brazil)	1,811	Medeiros <i>et al.</i> (2005)
Rovinj area, Northern Adriatic (Croatia)	2,101	Bihari <i>et al.</i> (2006)
Coastal Lagoon, Marsala (Italy)	2,967	Culotta <i>et al.</i> (2006)
Lazaret Bay (France)	9,133	Benlahcen <i>et al.</i> (1997)
Barcelona Harbour (Spain)	14,921	Baumard <i>et al.</i> (1988)

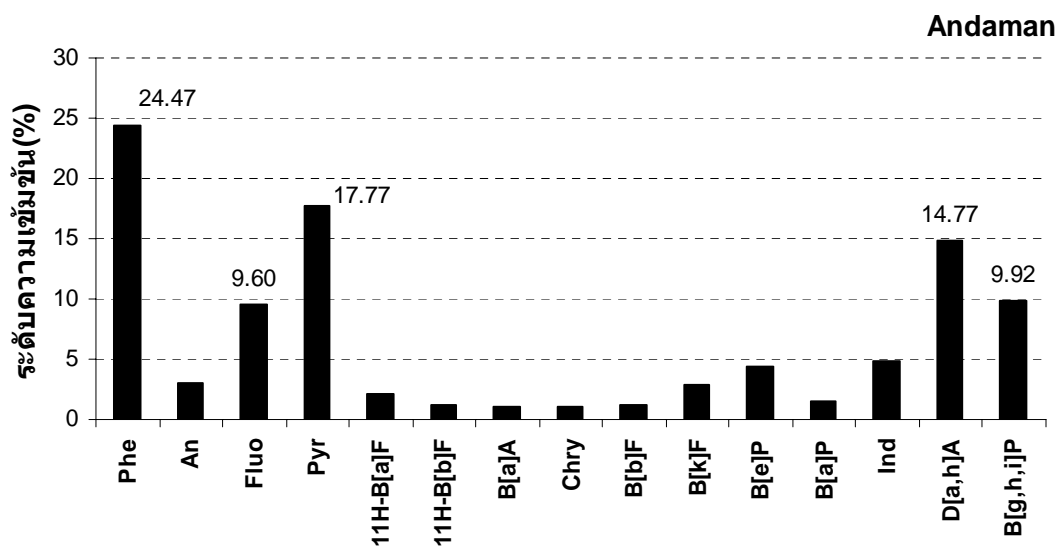
### 3.4 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่

สาร PAHs แต่ละชนิดที่พบในตะกอนดินผิวน้ำจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก พบว่า สาร PAHs ที่มีความเข้มข้นสูงสุด คือ Phe โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.12 – 36.45 นนก./ก.นน.แห้ง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $10.03 \pm 9.22$  นนก./ก. นน.แห้ง รองลงมาคือ B[g,h,i]P มีค่าอยู่ในช่วง 0.85 – 19.29 นนก./ก. นน.แห้ง ค่าเฉลี่ย  $5.02 \pm 4.28$  นนก./ก. นน.แห้ง โดยสาร PAHs ที่พบมากในอันดับต้นๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้ Phe (27.39%) > B[g,h,i]P (13.72%) > Pyr (8.34%) > Fluo (7.23%) > D[a,h]A (7.15%) (รูปที่ 3-3)



รูปที่ 3-3 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของระดับความเข้มข้น PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน จากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ในตะกอนดิน จากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

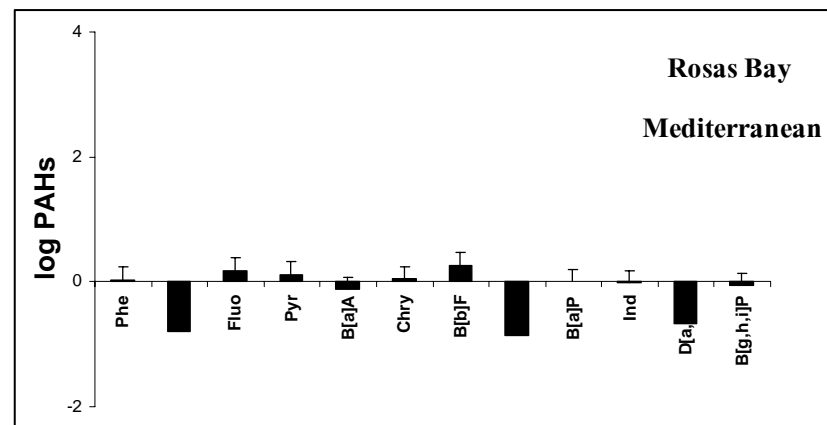
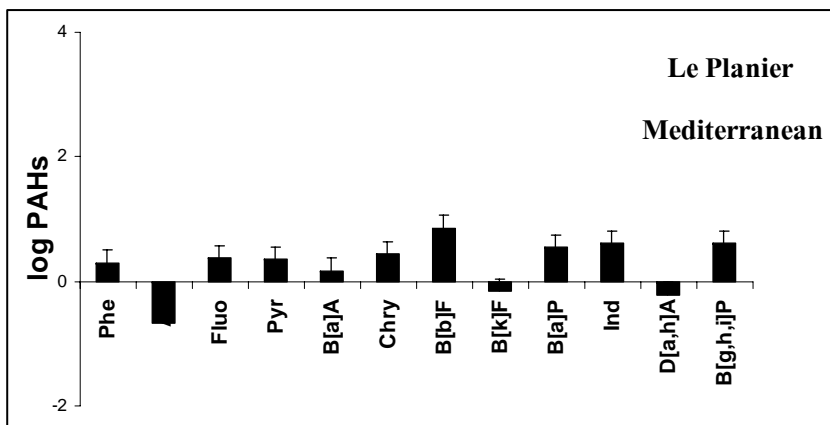
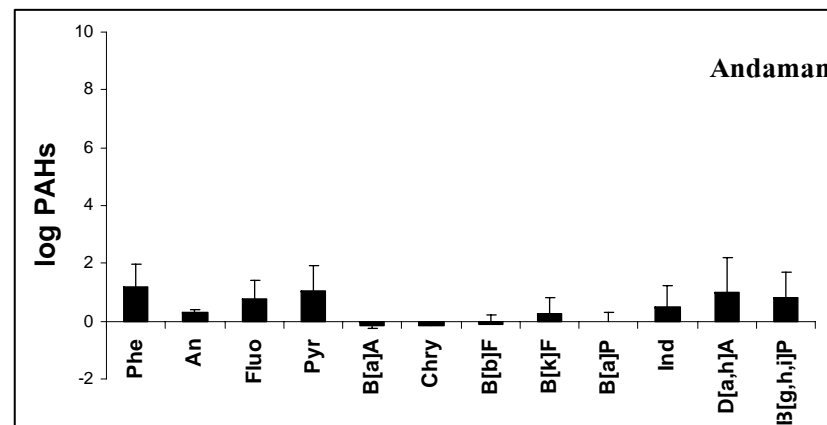
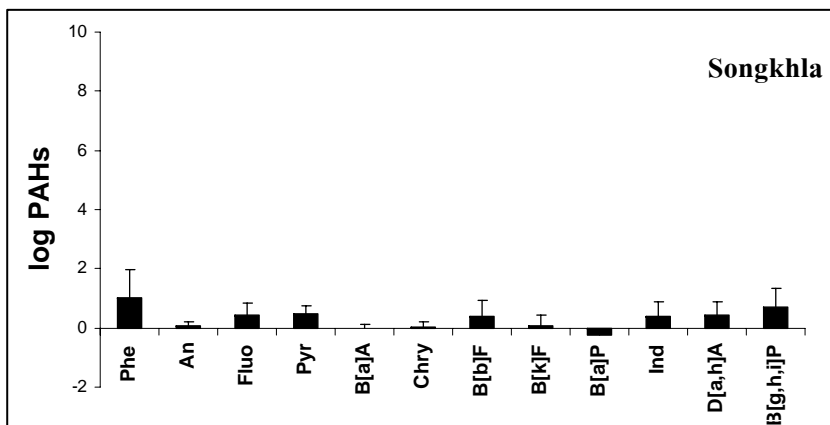
ในส่วนของนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา พบว่า Phe มีความเข้มข้นสูงสุด คือ อยู่ในช่วง 4.33 – 37.17 นนก./ก. นน.แห้ง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $15.77 \pm 6.19$  นนก./ก. นน.แห้ง รองลงมา คือ Pyr และ D[a,h]A มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $11.46 \pm 7.26$  และ  $9.52 \pm 17.42$  นนก./ก. นน.แห้ง ตามลำดับ โดยสาร PAHs ที่พบมากในอันดับต้นๆ สรุปได้ ดังนี้ Phe (24.47%) > Pyr (17.77%) > D[a,h]A (14.77%) > B[g,h,i]P (9.92%) > Fluo (9.60%) ดังรูปที่ 3-4



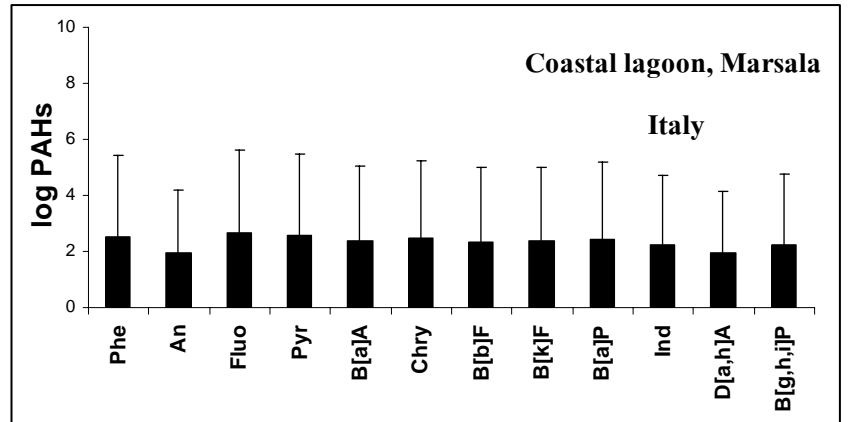
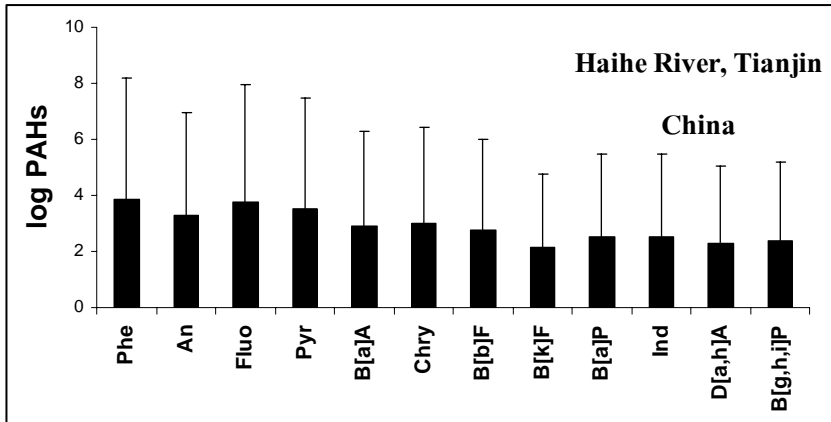
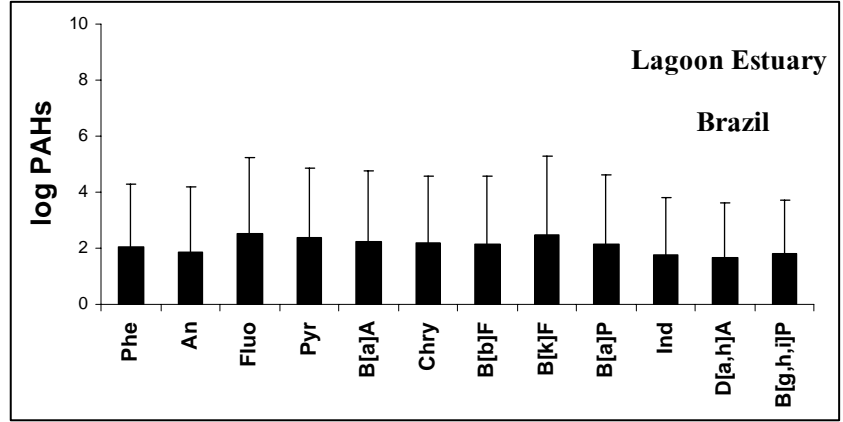
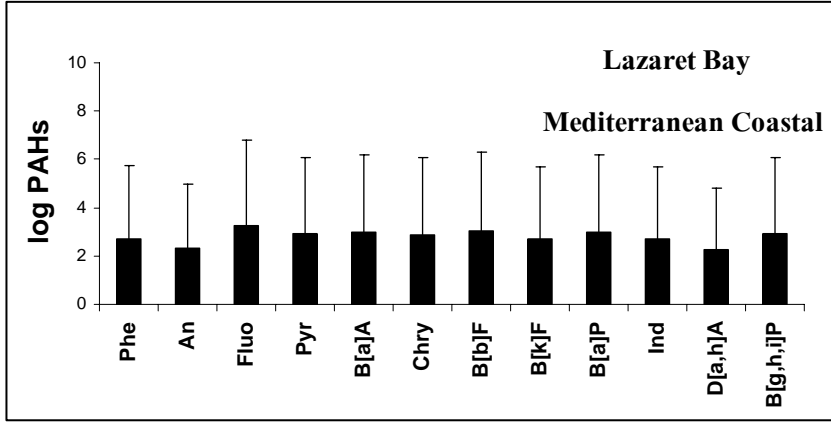
รูปที่ 3 - 4 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของระดับความเข้มข้น PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน จากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

เมื่อเปรียบเทียบชนิดและระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบจากพื้นที่ทะเลสาบสงขลาตอนนอก และ อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา พบว่าชนิดของสารที่มีความเข้มข้นสูงมีความคล้ายคลึงกัน โดยระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ส่วนใหญ่ มีค่าความเข้มข้นที่สูงกว่าทะเลสาบสงขลาตอนนอก อย่างไรก็ตาม กิจกรรมต่างๆ จากมนุษย์โดยรอบทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีความหนาแน่นมากกว่าอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงาอย่างชัดเจน แต่ระดับความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs และค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินทะเลสาบสงขลามีค่าต่ำกว่า น่าจะมีสาเหตุมาจากคลื่นยักษ์สึนามิเมื่อ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 พาเอาสาร PAHs ที่เกาะติดกับดินจากแผ่นดินมาสะสมรวมกับตะกอนดินผิวหน้านอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ

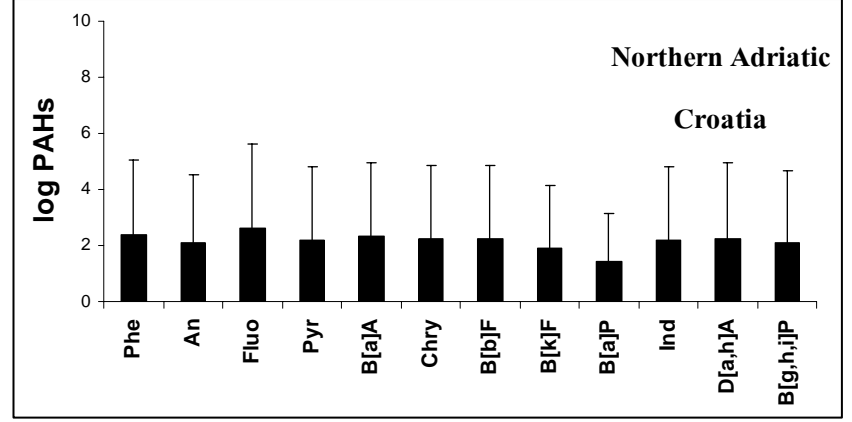
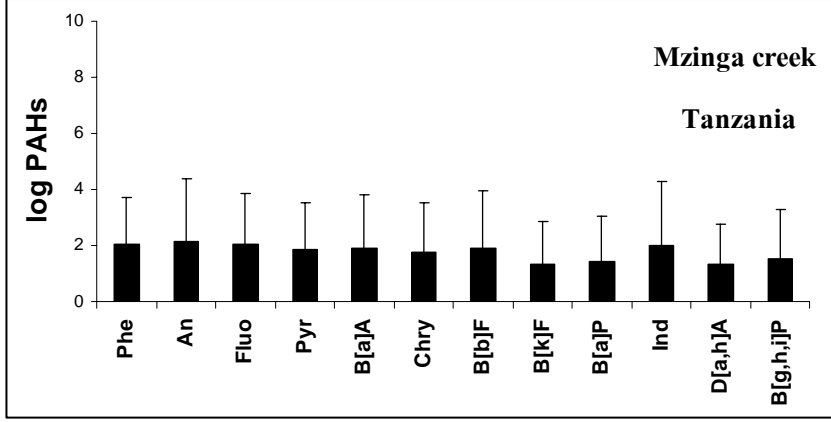
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดที่พบจากพื้นที่ศึกษากับพื้นที่อื่นๆ เช่นประเทศ จีน อิตาลี และบราซิล (Bixian *et al.*, 2001, Medeiros *et al.*, 2005 and Culotta L *et al.*, 2006) พบว่า ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดจากการศึกษาในครั้งนี้ยังมีค่าที่ต่ำกว่ามาก พื้นที่แหล่งอุตสาหกรรมซึ่งมีแหล่งกำเนิดสาร PAHs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ยกเว้นพื้นที่ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Baumard *et al.*, 1988) พบค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดมีค่าที่ต่ำกว่า และใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องมาจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เกาะอยู่ห่างออกไปในทะเล และเป็นพื้นที่ชนบท กิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่เป็นแหล่งก่อให้เกิดสาร PAHs มีน้อย ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดจึงมีค่าไม่สูง ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา และจากหลายพื้นที่ที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3-5 (ต่อ)



รูปที่ 3-5 (ต่อ)



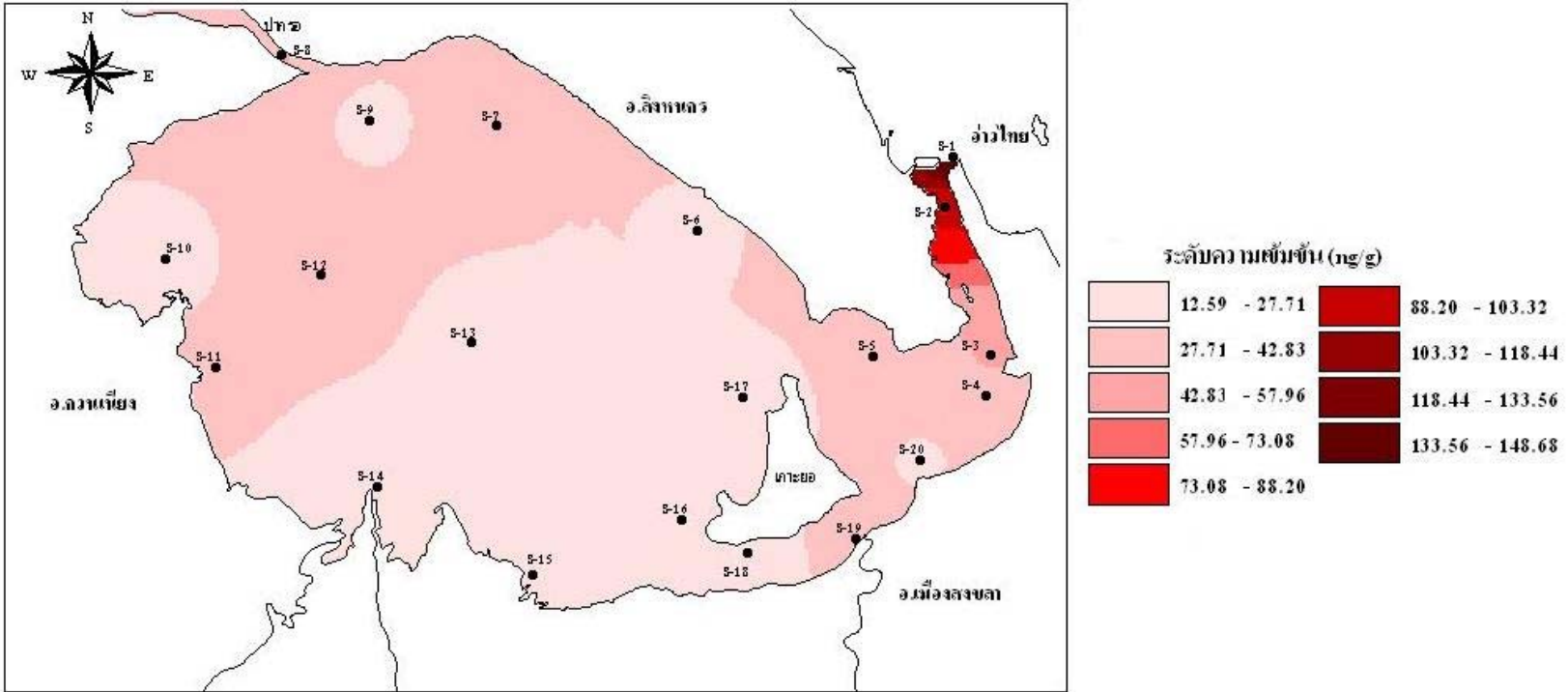
### 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs ในทะเลสาบสงขลาตอนนอก

ผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของสาร PAHs รวม มีความเข้มข้นสูงบริเวณสถานี S-1, S-2 และ S-3 ซึ่งเป็นบริเวณปากทะเลสาบสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยบริเวณดังกล่าวเป็นเส้นทางเข้าออกของเรือประมง เนื่องจากเป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกจึงมีเรือเข้าออกพลุกพล่าน และบริเวณนี้เป็นเส้นทางคมนาคมมีแพขนานยนต์ข้ามฟากรับส่งระหว่างชุมชนประมงบ้านหัวเขาแดง อำเภอสิงหนคร และแหลมสนอ่อน อำเภอเมือง นอกจากนี้ยังมีสถานีคลังน้ำมันอยู่บริเวณปากทะเลสาบสงขลา ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนผิวหน้าจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก เป็นไปในแนวทางเดียวกับความเข้มข้น PAHs รวม คือ มีค่าความเข้มข้นสูงที่บริเวณปากทะเลสาบสงขลาตอนนอก

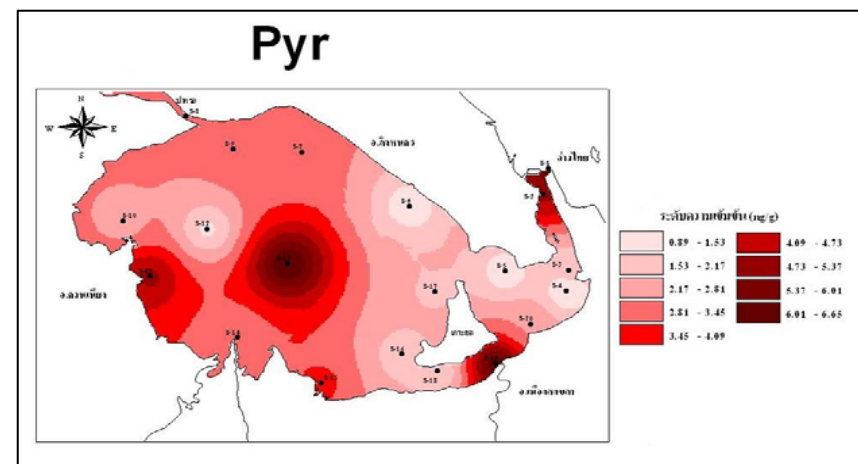
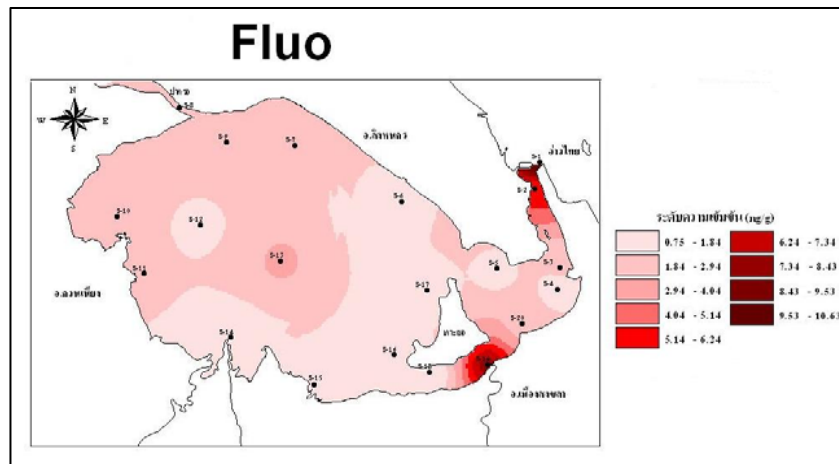
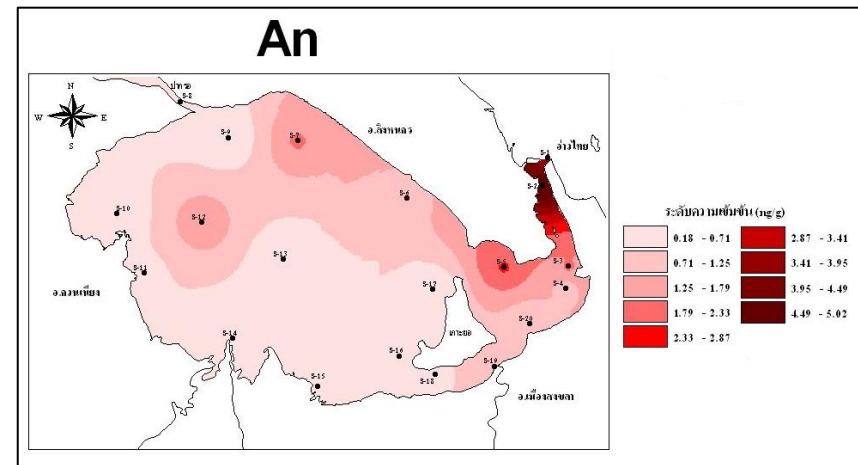
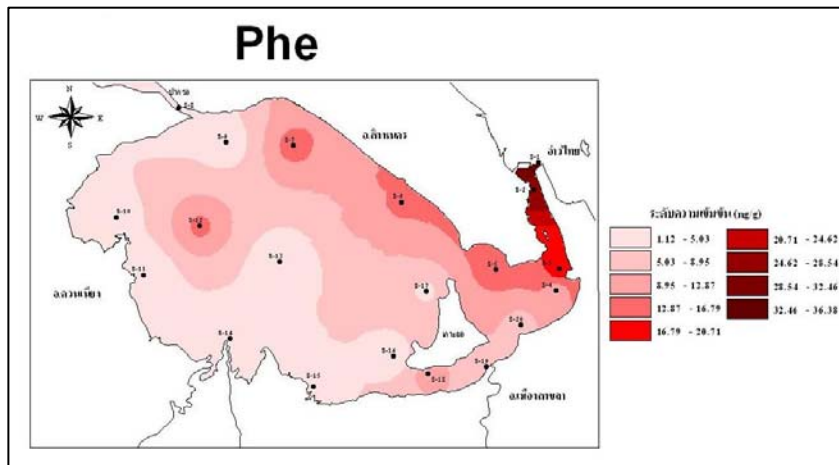
อย่างไรก็ตาม ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิด ก็มีลักษณะเด่นแตกต่างกันออกไป เช่น Fluo, Pyr และ 11H-B[a]F นอกจากมีความเข้มข้นสูงบริเวณปากทะเลสาบแล้ว ยังพบความเข้มข้นกระจายตัวสูงในบริเวณ สถานี S-5, S-19 และ S-20 เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-7 ซึ่งบริเวณดังกล่าวตั้งอยู่รอบบริเวณเกาะข่อยในทะเลสาบสงขลาตอนนอก พื้นที่รอบๆ มีการทำประมงขนาดเล็ก และการเพาะเลี้ยงปลาแบบกระชังอย่างหนาแน่น และยังตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือน้ำลึก จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากการรั่วไหลของน้ำมันเรือ ประกอบกับบริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นพื้นที่คอดเล็ก ตะกอนรอบพื้นที่ของทะเลสาบสงขลา จึงมีโอกาสตกสะสมบริเวณนี้ได้มาก

นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวที่มีลักษณะเด่นของ B[a]P, B[e]P, B[g,h,i]P, D[a,h]A และ Ind พบว่านอกจากความเข้มข้นกระจายตัวสูงในบริเวณปากทะเลสาบแล้วยังพบว่ามีค่าความเข้มข้นกระจายตัวสูงในบริเวณ S-9, S-10, S-11, S-12 และ S-15 ดังแสดงในรูปที่ 3-7 ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ใกล้เคียงที่เชื่อมต่อระหว่างคลองอู่ตะเภากับทะเลสาบสงขลาตอนนอก และเป็นบริเวณใกล้เคียงที่เชื่อมต่อระหว่าง บ้านป่ากรอ กับทะเลสาบสงขลาตอนนอก โดยสาร PAHs ส่วนใหญ่ที่พบในบริเวณนี้มีโครงสร้างเคมีเป็นวงแหวนเบนซิน 5-6 วง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งจะมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Wang *et al.*, 1995; Zeng and Vista, 1997) ดังนั้นพื้นที่บริเวณนี้นอกจากได้รับสาร PAHs จากการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงจากเรือประมงแล้ว ยังมีโอกาสได้รับสาร PAH จากน้ำเสียที่ปล่อยมาจากชุมชน (Gocht *et al.*, 2001; Qiao *et al.*, 1999) ของเมืองหาดใหญ่ที่ปล่อยผ่านคลองอู่ตะเภา ชุมชนโดยรอบทะเลสาบสงขลาตอนบนที่ไหลผ่านบ้านป่ากรอ และจากยานพาหนะที่มีอยู่โดยรอบทะเลสาบสงขลาและตัวเมืองหาดใหญ่

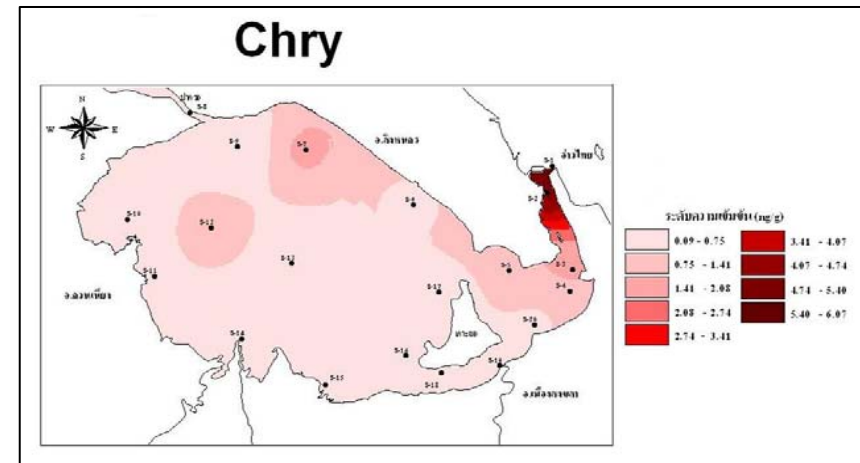
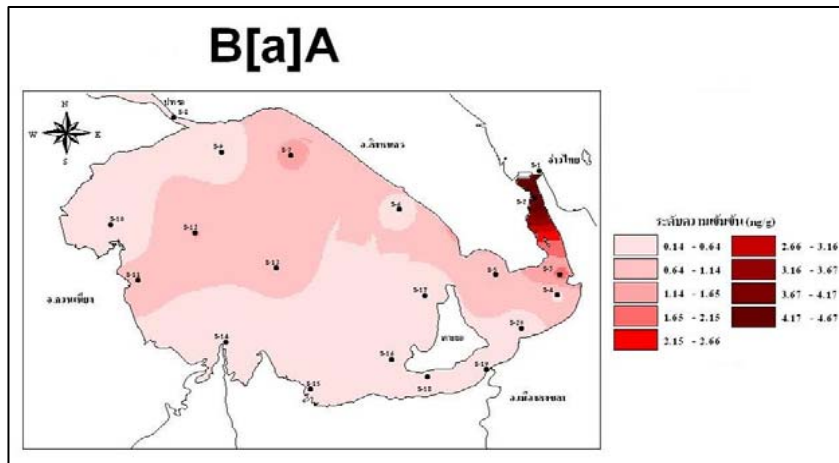
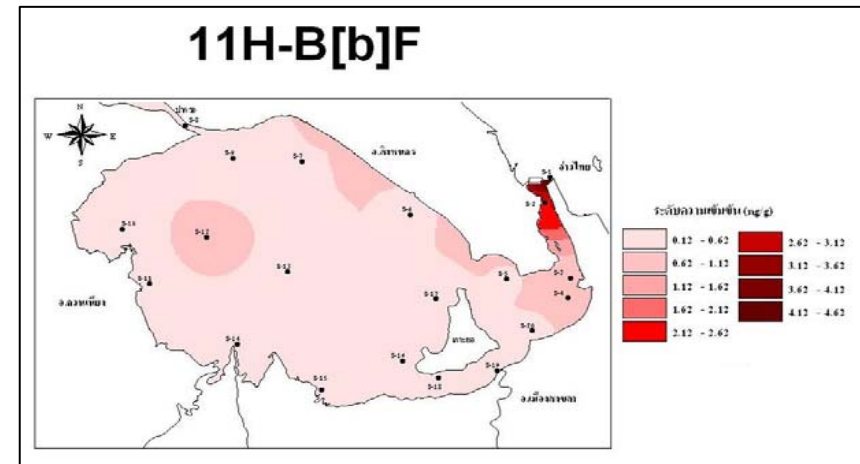
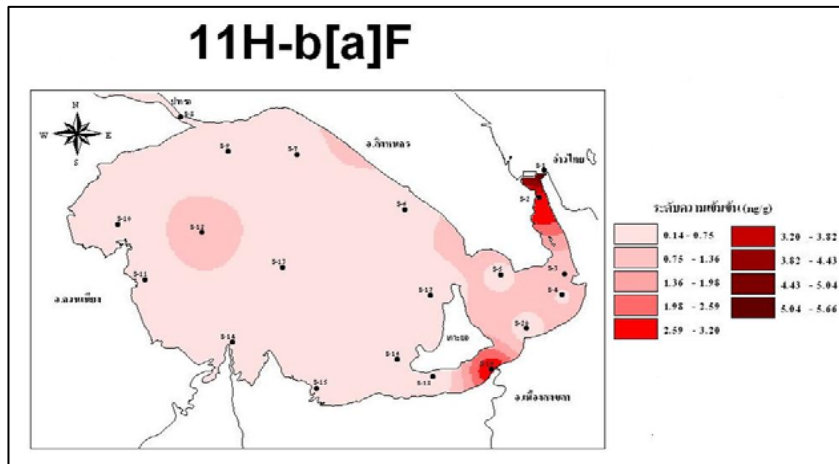
# Total PAHs



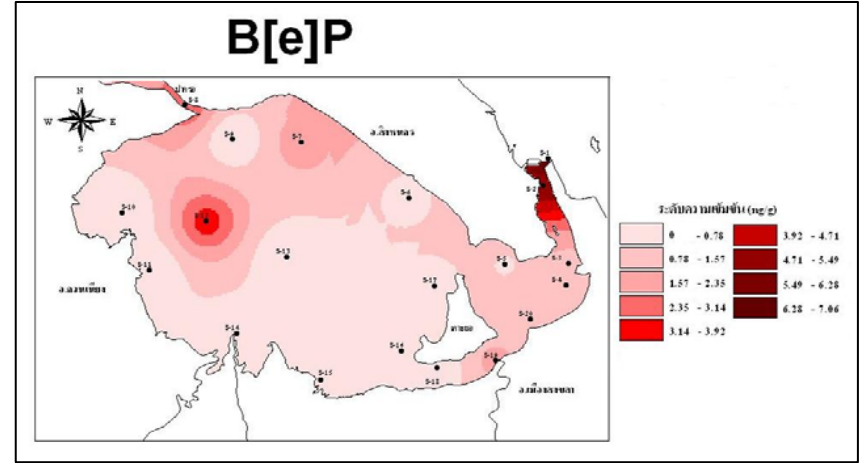
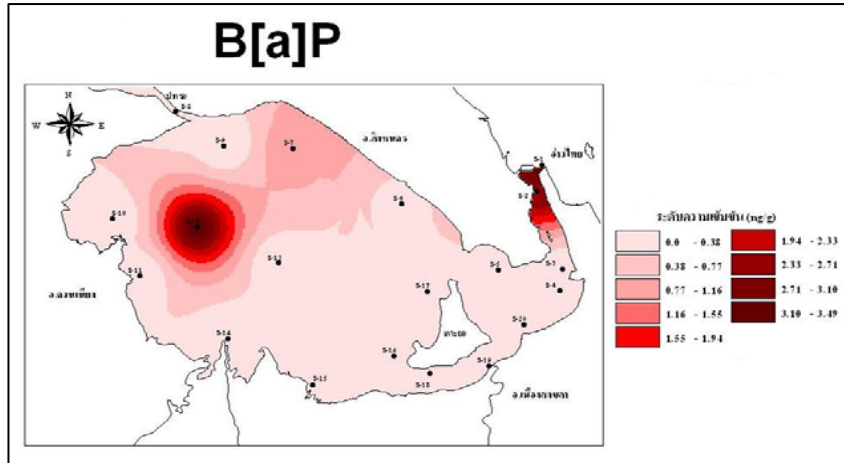
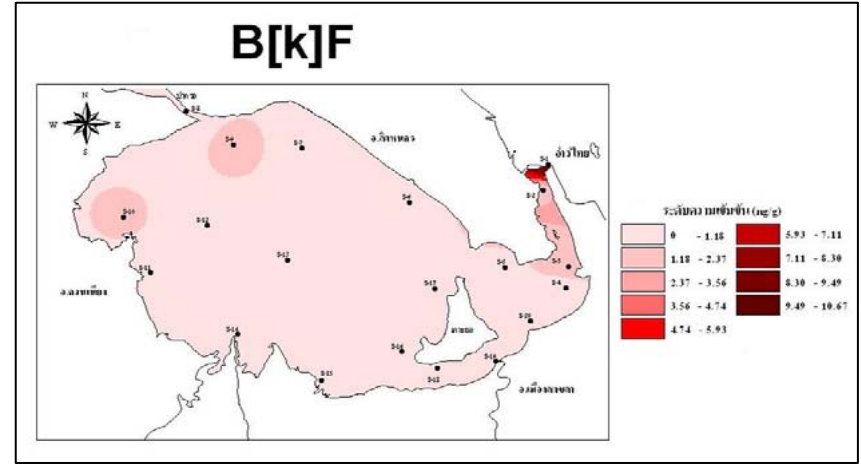
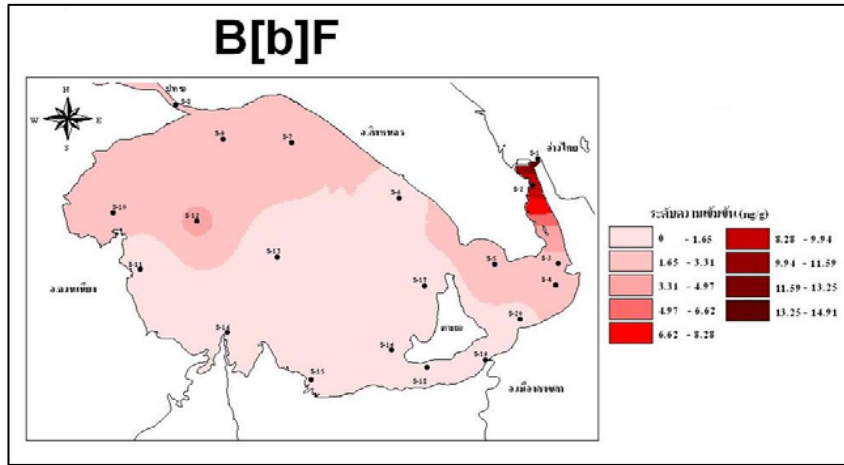
รูปที่ 3-6 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs รวม ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก



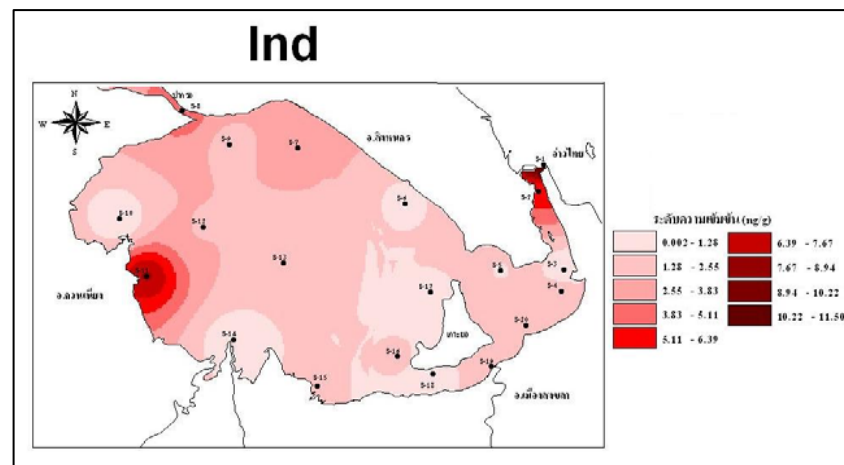
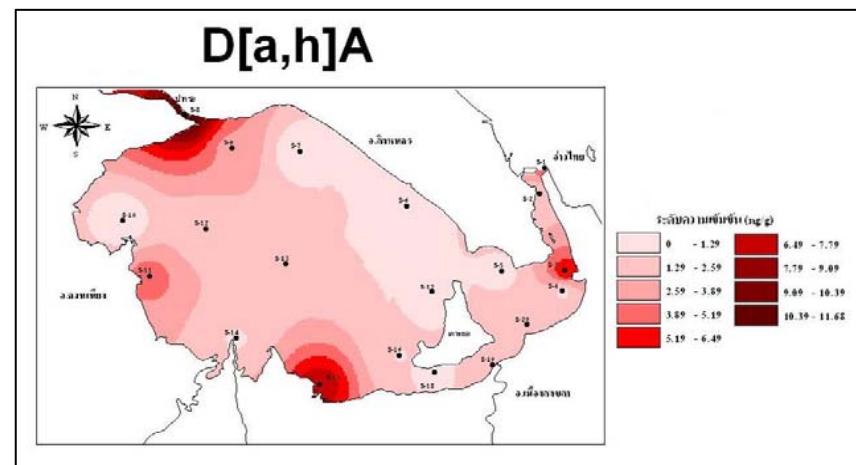
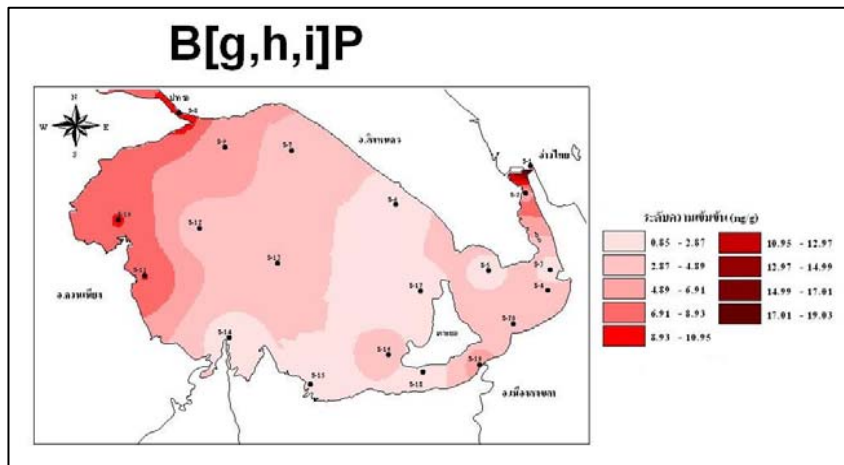
รูปที่ 3-7 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก



รูปที่ 3-7 (ต่อ)



รูปที่ 3-7 (ต่อ)

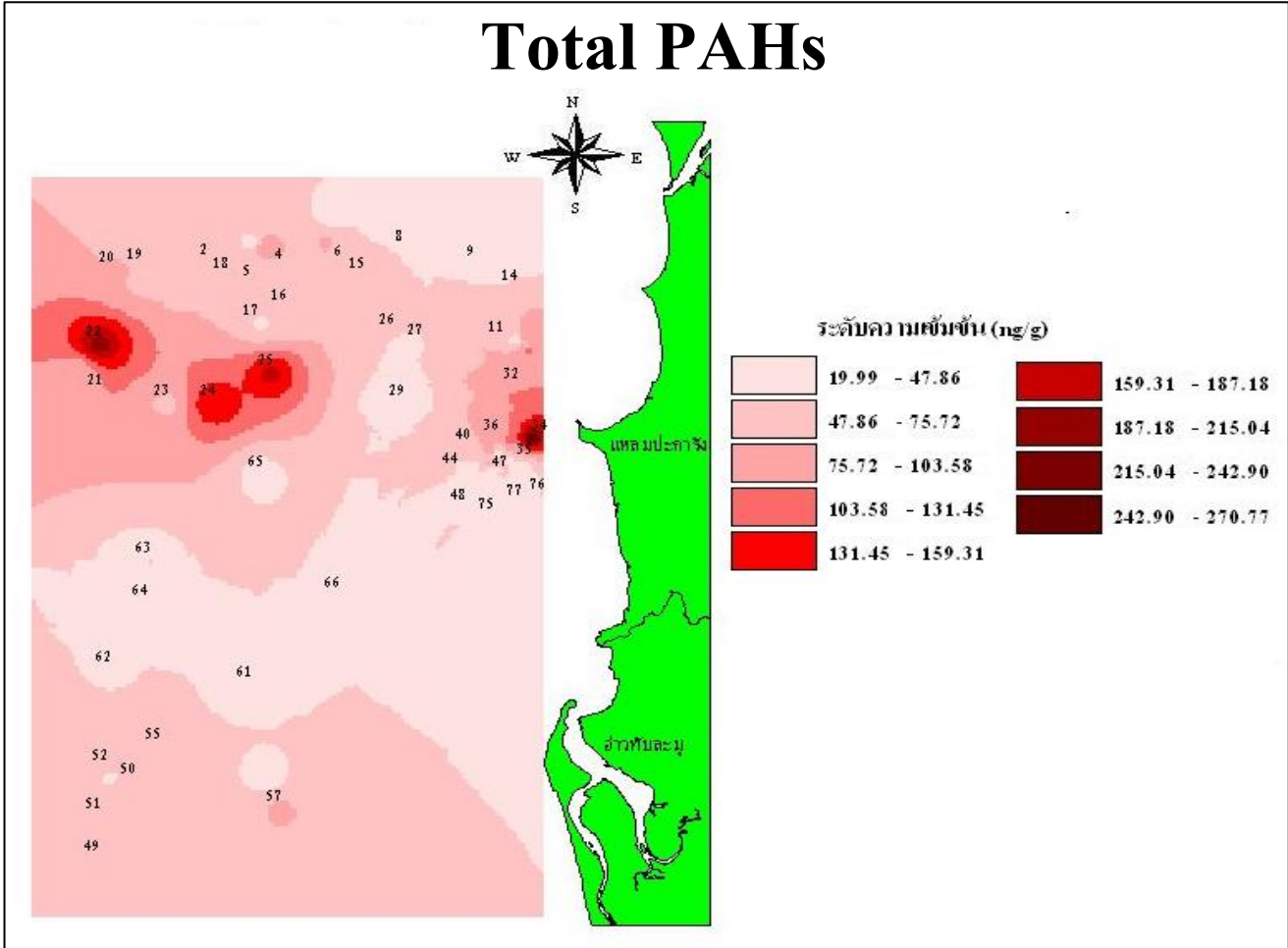


รูปที่ 3-7 (ต่อ)

### 3.6 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs ในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

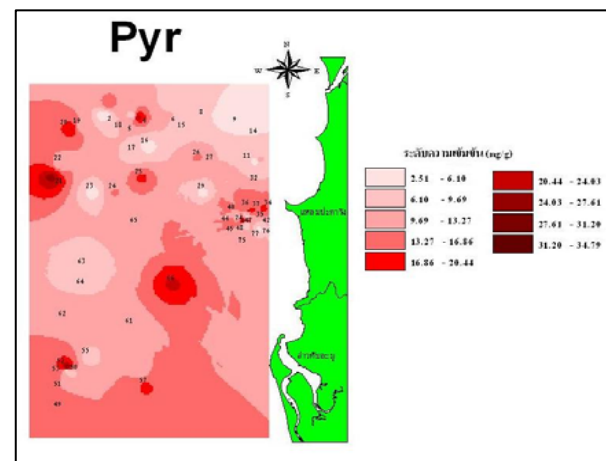
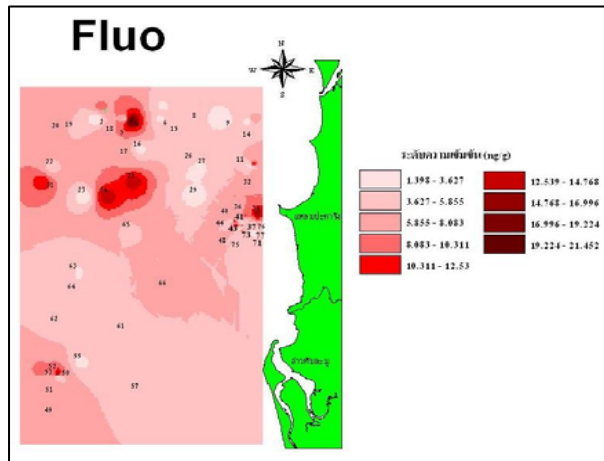
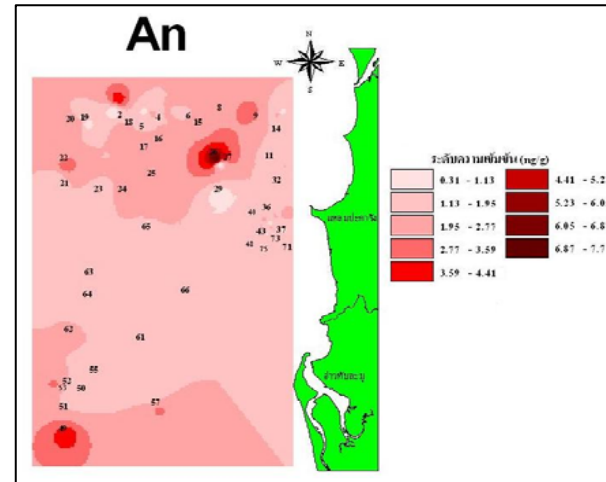
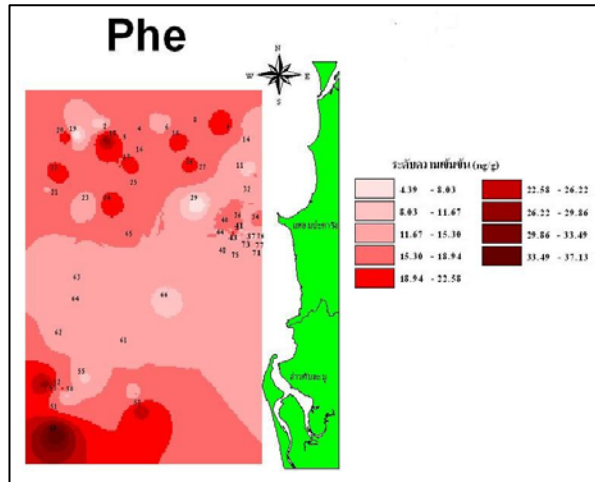
ผลการศึกษาระดับสาร PAHs ในบริเวณชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา พบสาร PAHs รวม มีค่าความเข้มข้นกระจายตัวสูงในสถานีเก็บตัวอย่างที่ตั้งอยู่บริเวณนอกชายฝั่งแหลมประการัง ดังแสดงในรูปที่ 3-8 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิด พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงในบริเวณนอกชายฝั่งแหลมประการัง อาจเป็นผลมาจากบริเวณดังกล่าวเป็นสถานีเก็บตัวอย่างที่อยู่ใกล้กับแผ่นดินมากที่สุด การได้รับสาร PAHs ที่มาจากแผ่นดินจึงมีมากกว่าบริเวณอื่น เช่น การได้รับสาร PAHs ที่เกาะติดมากับตะกอนดินที่ถูกชะล้างมาจากแผ่นดิน โดยพายุ และเหตุการณ์ฝนตกหนัก (Ashley *et al.*, 2008) ประกอบกับล่าสุดเกิดเหตุการณ์คลื่นสึนามิขึ้นในปี 2547 เป็นสาเหตุให้ตะกอนแผ่นดินถูกชะล้างลงสู่ทะเลจำนวนมาก ซึ่งบริเวณที่ทำการศึกษาคือเป็นแนวการไหลย้อนกลับของคลื่นสึนามิ (Siripong, 2006) ตะกอนจากแผ่นดินจะถูกพัดพาลงทะเลตามความแรงของคลื่น และตกสะสมอยู่ในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นลักษณะการกระจายตัวของ ความเข้มข้น PAHs รวม จึงกระจายตัวสูงอยู่ในบริเวณนอกแหลมประการังมากกว่าบริเวณอื่น

อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิด ยังมีลักษณะเด่นแตกต่างออกไป เช่น B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F และ B[a]P นอกจากจะพบความเข้มข้นกระจายตัวสูงบริเวณนอกชายฝั่งแหลมประการังแล้ว ยังพบอยู่ในบริเวณสถานี 2, 3, 4, 5, และ 16 เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3-9 เนื่องจากบริเวณสถานีดังกล่าวอาจเป็นบริเวณร่องแนวการไหลย้อนกลับของคลื่นสึนามิ (Schwarzer *et al.*, 2007) ซึ่งพัดพาตะกอนมาจากแผ่นดิน และเข้าปะทะกับเกาะบอนที่ตั้งอยู่บริเวณดังกล่าว ทำให้ตะกอนตกสะสมอยู่โดยรอบเกาะบอน คาดว่าสาร PAHs กลุ่มนี้มาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงบนแผ่นดินเป็นหลักโดยสาร PAHs ที่กล่าวมาข้างต้นส่วนใหญ่มีลักษณะทางโครงสร้างคล้ายคลึงกัน คือประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 4-6 วง สารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น จากไฟฟ้า และจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Page *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 1995; Yunker *et al.*, 2002 ; Zeng and Vista, 1997)

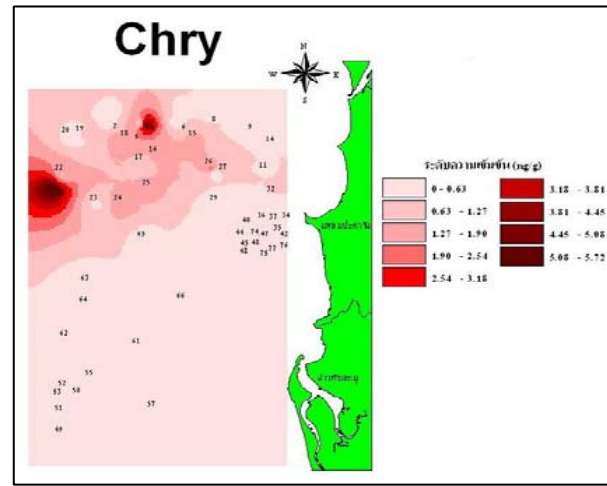
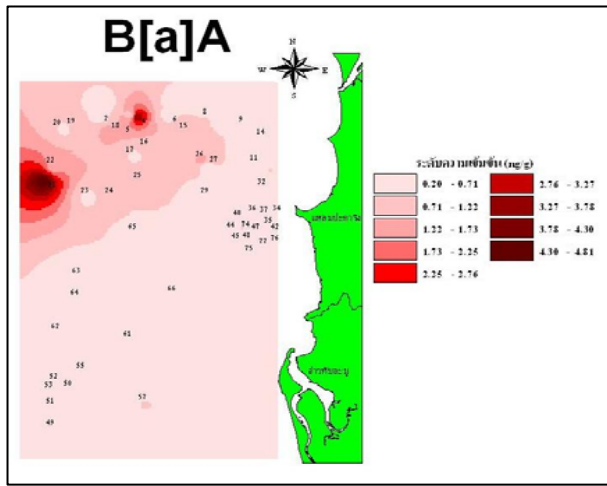
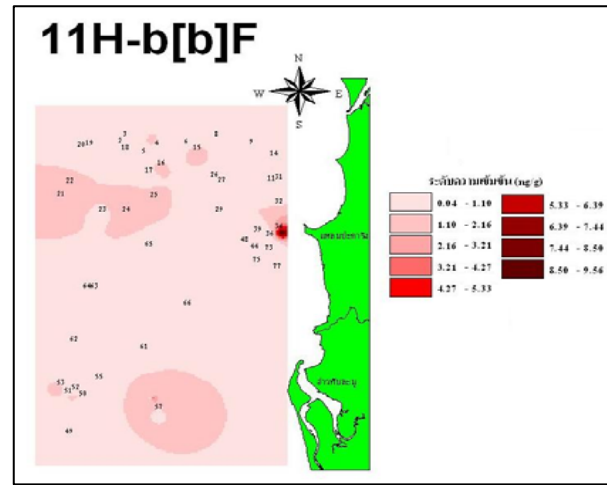
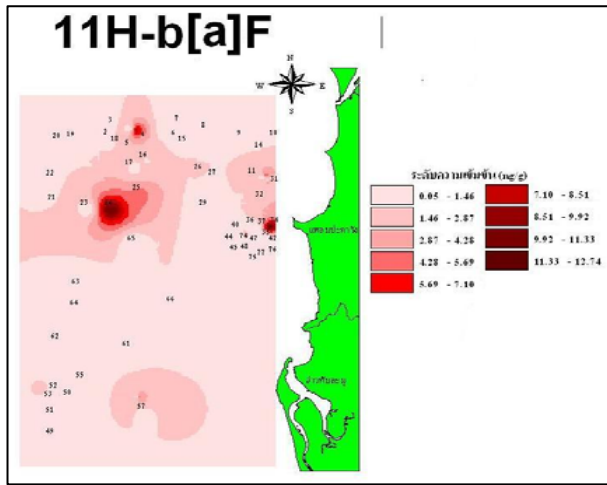


รูปที่ 3-8 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs รวม ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

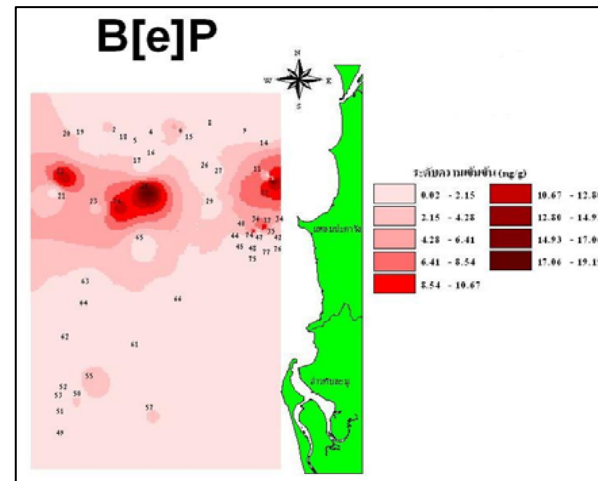
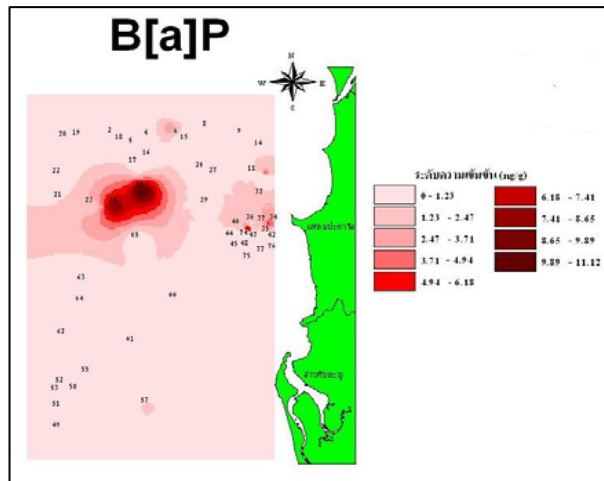
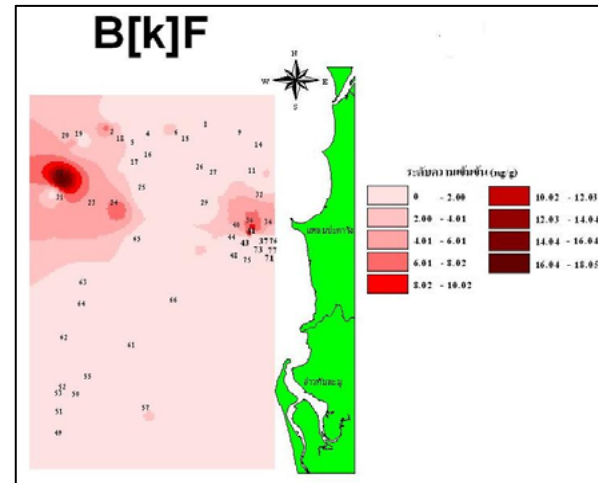
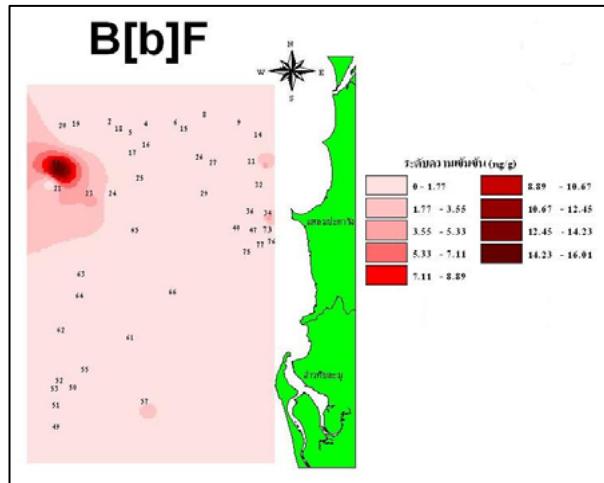




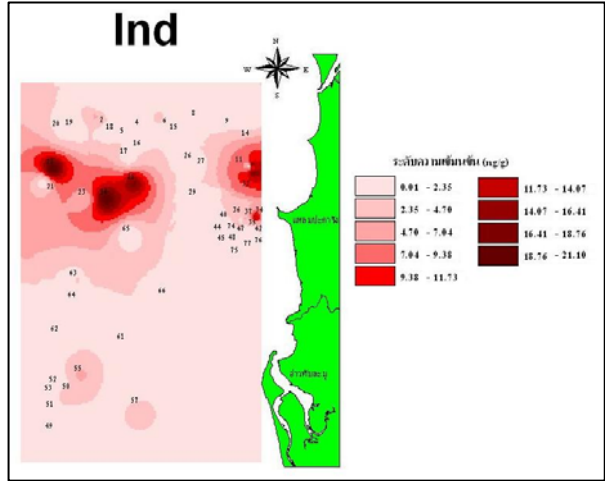
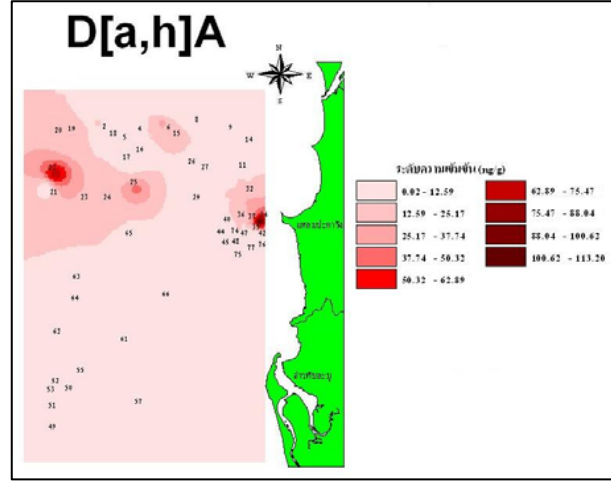
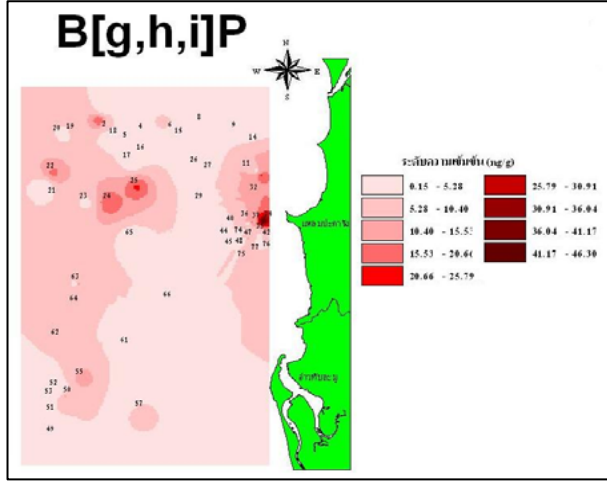
รูปที่ 3-9 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา



รูปที่ 3-9 (ต่อ)



รูปที่ 3-9 (ต่อ)



รูปที่ 3-9 (ต่อ)

นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวที่แตกต่างของ Phe, Fluo, An, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F ซึ่งนอกจากจะพบความเข้มข้นกระจายอยู่บริเวณแหลมปะการังแล้ว ยังพบอยู่ในบริเวณสถานีที่ 53, 55, 56, 56\_2, 57 และ 61 เป็นต้น ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 3-7 โดยสถานีบริเวณดังกล่าว เป็นแนวเดียวกับที่ตั้งของท่าเรือท่องเที่ยว ประมาณ 3-4 ท่าเรือ และยังเป็นที่ตั้งของฐานทัพเรือ จังหวัดพังงา โอกาสในการได้รับสาร PAHs รั่วไหลลงสู่ทะเล เกิดมาจากการรั่วไหลของน้ำมันเรือ และจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของเรือ ดังนั้นสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณนี้จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมได้มากกว่าบริเวณอื่น โดยสาร PAHs เหล่านี้มาจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันปิโตรเลียม หลังจากปนเปื้อนลงสู่ทะเลก็จะตกสะสมตัวลงสู่ตะกอน ซึ่งส่วนใหญ่ลักษณะเด่นของสาร PAHs ที่พบจะเป็นพวกสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Laflamme and Hites, 1978; Lake *et al.*, 1979)

### 3.7 แหล่งกำเนิดสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในทะเล สามารถจำแนกออกได้เป็นสองแหล่งคือ มาจากปิโตรเลียม (Petrogenic) และจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic) (Page *et al.*, 1999) สาร PAHs ที่มาจาก Petrogenic คือ สาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปิโตรเลียม หรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สาร PAHs ที่พบบ่อย ได้แก่ Phe, An และ Chry ซึ่งมีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2-4 วง ลักษณะเด่นของสารกลุ่มนี้จะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Laflamme and Hites, 1978; Lake *et al.*, 1979) ในส่วนของสาร PAHs ที่เกิดจาก Pyrogenic เช่น ถ่านหินหรือน้ำมัน และจากไฟไหม้ โดยส่วนใหญ่พบเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs มีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 3-5 วง สาร PAHs ที่พบบ่อยเช่น Fluo และ Pyr ลักษณะเด่นของสารกลุ่มนี้จะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Wang *et al.*, 1995; Zeng and Vista, 1997)

การหาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยวิเคราะห์จากอัตราส่วน An/An+Phe, Fluo/Fluo+Pry, B[a]A/B[a]A+Chry, Ind/Ind+B[g,h,i]P, Phe/An, Fluo/Pyr และ B[a]A/Chry จะสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ได้ว่ามาจาก Petrogenic หรือ Pyrogenic ตามค่าดัชนีที่กำหนดมาดังแสดงในตารางที่ 3-6 (Roggo *et al.*, 1993; Sire *et al.*, 1987; Yunker *et al.*, 2002)

ตารางที่ 3-6 อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด

อัตราส่วน	Pyrogenic	Petrogenic
An/An+Phe <sup>a</sup>	> 0.1	< 0.1
Fluo/Fluo+Pyr <sup>a</sup>	> 0.4	< 0.4
B[a]A/B[a]A+Chry <sup>b</sup>	> 0.35	< 0.2
Ind/Ind+B[g,h,i]P <sup>b</sup>	> 0.2	< 0.2
Phe/An <sup>c</sup>	< 10	> 15
B[a]A/Chry <sup>a,d</sup>	> 0.9	< 0.4
Fluo/Pyr <sup>c</sup>	> 1	< 1

An = Anthracene ; Phe = Phenanthrene; Fluo = Fluoranthene; Pyr = Pyrene; Chry = Chrysene;  
B[a]A = Benzo[a]anthracene; B [g,h,i]P = Benzo[g,h,i]perylene; Ind = Indeno[1,2,3-cd]pyrene

<sup>a</sup>Yunker *et al.* (2002)

<sup>b</sup>Roggo *et al.* (1993)

<sup>c</sup>Sicre *et al.* (1987); Steinhauer and Boehm. (1992); Budzinski *et al.* (1997); Baumard *et al.* (1998)

<sup>d</sup>Gschwend and Hites. (1981)

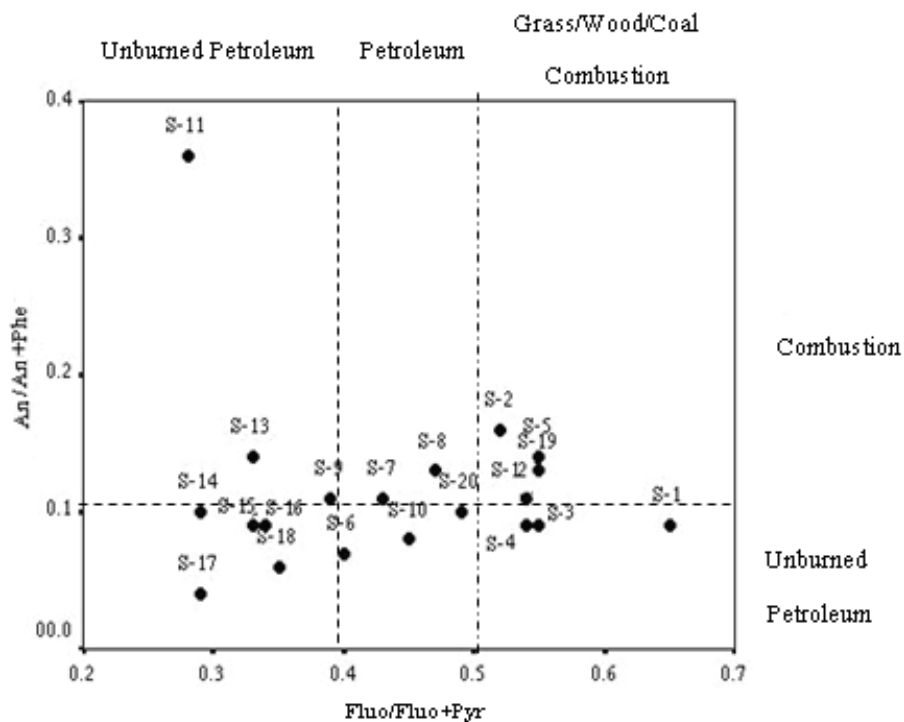
### 3.7.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก

จากการวิเคราะห์อัตราส่วน เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลา พบว่าสาร PAHs ในบริเวณดังกล่าว มีแหล่งกำเนิด มาจาก 2 แหล่ง คือจากปิโตรเลียม (petrogenic) และจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาร PAHs ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วน An/An+Phe และ Fluo/Fluo+Pyr บ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่พบในตะกอนดิน เกิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และการปนเปื้อนจากปิโตรเลียม ดังแสดงในรูปที่ 3-10 ประกอบกับการศึกษาอัตราส่วน B[a]A/B[a]A + Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P ผลที่ได้บ่งชี้ค่อนข้างชัดเจน คือ แหล่งกำเนิดสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3-10 ข

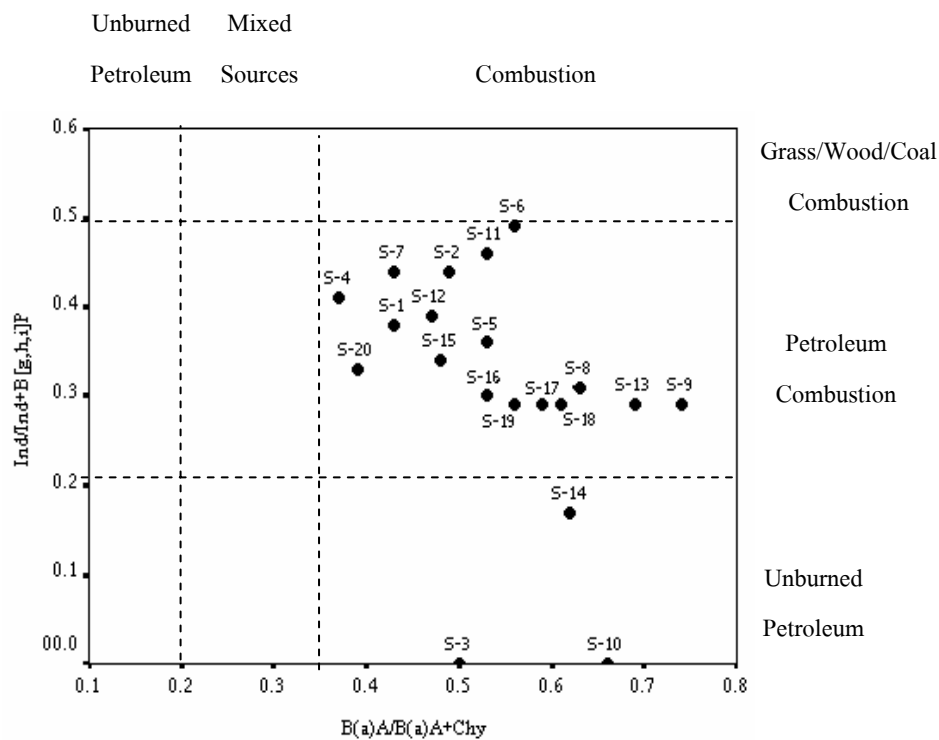
โดยยกตัวอย่างการพิจารณาแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้สถานีส-1 ในทะเลสาบสงขลาตอนนอก จากการพิจารณามีค่าอัตราส่วน An/An+Phe เท่ากับ 0.09 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.1 แสดงให้เห็นว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic ในทางตรงกันข้ามการพิจารณาอัตราส่วน Fluo/Fluo+Pyr, B[a]A/B[a]A + Chry ,Ind/Ind+B[g,h,i]P และ Phe/An พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.65, 0.43, 0.38 และ 9.58 ตามลำดับ พบว่าทุกอัตราส่วนแสดงให้เห็นแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสถานีส-1

จากทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีแหล่งกำเนิดจาก pyrogenic เป็นหลัก และจากการพิจารณา แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในทุกสถานีเก็บตัวอย่างจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ในลักษณะเดียวกับสถานี S-1 คือพิจารณาผลจากการวิเคราะห์อัตราส่วนทั้ง 7 อัตราส่วน ทำให้สามารถแบ่ง การศึกษาครั้งนี้ออกเป็นสองบริเวณ คือ บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจาก pyrogenic ได้แก่สถานี S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-9, S-10, S-11, S-12, S-13, S-14, S-19 และ S-20 และบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักของ สาร PAHs มาจาก petrogenic ได้แก่ สถานี S-15, S-16, S-17 และ S-18 ดังแสดงค่ารายละเอียดของค่าอัตราส่วนดังตารางที่ 3-7

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคในบริเวณ ทะเลสาบสงขลาตอนนอกมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ใน บริเวณนี้คาดว่าน่าจะมาจากการใช้เชื้อเพลิงของเรือที่สัญจรเข้าออกระหว่างทะเลสาบสงขลา กับ พื้นที่อ่าวไทย เรือเฟอร์รี่รับส่งระหว่างชุมชนประมงบ้านหัวเขาแดง อำเภอสิงหนคร และแหลมสน อ่อน อำเภอเมือง และมาจากควันเสียจากยานพาหนะที่สัญจร โดยรอบ รวมทั้งควันเสียที่มาจาก แหล่งชุมชนบ้านหัวเขาแดง และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วของเรือลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งกำเนิด รองลงมาคือ petrogenic มาจากการรั่วไหลของน้ำมันเรือ การล้างเรือ การปล่อยน้ำทิ้งที่มีคราบน้ำมัน เกาะติดลงสู่แหล่งน้ำในบริเวณท่าเรือน้ำลึก และการรั่วไหลของคลังน้ำมันเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึก



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-10 ไอโซเมอร์อัตราส่วนของ (ก)  $An/(An+Phe)$  และ  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  และ (ข)  $B(a)A/B(a)A+Chry$  และ  $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$  ในตะกอนดินจากสถานีต่างๆในทะเลสาบสงขลาตอนนอก



ตารางที่ 3-7 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fluo/ (Fluo+ Pyr)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Phe/An	Fluo/Pyr	B[a]A/Chry
S-1	O	X	X	X	X	X	X
S-2	X	X	X	X	X	X	X
S-3	O	X	X	X	O	X	X
S-4	O	X	X	X	O	X	O
S-5	X	X	X	X	X	X	X
S-6	O	X	X	X	O	O	X
S-7	X	X	X	X	X	O	O
S-8	X	X	X	X	X	O	X
S-9	X	O	X	X	X	O	X
S-10	O	X	X	X	O	O	X
S-11	O	O	X	X	X	O	X
S-12	X	X	X	X	X	X	X
S-13	X	O	X	X	X	O	X
S-14	X	O	X	O	X	O	X
S-15	O	O	X	X	O	O	X
S-16	O	O	X	X	O	O	X
S-17	O	O	X	X	O	O	X
S-18	O	O	X	X	O	O	X
S-19	X	X	X	X	X	X	X
S-20	X	X	X	X	X	O	O

หมายเหตุ N.D = not detected; X = Pyrogenic origin; O = Petrogenic origin

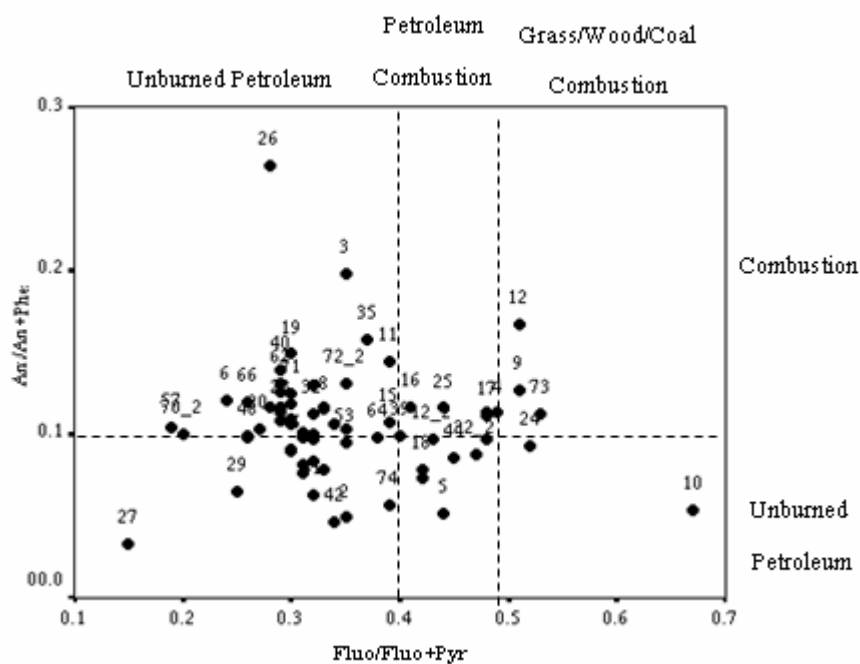
### 3.7.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์อัตราส่วน An/An+Phe และ Fluo/Fluo+Pyr พบว่าสาร PAHs จากตะกอนดินในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา มีแหล่งกำเนิด มาจาก 2 แหล่งเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลจากการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วน An/An+Phe บ่งชี้ให้เห็นว่าการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นสาเหตุหลักของสาร PAHs ที่พบในตะกอนดินบริเวณอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ในทางตรงกันข้าม ผลจากการ

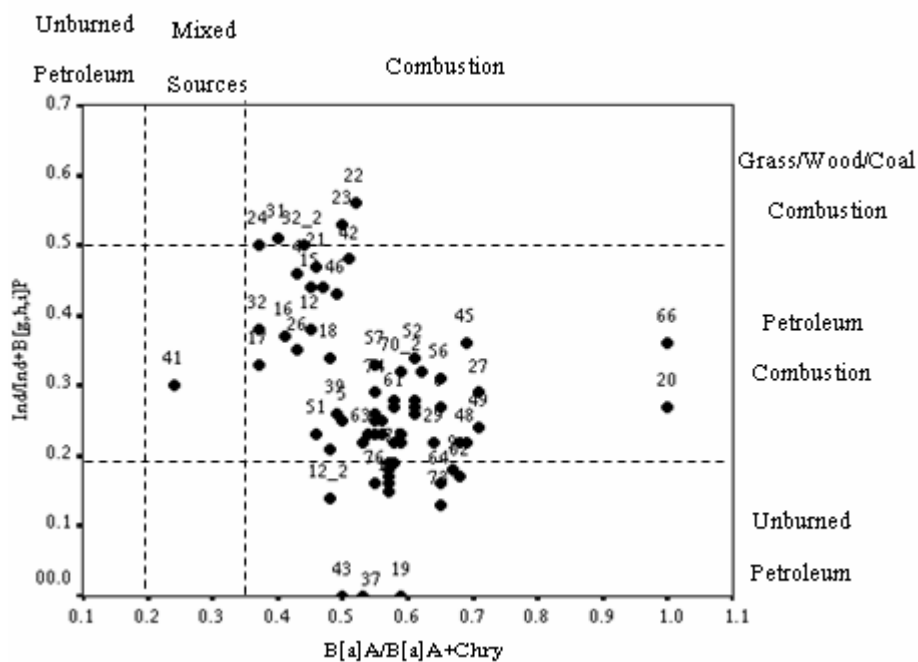
วิเคราะห์อัตราส่วน Fluo/Fluo+Pyr พบว่าสาร PAHs ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากปิโตรเลียม รองลงมาคือจากการเผาไหม้ ซึ่งผลจากอัตราส่วน An/An+Phe และ

Fluo/Fluo+Pyr พบว่า สาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นั้น เกิดมาจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3-11 นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์อัตราส่วน B[a]A/B[a]A + Chry และ Ind/Ind+B[g,h,i]P ก็แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-11 ข

ยกตัวอย่างการพิจารณาแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้ สถานี 34 ในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา จากการพิจารณาอัตราส่วน An/An+Phe พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.11 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.1 แสดงให้เห็นว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic โดยสอดคล้องกับอัตราส่วน Fluo/Fluo+Pyr, B[a]A/B[a]A+Chry, Ind/Ind+B[g,h,i]P และ Phe/An ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.48, 0.54, 0.23 และ 7.84 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic เช่นกัน ดังนั้นจากการที่พิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยพิจารณาทุกอัตราส่วนพบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่สถานี 34 มาจาก pyrogenic เป็นหลัก และจากการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ทุกสถานีในอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ในลักษณะเดียวกันกับสถานีที่ 34 คือพิจารณาผลการวิเคราะห์ทั้ง 7 อัตราส่วน ทำให้สามารถแบ่งพื้นที่ที่ได้รับสาร PAHs จากแหล่งกำเนิดที่ต่างกันได้เป็นสองบริเวณ คือ บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจาก petrogenic ได้แก่สถานี 2, 21, 26, 27, 32\_2, 41, 42, 44, 46, 52, 74, 75, 76 และสถานีนอกเหนือจากที่กล่าวมาเป็นบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักสาร PAHs มาจาก pyrogenic



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-11 ไอโซเมอร์อัตราส่วนของ (ก)  $An/(An+Phe)$  และ  $Fluo/Fluo+Pyr$  และ (ข)  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  ในตะกอนดินจากสถานีต่างๆในอ่าวท่าละมู จังหวัดพังงา

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องมาจากบริเวณที่ทำกรเก็บตัวอย่าง ตะกอนดินเป็นพื้นที่บริเวณชายฝั่งโดยมีระยะห่างจากฝั่งออกไปประมาณ 5 กิโลเมตร ชายฝั่ง โดยรอบมีกิจกรรมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงของมนุษย์มาจากหลายแหล่ง เช่น การคมนาคมทางบก และทางน้ำ กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในโรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร ท่าเทียบเรือ และบางส่วนมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเรือประมง และเรือท่องเที่ยว โดยสาร PAHs ที่ถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้น บรรยากาศและเกาะติดอยู่กับอนุภาคจะถูกชะล้างสู่ทะเลด้วยน้ำฝน น้ำค้าง นอกจากนี้สาร PAHs จะตกลงสู่ทะเลจากแรงดึงดูดของโลก หลังจากนั้นจะตกลงสู่ตะกอนดินในที่สุด และจากการที่บริเวณ อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เคยเกิดเหตุการณ์สึนามิขึ้นในปี พ.ศ. 2547 เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่พัดพาสาร PAHs ที่ตกสะสมอยู่บริเวณแผ่นดินมาทับตะกอนดินขณะเกิดคลื่นไหลย้อนกลับทำให้สาร PAHs ลงมาสะสมตัวอยู่บริเวณชายฝั่งที่มีการไหลย้อนกลับของคลื่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3-8 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าว  
ทับละมุ จังหวัดพังงา (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fluo/ (Fluo+ Pyr)	B(a)A/ (B[a]A+Chry)	ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Phe/An	Fluo/Pyr	B[a]A/Chry
2	O	O	X	X	O	O	X
3	X	O	X	X	X	O	X
4	X	X	X	X	X	O	O
5	O	X	X	X	O	O	X
6	X	O	X	X	X	O	X
7	X	O	X	X	X	O	X
8	X	O	X	X	X	O	X
9	X	X	X	O	X	X	X
10	O	X	X	O	O	X	X
11	X	O	X	X	X	O	X
12a	X	X	X	X	X	X	X
12b	X	X	X	O	X	O	X
14	X	O	X	X	X	O	X
15	X	O	X	X	X	O	O
16	X	X	X	X	X	O	O
17	X	X	X	X	X	O	O
18	O	X	X	X	O	O	X
19	X	O	X	ND.	X	O	X
20	X	O	X	X	X	O	ND.
21	O	O	X	X	O	O	O
22	X	O	X	X	X	O	X
23	X	O	X	X	X	O	X
24	O	X	X	X	X	X	O
25	X	X	X	X	X	O	O
26	X	O	X	X	X	O	O
27	O	O	X	X	O	O	X
29	O	O	X	X	O	O	X
31	X	X	X	X	X	O	O
32	X	O	X	X	X	O	O
32d	O	X	X	X	O	O	O
34	X	X	X	X	X	O	X
35	X	O	X	X	X	O	X
36	X	O	X	X	X	O	X
37	X	O	X	mix	X	O	X
39	X	X	X	X	X	O	X

หมายเหตุ N.D = not detected; X = Pyrogenic origin; O = Petrogenic origin

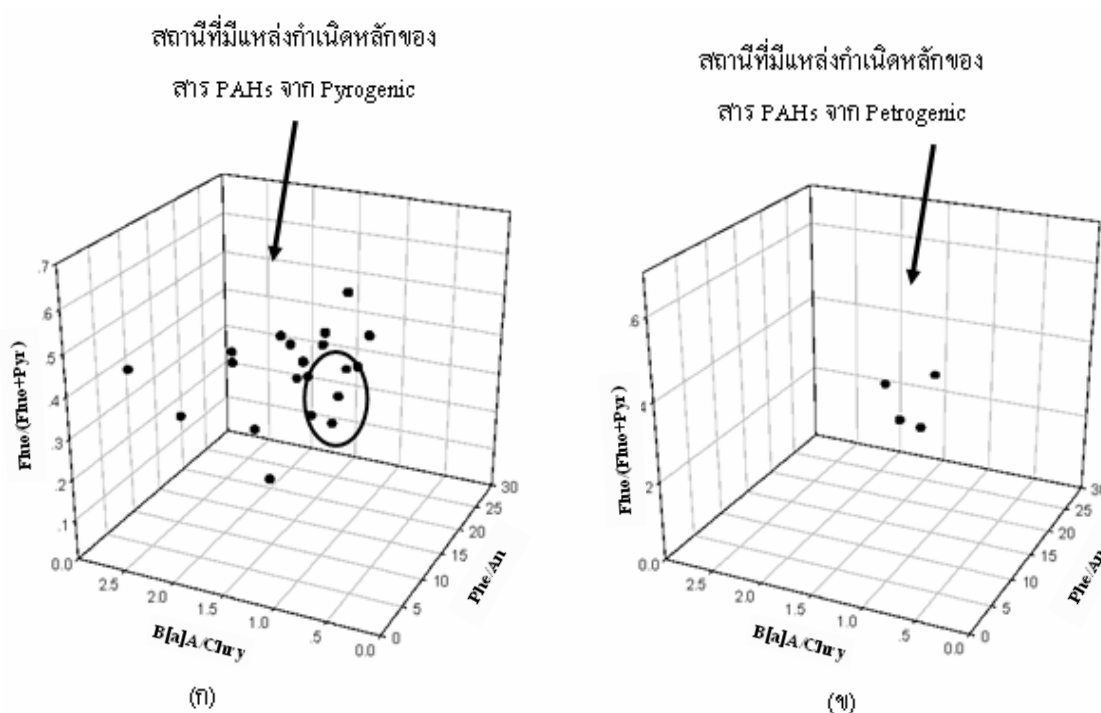
ตารางที่ 3-8 (ต่อ)

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fluo/ (Fluo+ Pyr)	B(a)A/ (B[a]A+Chry)	ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Phe/An	Fluo/Pyr	B[a]A/Chry
40	X	O	X	X	X	O	X
41	O	O	mix	X	O	O	O
42	O	O	X	X	O	O	X
43	O	X	X	mix	O	O	X
44	O	X	X	O	O	O	X
45	O	O	X	X	X	O	X
46	O	O	X	X	O	O	X
47	X	O	X	X	X	O	X
48	X	O	X	X	X	O	X
49	X	O	X	X	X	O	X
50	X	X	X	X	X	O	X
51	X	O	X	X	X	O	O
52	O	O	X	X	O	O	X
53	O	O	X	X	X	O	X
55	X	O	X	X	X	O	X
56	X	O	X	X	X	O	X
56 2	X	O	X	X	X	O	X
57	X	O	X	X	X	O	X
61	X	O	X	X	X	O	X
62	X	O	X	O	X	O	X
63	X	O	X	X	X	O	X
64	X	O	X	O	X	O	X
65	X	O	X	X	X	O	X
66	X	O	X	X	X	O	ND.
69	X	O	X	O	X	O	X
70	X	O	X	O	X	O	X
70 2	X	O	X	X	X	O	X
71	X	O	X	O	X	O	X
72	X	O	X	O	X	O	X
72 2	X	O	X	X	X	O	X
73	X	X	X	O	X	X	X
74	O	O	X	X	O	O	X
75	O	O	X	O	O	O	X
76	O	O	X	O	O	O	X
77	X	O	X	X	X	O	X

หมายเหตุ N.D = not detected; X = Pyrogenic origin; O = Petrogenic origin

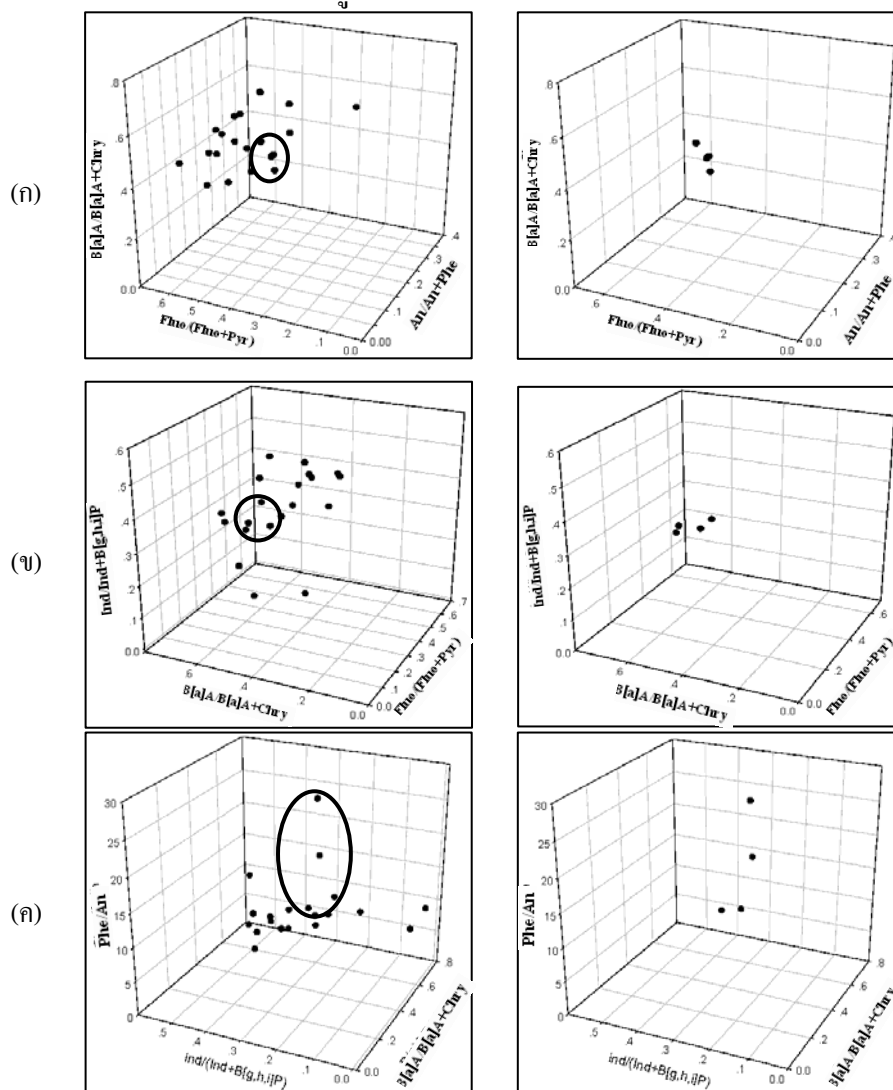
### 3.7.3 ลักษณะของแหล่งกำเนิดสาร PAHs

ผลจากการศึกษาค่าอัตราส่วนเพื่อบ่งบอกแหล่งที่มาของสาร PAHs ซึ่งพบว่า แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อนำค่าอัตราส่วนที่ได้จากการศึกษามาแสดงผลในรูป 3 มิติ โดยใช้ sigma plot ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P พบว่าสาร PAHs ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีรูปแบบการกระจายตัวของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และจากปิโตรเลียมแยกกลุ่มกันค่อนข้างชัดเจน (รูปที่ 3-12 ก) ส่วนสถานีที่ S-15, S-16, S-17 และ S-18 มีแหล่งกำเนิดสาร PAHs จากปิโตรเลียมเป็นหลัก (รูปที่ 3-12 ข)



รูปที่ 3-12 รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ BaA/BaP ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic บริเวณสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอก

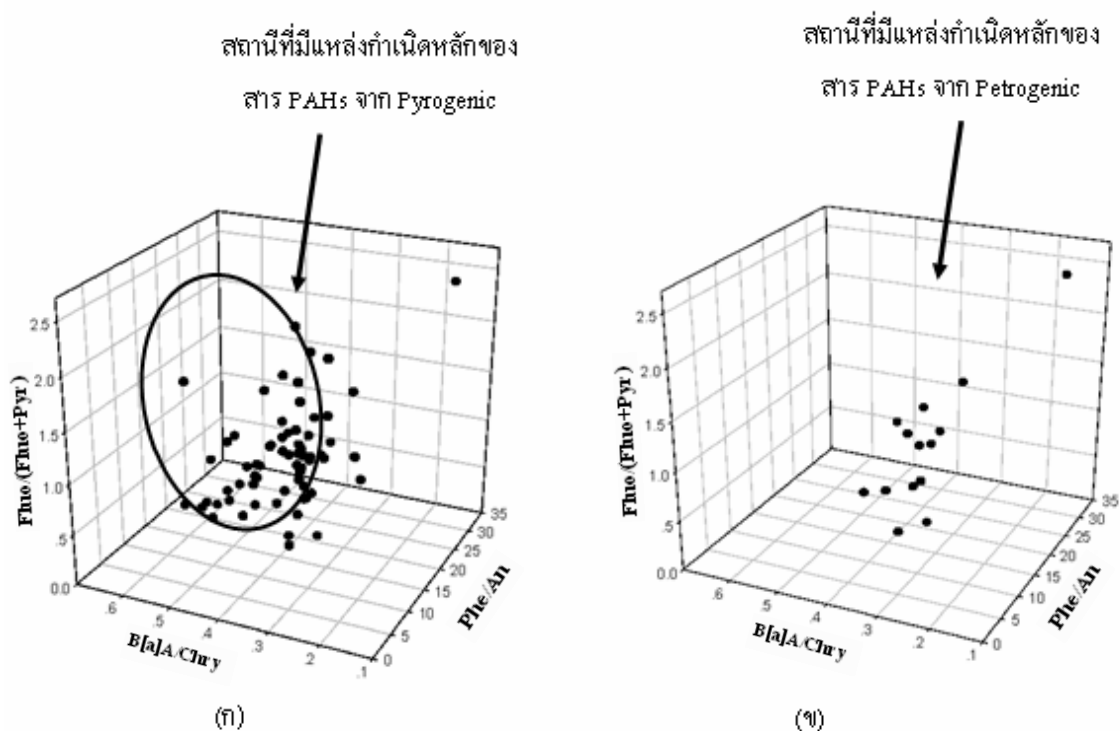
จากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน  $An/(An+Phe)$ ,  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  และ  $B[a]A/B[a]A+Chry$  สัดส่วน  $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ,  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  สูดท้ายคือ สัดส่วนระหว่าง  $B[a]A/B[a]A+Chry$ ,  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  และ  $Phe/An$  โดยใช้ sigma plot (รูปที่ 3-13) พบการกระจายตัวของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากปิโตรเลียมแยกกลุ่มออกจากสถานีอื่นค่อนข้างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับกราฟแสดงแหล่งที่มาของสาร PAHs ดังแสดงในรูปที่ 3-11 ดังนั้นกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอกนั้นมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นหลัก รองลงมาคือมาจากปิโตรเลียม



รูปที่ 3-13 รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน  $An/(An+Phe)$ ,  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  และ  $B[a]A/B[a]A+Chry$  (ข) สัดส่วน  $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ,  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  (ค) สัดส่วนระหว่าง  $B[a]A/B[a]A+Chry$ ,  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  และ  $Phe/An$  จากสถานีเก็บตัวอย่างในทะเลสาบสงขลาตอนนอก

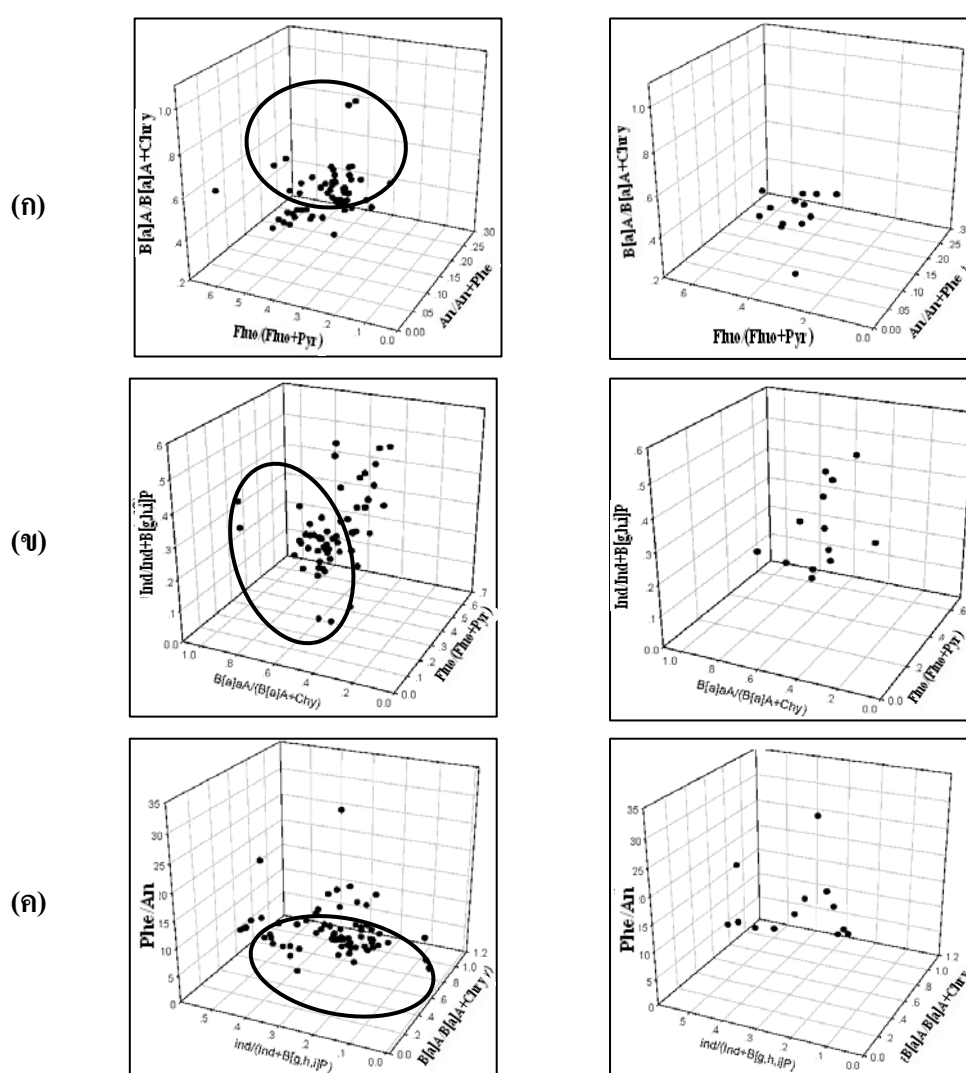


ในส่วนของอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา จากการศึกษาค่าอัตราส่วนเพื่อบ่งบอกแหล่งที่มาของสาร PAHs พบว่าสาร PAHs ในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นแหล่งกำเนิดหลัก เมื่อนำค่าอัตราส่วนที่ได้จากการศึกษามาแสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ โดยใช้ sigma plot แสดงสัดส่วนของ Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P พบว่าสาร PAH มีรูปแบบการกระจายตัวของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และจากปิโตรเลียมแยกกลุ่มกันค่อนข้างชัดเจน (รูปที่ 3-14 ก) ส่วนสถานีที่ 2, 21, 26, 27, 32\_2, 41, 42, 44, 46, 52, 74, 75 และ 76 มีแหล่งกำเนิดสาร PAHs จากปิโตรเลียมเป็นหลัก (รูปที่ 3-14 ข)



รูปที่ 3-14 รูป 3 มิติ (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic และ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน Phe/An, Fluo/(Fluo+Pyr) และ B[a]A/B[a]P ของแต่ละตัวอย่างตะกอนที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic บริเวณสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินนอกอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

จากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน  $An/(An+Phe)$ ,  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  สัดส่วน  $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ,  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  สุดท้ายคือ สัดส่วนระหว่าง  $B[a]A/B[a]A+Chry$ ,  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  และ  $Phe/An$  ในรูปแบบแผนภูมิ 3 มิติ โดยใช้ sigma plot ดังแสดงในรูปที่ 3-15 พบการกระจายตัวของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากปิโตรเลียมแยกกลุ่มออกจากสถานีอื่นค่อนข้างชัดเจนสอดคล้องกับกราฟแสดงแหล่งที่มาของสาร PAHs (รูปที่ 3-11) ดังนั้นกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นหลัก รองลงมาคือมาจากปิโตรเลียม



รูปที่ 3-15 รูป 3 มิติ (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน  $An/(An+Phe)$ ,  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  และ  $B[a]A/B[a]A+Chry$  (ข) สัดส่วน  $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ,  $B[a]A/B[a]A+Chry$  และ  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  (ค) สัดส่วนระหว่าง  $B[a]A/B[a]A+Chry$ ,  $Ind/Ind+B[g,h,i]P$  และ  $Phe/An$  จากสถานีเก็บตัวอย่างนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา

## บทที่ 4

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลงานวิจัย

การวิเคราะห์ความเข้มข้น และการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินจากบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก พบระดับค่าความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วง 12.6 – 150.1 นนก./ก. นน.แห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $36.6 \pm 31.6$  นนก./ก. นน.แห้ง โดยในทะเลสาบสงขลาตอนนอก สถานี S-1 มีการสะสมของสาร PAHs มากที่สุด รองลงมา คือ สถานี S-2, S-3 และ S-8 ตามลำดับ ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Phe, B[g,h,i]P, Pyr, Fluo และ D[a,h]A ตามลำดับ

ในส่วนของบริเวณ นอกชายฝั่งอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา พบว่ามีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 12.6 – 272.0 นนก./ก. นน.แห้ง และค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $64.5 \pm 44.3$  นนก./ก. นน.แห้ง โดยพบว่าบริเวณสถานี 34 มีการสะสมของสาร PAHs มากที่สุด รองลงมา คือ สถานี 22, 25, 24 และ 32\_2 ตามลำดับ โดยมีการกระจายของชนิดและปริมาณต่างๆ กัน ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Phe, Pyr, D[a,h]A, B[g,h,i]P และ Fluo ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งสองพื้นที่ ตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา มีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs สูงกว่าตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ทั้งที่ทะเลสาบสงขลา มีแหล่งกำเนิดสาร PAHs ทั้งกิจกรรมจากชุมชนและอุตสาหกรรมที่หนาแน่นกว่าบริเวณชายฝั่งอ่าวทับละมุ ซึ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างอยู่นอกชายฝั่งออกไปตั้งแต่ 5 กม. ถึง 30 กม. และได้รับอิทธิพลจากแผ่นดินเบาบางลงมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก พื้นที่ดังกล่าวตรงกับพื้นที่มีรายงานว่าเป็นแนวของกระแสไหลย้อนกลับของคลื่นยักษ์สึนามิที่ขึ้นชายฝั่งอันดามันเมื่อวันที่ 26 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 ค่าความเข้มข้น PAHs ที่สูงขึ้นมากกว่าตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก น่าจะเป็น PAHs กลุ่มที่พบปนเปื้อนอยู่บนแผ่นดิน และถูกพาลงมาขณะเกิดกระแสน้ำไหลย้อนกลับของคลื่นสึนามิ

สำหรับการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PAHs ชนิดต่างๆ ได้แก่ An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pyr), B[a]A/(B[a]A+Chry), ind/(Ind+B[g,h,i]P), Phe/An, Fluo/Pyr, B[a]A/Chry ในการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา พบว่าพบว่า PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ 80% จากปิโตรเลียม 20% ของตัวอย่างทั้งหมด ส่วน PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจาก

อ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา เป็น PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ 81.4% จากปิโตรเลียม 18.6% ของตัวอย่างทั้งหมด

แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs สะสมในตะกอนดินของพื้นที่ศึกษาทั้งสอง มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ PAHs มีลักษณะโมเลกุลเป็น unsubstituted โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดได้จากเขม่าควันรถ และเขม่าควันเรือ การชะล้างหน้าดินจากแผ่นดินที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่ลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วจากเรือและยานพาหนะลงสู่แหล่งน้ำ และแหล่งกำเนิดรองของ PAHs มาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน เช่นมาจากการล้างถังน้ำมัน การรั่วไหลของน้ำมันเรือ และน้ำทิ้งจากชุมชน เนื่องมาจากพื้นที่ในศึกษาครั้งนี้มีท่าเรือในการรองรับกิจกรรมทางทะเลอยู่ทั้งสองบริเวณ

#### 4.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PAHs ชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกแหล่งกำเนิด ไม่สามารถบอกได้ว่า PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากับอนุภาคที่ลอยลอยมาในอากาศ หรือมาจากการชะอนุภาคที่มี PAHs ปนเปื้อนลงมาจากแผ่นดิน ดังนั้นควรมีการศึกษาปริมาณสาร PAHs จากอนุภาค PM<sub>10</sub> ในอากาศ และในอนุภาคดินบริเวณโดยรอบ จะช่วยให้สามารถอธิบายที่มาของสาร PAHs ได้ชัดเจนมากขึ้น
- 2) เพื่อให้เห็นผลกระทบที่อาจเกิดได้โดยตรงกับมนุษย์ ควรวิเคราะห์การสะสมของสาร PAHs ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น ปลา กุ้ง หรือหอย และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสาร PAHs อย่างต่อเนื่องผ่านการกิน
- 3) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในตะกอนดินระดับผิวหน้า (surface sediment) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสาร PAHs ในปัจจุบัน หรือในช่วงเวลาที่ผ่านไปไม่นานนัก หากต้องการเปรียบเทียบระดับของสาร PAHs ในอดีตที่ผ่านมากับปัจจุบัน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินตามระดับความลึก (core sediment) เพราะหากสาร PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จะบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสาร PAHs ที่มาจากมนุษย์ได้ชัดเจนขึ้น
- 4) หากมีการศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดินตามระดับความลึก ควรศึกษาชนิด จำนวนของแบคทีเรีย และพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร PAHs ทั้งการเกิดขึ้นและลดลงของสาร เนื่องจากจะเป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของการสะสมตัวของสารได้ดีขึ้น

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. ทะเลไทยวันนี้. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2550. ธรณีวิทยาบริเวณทะเลอันดามัน. เข้าถึงได้ที่ URL:  
[http://www.dmr.go.th/geothai/andaman \(geo\).html](http://www.dmr.go.th/geothai/andaman (geo).html). สืบค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2550.
- กัลยา วัฒนากร. 2543. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทรีแม่น้ำ  
เจ้าพระยา. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- เกศินี สรรวานิช. 2534. ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่บริเวณ  
แม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิราณีย์ ไชยปวิวงศ์. 2544. การสะสมสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณ  
แอ่งเอสทรีแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- จังหวัดพังงา. 2551. ข้อมูลจังหวัดพังงา. เข้าถึงได้ที่ URL: <http://www.phangnga.go.th>. สืบค้นเมื่อ  
13 มีนาคม 2551.
- ปราโมทย์ โสจิศุภร. 2548. โครงการศึกษาลักษณะทางสมุทรศาสตร์และอุทกวิทยา บริเวณร่องน้ำ  
และแอ่งกลับเรือ ท่าเรือสงขลา จ.สงขลา.
- พรศรี สุทธารักษ์. 2534. ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณ  
อุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาอ่าวน้ำ  
ทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 5 ทรัพยากรน้ำ. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- วารภรณ์ ศรีมูล. 2544. การสะสมปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา  
จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์-  
ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรัญญา วิรุพหผล. 2533. การสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วินัย เลียงเจริญสิทธิ์ และเพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 5 ทรัพยากรน้ำ. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- วิเชียร จาภูพจน์, อภินันท์ กำเนิดรัตน์, นิภา หลีระพันธ์ และศักดิ์ โชโต. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4 ทรัพยากรป่า-ประมง-การใช้ที่ดิน-พลังงาน. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1996. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service. Human Services, Public Health Service. เข้าถึงได้จาก URL:<http://www.atsdr.cdc.gov>. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2552.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005. Toxicological Profile for Naphthalene, 1-Methylnaphthalene, and 2- Methylnaphthalene, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department Of Health And Human Services Public Health Service. Human Services, Public Health Service. เข้าถึงได้จาก URL:<http://www.atsdr.cdc.gov>. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2552.
- Anderson, J.W., Newton, F.C., Tukey, R.H. and Richter, K.E. 1996. Chemistry and toxicity from San Diego Bay, including a biomarker (P450 RGS) response Bengtson, D.A. and Henshel, D.S., Editors, 1996. Environmental Toxicology and Assessment: biomarkers and Risk Assessment5, American Society for Testing and Material, Philadelphia. 53-78.
- Altindag, A., Yigit, S. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beys\_ehir, Turkey. *Chemosphere*. 60: 552–556.
- Ashley, N. A., Valsaraj, K.T., Thibodeaux, L.J. 2008. Elevated in-home sediment contaminant concentrations the consequence of a particle settling–winnowing process from Hurricane Katrina floodwaters. *Chemosphere*. 70: 833–840.

- Baker, R.A. 1980. Contaminants and Sediments. Vol. 2, Analysis, Chemistry, and Biology. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
- Baumard, P., Budzinski, H., Garrigues, P. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the Western Mediterranean Sea. *Environ. Toxicol. Chem.* 7: 765–776.
- Benlahcen, K. T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J. and Garrigues, P. H. 1997. Distribution and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in some Mediterranean Coastal Sediment. *Mar. Pollut. Bull.* 34: 298-305.
- Bihari, N., Fafand, E.M., Hamer, B. and Kralj-Bilen, B. 2006. PAH content, toxicity and genotoxicity of coastal marine sediments from the Rovinj area, Northern Adriatic, Croatia. *Sci.Total. Environ.* 366: 602–611.
- Bin, J., Hai-long, Z., Guo-qiang, H., Hui, D., Xin-gang, L., Hong-tu, S. and Rui, L. 2007. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in sediments of Haihe River, Tianjin, China. *J. Environ. Sci.* 19: 306–311.
- Bixian, M., Jiamo, F., Gan, Z., Zheng, L., Yushun, M., Guoying, S. and Xingmin, W. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Pearl river and estuary, China: spatial and temporal distribution and sources. *Appl. Geochem.* 16: 1429–1445.
- Blumer, M. 1976. Polycyclic aromatic compounds in nature. *Scientific American.* 234: 34–45.
- Boehm, P.D. and Requejo, A.G. 1986. Overview of the recent sediment hydrocarbon geochemistry Of Atlantic and Gulf coast outer continental shelf environments. *Estu. Coast. Shelf Sci.* 23: 29–58.
- Bomboi, M.T., Hernandez, A., Marifio, F. and Hontoria, E. 1990. Distribution of hydrocarbon concentrations from urban runoff. *Sci.Total. Environ.* 93: 465-480.
- Boonyatumanond, R. 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in water samples by using High Performance Liquid Chromatography, Master's Thesis, Department of applied analytical and inorganic chemistry, Graduate School, Mahidol University.
- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Togo, A. and Takada, H. 2006. Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand. *Mar. Pollut. Bull.* 52: 942–956.

- Breedveld, G.D. and Karlsen, D.A. 2000. Estimating the availability of polycyclic aromatic hydrocarbons for bioremediation of creosote contaminated soils. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 54: 255-261.
- Budzinski, H., Bellocq, J., Pierard, C. and Garriques, P. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbon in the Gironde estuary. *Mar. Chem.* 58: 85-97.
- Colombo, J.C., Barreda, C., Bilos, N.C., Migoya, M.C. and Skorupka, C. 2005. Oil spill in the Rio de la Plata estuary, Argentina: 2-hydrocarbon disappearance rates in sediments and soils. *Environ. Pollut.* 34: 267–276.
- Culotta, L., De Stefano, C., Gianguzza, A., Mannino, M R. and Orecchio, S. 2006. The PAH composition of surface sediments from Stagnone coastal lagoon, Marsala (Italy). *Mar. Chem.* 99: 117– 127.
- Curtosi, A., Pelletier, E., Vodopivec, C.L. and Mac Cormack, W. P. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and surface marine sediment near Jubany Station (Antarctica). Role of permafrost as a low-permeability barrier. *Sci.Total. Environ.* 383: 193–204.
- Dhammapalaa, R., Claiborna, C., Jimenez, J., Corkillb, J., Gullettc, B., Simpsond, C. and Paulsend, M. 2007. Emission factors of PAHs, methoxyphenols, levoglucosan, elemental carbon and organic carbon from simulated wheat and Kentucky bluegrass stubble burns. *Atmos. Environ.* 41: 2660–2669.
- Ditoro, D.M. 2001. Sediment flux Modeling. Vancouver: John Wiley & Son Inc.
- Doong, R.A. and Lin, Y.T. 2004. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminations in surface sediment and water from Gao-ping River, Taiwan. *Water Res.* 38: 1733–1744.
- Envis centre on control of pollution. 2552. Source of PAHs เข้าถึงได้ที่ URL: <http://cpcbenvvis.nic.in>. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2552.
- Eglinton, G. and Calvin, M. 1967. Chemical fossils. *Scientific American.* 216: 32–43.
- Fang, J.K.H., Au, D.W.T., Wu, R.S.S., Zheng, G.J., Chan, A.K.Y., Lam, P.K.S. and Shin, P.K.S. 2009. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in green-lipped mussel *Perna viridis* from Victoria Harbour, Hong Kong and possible human health risk. *Mar. Pollut. Bull.* In press.



- Feldens, P., Schwarzer, K., Szczucinski, W., Stattegger, K., Sakuna, D., Sompongchaiyikul, P. 2009. Impact of the 2004 Indian Ocean Tsunami on Seafloor Morphology and Sediments Offshore Pakarang Cape, Thailand. *Polish J. Environ. Stud.* 18(1): 63-68.
- Fung, C.N., Lam, J.C.W., Zheng, G.J., Connell, D.W., Monirith, I., Tanabe, S., Richardson, B.J. and Lam, P.K.S. 2004. Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminants along the east coast of China using *Perna viridis* and *Mytilus edulis*. *Environ. Pollut.* 127: 203–216.
- Gaspare, L., Machiwa, J.F., Mdachi, S.J.M., Streck, G. and Brack, W. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination of surface sediments and oysters from the inter-tidal areas of Dar es Salaam, Tanzania. *Environ. Pollut.* 157: 24–34.
- Gocht, T., Moldenhauer, K.M. and Püttmann, W. 2001. Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in floodplain sediments from the Rhine River (Hessisches Ried, Germany). *Appl. Geochem.* 16: 1707–17821.
- Grariviat, H. 1999. A study on air pollution by airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere. Doctoral dissertation. School of Environment, resource and development. Asian Institute of Technology.
- Grimmer, G. 1983. Environmental Carcinogens: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Gschwend, P.M., Hites, R.A. 1981. Fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States. *Geo. Et Cos. Acta* . 45: 2359–2367.
- Guinan, J., Charlesworth, M., Service, M. and Oliver, T. 2001. Sources and geochemical constraints of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of two Northern Irish Sea-lough. *Mar. Pollut. Bull.* 42: 1073-1081.
- Hartmann, P.C., Quinn, J.G., Cairns, R.W. and King, J.W. 2004. The distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in Narragansett Bay surface sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 351–358.
- Hites, R.A., Laflamme, R. E. and Farrington, J. W. 1977. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Science.* 198: 829–831.

- Hoffman, E.J., Mills, G.L., Latimer, J.S. and Quinn, J.G. 1984. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environ. Sci. Technol.* 18: 580–587.
- Howsam, M. and Jones, K.C. 1998. Sources of PAHs in the environment. *The Handbook of Environmental Chemistry PAHs and Related Compounds*. Springer. 3: 137–174.
- Jacob, J. 1996. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. *Pure. Appl. Chem*, 68(2): 301-308.
- Jiang, J., Lee, C., Fang, M. and Liu, J.T. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments of southwest Taiwan: An appraisal of diagnostic ratios in source recognition. *Mar. Pollut. Bull.* 58: 752–760.
- Kamesh Raju, K.A., Ramprasad, T., Rao, P.S., Rao, B.R. and Varghese, J. 2004. New insights into the tectonic evolution of the Andaman Basin Northeast Indian Ocean. *Earth Planet Scienc. Letter.* 221:145–62.
- Kamiya, M., Toriba, A., Onoda, Y., Kizu, R. and Hayakawa, K. 2005. Evaluation of estrogenic activities of hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons in cigarette smoke condensate. *Food. Chem. Toxicol.* 43: 1017–1027.
- Kennicutt, T.L., Wade, B.J., Presley, A.G., Requejo, J.M., Brooks and Denoux, G.J. 1994. Sediment contaminants in Casco Bay, Maine-inventories, sources, and potential for biological impact. *Environ. Sci. Technol.* 28: 1–15.
- Kim, L.H., Choi, E. and Stenstrom, M. K. 2003. Sediment characteristic, phosphorus type and phosphorus release rates between river and lake sediment. *Chemosphere.* 50, 53-61.
- Kim, H., Kim, Y.D., Lee, H., Kawamoto, T., Yang, M. and Katoh, T. 1999. Assay of 2-naphthol in human urine by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomed. Sci. Appl.* 734: 211–217.
- Kim, E.J., Oh, J.E. and Chang, Y.S. 2003. Effects of forest fire on the level and distribution of PCDDyFs and PAHs in soil. *Sci. Total. Environ.* 311: 177–18.
- LaFlamme, R.E. and Hites, R.A. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic Hydrocarbons in recent sediments. *Geo. Et Cos. Acta.* 42: 289–303.
- Lake, J.L., Norwood, C., Dimok, C. and Bowen, R. 1979. Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments. *Geo. Et Cos. Acta.* 43: 1847–1854.

- LaRocca, C., Conti, L., Crebelli, R., Crochi, B., Iacovella, N. and Rodriguez, F. 1996. PAH content and mutagenicity of marine sediments from the Venice Lagoon. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 33: 236–45.
- Liu, Y., Chen, L., Jianfu, Z., Qinghui, H., Zhiliang, Z. and Hongwen, G. 2008. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of rivers and an estuary in Shanghai, China. *Environ. Pollut.* 154: 298-305.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.* 19: 81–97.
- Mabey, W.R., Smith, J.H., Podoll, R.T., Johnson, H.L., Mill, T., Chou, T.-W., Gates, J., Partridge, I.W., Jaber, H. and Vandenberg, D. 1982. Aquatic Fate Process Data for Organic Priority Pollutants. Washington, D. C., U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 440: 4-81-014.
- Mai, B.X., Fu, J.M., Zhang, G., Lin, Z., Min, Y.S., Sheng, G.Y. and Wang, X.M. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Pearl river and estuary, China: spatial and temporal distribution and sources. *Appl. Geochem.* 16: 1429–1445.
- McGroddy, S.E. and Farrington, J.W. 1995. Sediment porewater partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in three cores from Boston Harbor, Massachusetts. *Environ. Sci. Technol.* 29: 1542–1550.
- Medeiros, P.M., Bicegoc M.C., Castelao, R.M., Del Rosso, C., Fillmann, G. And Zamboni, A. J. 2005. Natural and anthropogenic hydrocarbon inputs to sediments of Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Environ. Int.* 31: 77– 87.
- Mohamed, A.O. and Juan, G.R. 2002. Inmaculada, Production of xyloglucanolytic enzymes by *Trichoderma viride*, *Paecilomyces fавinosus*, *Wardomyces inflatus*, and *Pleurotus ostreatus*, *Mycologia.* 94: 404-410.
- Nadal, M., Schuhmacher, M. and Domingo, J.L. 2004. Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain. *Environ. Pollut.* 132: 1 - 11.
- Netto, A.D.P., Dias, J.C.M., Arbilla, G., Oliveira, L.F. and Barek, J. 2000. Avaliacao da contaminacao humana por Hidrocarbonetos Policiclicos Aromaticos e seus derivados nitratos: Uma revisao metodologica, *Qum. Nova* 23 (6): 765–773.

- Okona-Mensah, K.B., Battershill, J., Boobis, A. and Fielder, R. 2005. An approach to investigating the importance of high potency polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the induction of lung cancer by air pollution. *Food. Chem. Toxicol.* 43: 1103–1116.
- Olivella, M.A., Ribalta, T.G., De Febrer, A.R. and Mollet, J.M. 2006. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires. *Sci.Total Environ.* 355: 156–166.
- Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Bence, W.A., Burn, W.A. and Mankiewicz, P.J. 1999. Pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sediments Record Past Human Activity: A case Atudy in Prince William Sound,Alaska. *Mar. Pollut. Bull.* 4: 247-260.
- Parivesh .2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air and their effects on human Health. เข้าถึงได้ที่ URL: <http://cpcbenviis.nic.in/newsletter/ph/content1103.htm>. สืบค้นเมื่อ 5 ธันวาคม 2550.
- Price, P.S. and Jayjock, M.A. 2008. Available data on naphthalene exposures: Strengths and limitations. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 51: S15–S21.
- Pruell, R.J. and Quinn, J.G. 1985. Geochemistry of organic contaminants in Narragansett Bay sediments. *Estu. Coast. Shelf Sci.* 21: 295–312.
- Qiao, M., Wang, C., Huang, S., Wang, D. and Wang, Z.J. 1999. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Environ. Int.* 32: 28–33.
- Readman, J.W., Fillmann, G., Tolosa, I., Bartocci, J., Villeneuve, J.P., Catinni, C. and Mee,L.D. 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 44, 48–62.
- Schwarzer, K., Stattegger, K. and Ludwig, R. 2007. Thai - German Research Cooperation. Tracing tsunami impacts on- and offshore in the Andaman Sea region. \*TRIAS\* Subproject 2: Tsunami deposits in near-shore and coastal water of Thailand (TUNWAT). Projektantrag DFG.
- Sharma,V.K., Rhudy, K., Books, R., Hollyfield, S. and Vazquez F.G. 1997. Petroleum Hydrocarbons in Ssdiment of Upper Laguna Madre. *Mar. Pollut. Bull.* 34: 229-234.

- Sicre, M.A., Marty, J.C., Saliot, A., Aparricio, X., Grimalt, J.,Albaiges, J. 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin. *Atmos. Environ.* 21: 2247–2259.
- Simcik, M.F., Eisenreich, S.J. and Liroy, P.J. 1999. Source apportionment and source/sink relationships of PAHs in the coastal atmosphere of Chicago and Lake Michigan. *Atmos. Environ.* 33: 5071-5079.
- Simpson, C.D., Mosi, A.A., Cullen, W.R. and Reimer, K.J. 1996. Composition and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial marine sediments from Kitimat Harbour, Canada. *Sci.Total. Environ.* 181(3): 265–278.
- Siripong, A. 2006. Andaman Seacoast of Thailand Field Survey after the December 2004 Indian Ocean Tsunami. *Earthquake Spectra*, 22(S3):187.
- Steinhauer, M.S. and Boehm, P.D. 1992. The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in near-shore sediments, river sediments, and coastal peat of the AlaskanBeufort Sea: implications for detecting anthropogenic hydrocarbon inputs. *Mar. Environ.* 33: 223–25.
- Sverdrup, E., Nielsen, T. and Krogh, P.H. 2002. Soil ecotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons in relation to soil sorption, lipophilicity, and water solubility. *Environ. Sci. Technol.* 36: 24–35.
- Tolosa, I., Mora, S. J., Fowler, S. W., Villeneuve, J-P., Bartocci, J., and Cattini, C. 2005. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Mar. Pollut. Bull.* 50: 1619–1633.
- Varanasi, U., Reichert, W.L., Stein, J.E., Brown, D.W. and Sanborn, H.R. 1985. Bioavailability and biotransformation of aromatic hydrocarbonsin benthic organisms exposed to sediment from an urban estuary. *Environ. Sci. Technol.* 19: 836–841.
- Volkman, J.K., Holdsworth, D.G., Neill, G.P. and Bavor, H.J. 1992. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. *Sci.Total. Environ.* 112: 203–219.
- Wade,T.L., Kennicutt, T.L. and Brooks, J.M. 1989. Gulf of Mexico Hydrocarbon Seep Communities:Part III. Aromatic Hydrocarbon Concentrations in Organisms, Sediment and water. 27: 19–30.

- Wakeham S.G. 1996. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Black Sea sediments. *Mar. Chem.* 19: 187-205.
- Wang, Z. and Fingas, M. 1995. Differentiation of the source of spilled oil and monitoring of the oil weathering process using gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chroma.* 712: 321-343.
- Wei, S., Lau, R.K.F., Fung, C.N., Zheng, G.J., Lam, J.C.W., Connell, D.W., Fang, Z., Richardson, B.J. and Lam, P.K.S. 2006. Trace organic contamination in biota collected from the Pearl River Estuary, China: a preliminary risk assessment. *Mar. Pollut. Bull.* 52: 1682-1694.
- White, K.L. 1986. An overview of immunotoxicology and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Carcino. Revs.* 4: 163-202.
- WHO, 1987. Air quality guideline for Europe, Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe. 105-117.
- WHO, 2000. Air Quality Guidelines for Europe, 2<sup>nd</sup> ed., WHO Regional Publication European Series No. 91. World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen. 273.
- Witt, G. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 31: 237-248.
- Xu, J., Yu, Y., Wang, P., Guo, W., Dai, S and Sun, H. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments from Yellow River, China. *Chemosphere.* 67; 1408-1414.
- Yim, U.H., Hong, S.H. and Shim, W.J. 2007. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea. *Chemosphere.* 68: 85-92.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, H., Goyette, D. and Silvestre, S. 2002. PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Org. Geochem.* 33: 489-515.
- Zaghden, H., Kallel, M., Elleuch, B., Oudot, J. and Saliot, A. 2007. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Sfax, Tunisia, Mediterranean Sea. *Mar. Chem.* 105: 70-89.

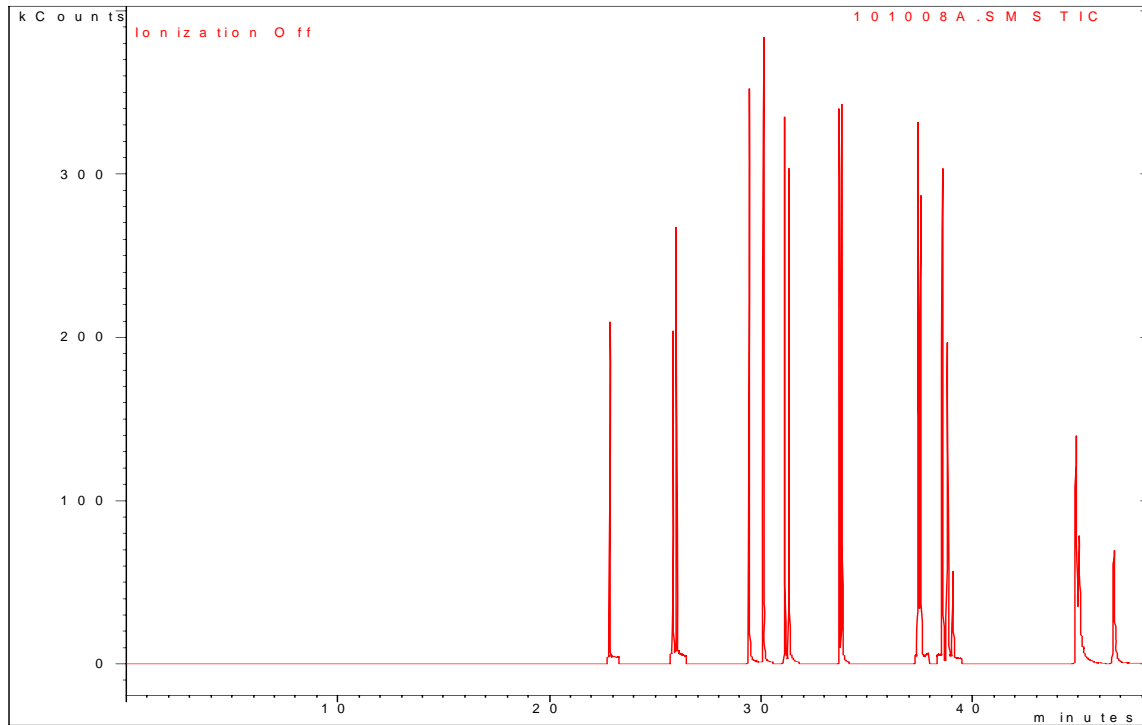
- Zakaria, M.P., Takada, H. and Tsutsumi, S. 2002. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic PAHs. *Environ. Sci. Technol.* 36(9): 1907–1918.
- Zanieri, L., Galvan, P., Checchini, L., Cincinelli, A., Lepri, L., Donzelli, G.P. and Del Bubba, M. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in human milk from Italian women: Influence of cigarette smoking and residential area. *Chemosphere*. 67: 1265–1274.
- Zeng, E.Y. and Vista, C.L. 1997. Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons, *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 179–188.
- Zwirner-Baier, I. and Neumann, H.G. 1999. Polycyclic nitroarenes nitro-PAHs as biomarkers of exposure to diesel exhaust. *Mutat. Res.* 441: 135–144.

ภาคผนวก

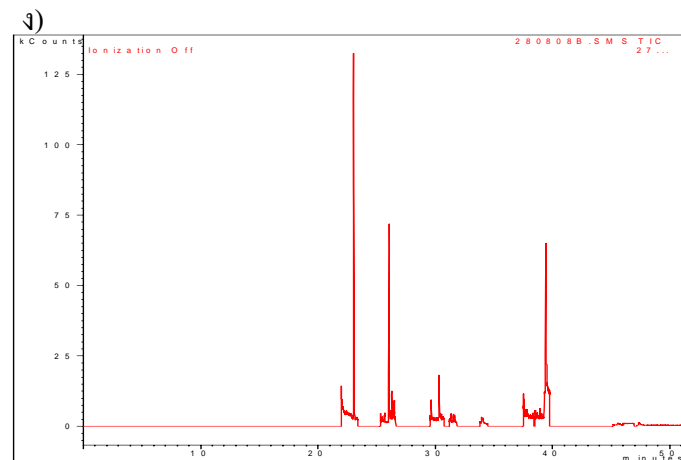
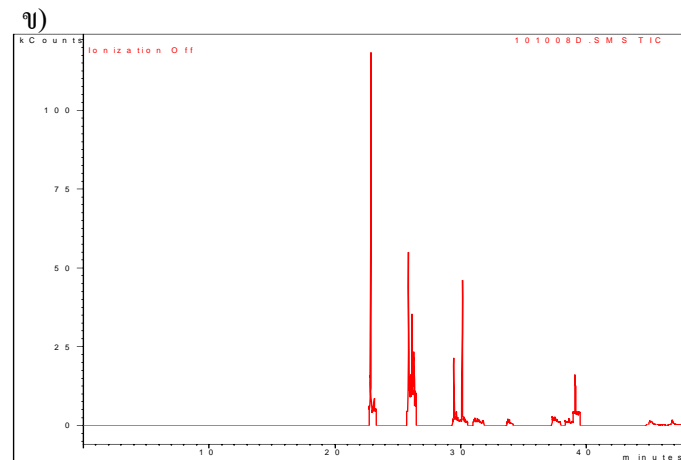
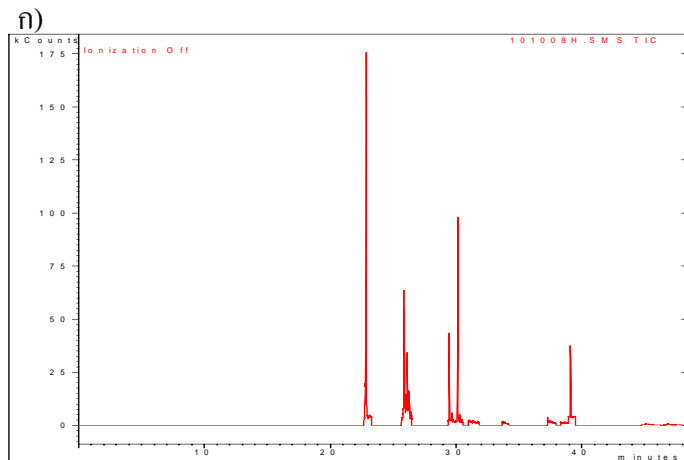


ภาคผนวก ก

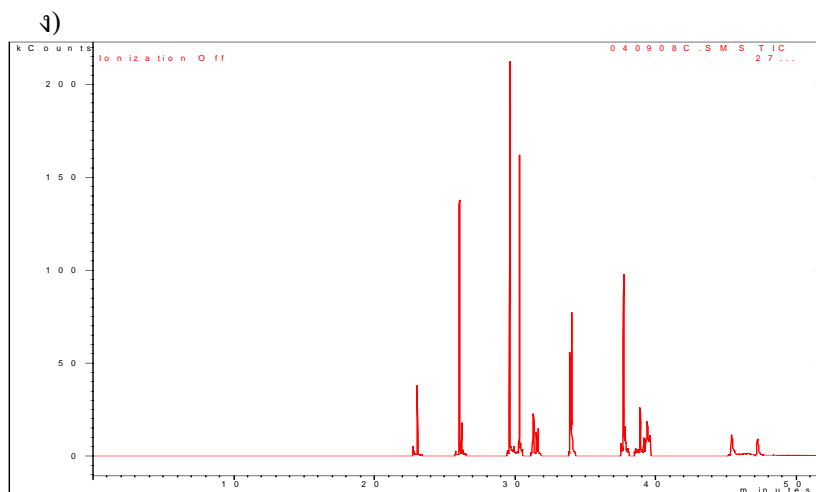
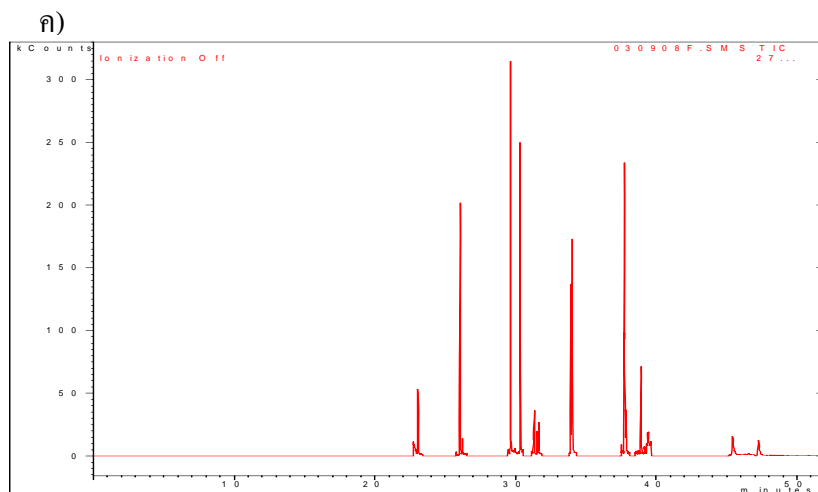
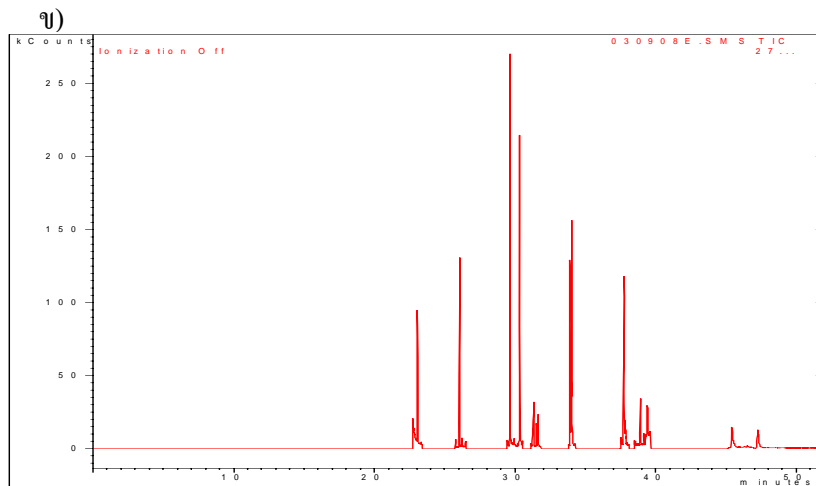
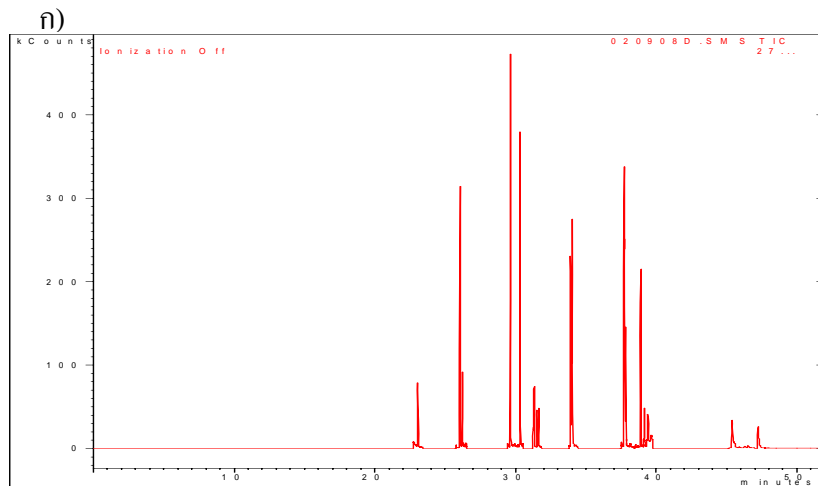
ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ ก-1 โครมาโทแกรมของตัวอย่างสารมาตรฐาน



รูปที่ ก-2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ก) สถานีที่ 66D ข) สถานีที่ 52D และ โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบสงขลาตอนนอก ค) สถานี S-09 ง) สถานีที่ S-18



รูปที่ ก-3 โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน (SRM) ก) SRM2

ข) SRM6

ค) SRM5

ง) SRM8

## ภาคผนวก ข

## ค่าอัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน

ตารางที่ ข-1 ค่าอัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบ  
สงขลาตอนนอก 20 สถานี

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fl/ (Fl+Py)	B(a)A/ (B(a)A+Chy)	Ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Phen/Anth	Flu/Pry	B[a]A/Chr	แหล่งกำเนิด
S-1	0.09	0.65	0.43	0.38	9.58	1.82	0.75	Pyro
S-2	0.16	0.52	0.49	0.44	5.37	1.09	0.97	Pyro
S-3	0.09	0.54	0.50	0.00	10.48	1.17	1.00	Pyro
S-4	0.09	0.55	0.37	0.41	10.70	1.21	0.59	Pyro
S-5	0.14	0.55	0.53	0.36	6.17	1.20	1.13	Pyro
S-6	0.07	0.40	0.56	0.49	12.81	0.67	1.26	Pyro
S-7	0.11	0.43	0.43	0.44	7.70	0.76	0.75	Pyro
S-8	0.13	0.47	0.63	0.31	7.00	0.89	1.72	Pyro
S-9	0.11	0.39	0.74	0.29	8.38	0.64	2.88	Pyro
S-10	0.08	0.45	0.66	0.00	10.86	0.82	1.93	Pyro
S-11	0.36	0.28	0.53	0.46	1.79	0.40	1.12	Pyro
S-12	0.11	0.54	0.47	0.39	7.92	1.17	0.90	Pyro
S-13	0.14	0.33	0.69	0.29	6.38	0.49	2.23	Pyro
S-14	0.10	0.29	0.62	0.17	9.20	0.42	1.62	Pyro
S-15	0.09	0.33	0.48	0.34	10.23	0.50	0.91	Petro
S-16	0.09	0.34	0.53	0.30	10.09	0.53	1.11	Petro
S-17	0.04	0.29	0.59	0.29	25.49	0.41	1.42	Petro
S-18	0.06	0.35	0.61	0.29	16.85	0.53	1.56	Petro
S-19	0.13	0.55	0.56	0.29	6.97	1.23	1.25	Pyro
S-20	0.10	0.49	0.39	0.33	9.00	0.96	0.63	Pyro

หมายเหตุ N.D = not detected

ตารางที่ ข-2 ค่าอัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าว  
ทับละมุ จังหวัดพังงา 70 สถานี

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fluo/ (Fluo+ Pyr)	B[a]A/ (B[a]A+Chy)	ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Ph/An	Fluo/Pyr	B[a]A/Chry	แหล่งกำเนิด
2	0.05	0.35	0.48	0.21	19.50	0.53	0.94	Petro
3	0.20	0.35	0.58	0.22	4.05	0.55	1.39	Pyro
4	0.11	0.49	0.43	0.46	7.82	0.96	0.75	Pyro
5	0.05	0.44	0.50	0.25	18.32	0.80	0.99	Pyro
6	0.12	0.24	0.65	0.27	7.23	0.32	1.82	Pyro
7	0.12	0.30	0.59	0.23	7.41	0.42	1.47	Pyro
8	0.12	0.33	0.61	0.26	7.67	0.50	1.53	Pyro
9	0.13	0.51	0.67	0.18	6.87	1.03	2.05	Pyro
10	0.05	0.67	0.57	0.15	17.64	1.99	1.33	Pyro
11	0.14	0.39	0.56	0.23	5.96	0.64	1.27	Pyro
12a	0.17	0.51	0.45	0.38	4.99	1.04	0.81	Pyro
12b	0.10	0.43	0.48	0.14	9.31	0.77	0.93	Pyro
14	0.13	0.29	0.56	0.25	6.94	0.41	1.28	Pyro
15	0.11	0.39	0.45	0.44	8.34	0.65	0.80	Pyro
16	0.12	0.41	0.41	0.37	7.53	0.70	0.71	Pyro
17	0.11	0.48	0.37	0.33	8.02	0.92	0.60	Pyro
18	0.08	0.42	0.48	0.34	11.88	0.72	0.91	Pyro
19	0.15	0.30	0.59	0.00	5.72	0.44	1.46	Pyro
20	0.10	0.27	1.00	0.27	8.70	0.36	ND.	Pyro
21	0.08	0.32	0.46	0.47	11.01	0.46	0.84	Petro
22	0.13	0.32	0.52	0.56	6.72	0.47	1.07	Pyro
23	0.11	0.29	0.50	0.53	7.86	0.41	1.00	Pyro
24	0.09	0.52	0.37	0.50	9.79	1.08	0.60	Pyro
25	0.12	0.44	0.45	0.44	7.64	0.79	0.83	Pyro
26	0.26	0.28	0.43	0.35	2.79	0.39	0.75	Pyro
27	0.03	0.15	0.71	0.29	29.58	0.18	2.48	Petro
29	0.06	0.25	0.64	0.22	14.49	0.33	1.81	Petro
31	0.10	0.48	0.40	0.51	9.34	0.93	0.68	Pyro
32	0.11	0.32	0.37	0.38	7.96	0.48	0.59	Pyro
32d	0.09	0.47	0.44	0.50	10.35	0.88	0.79	Petro
34	0.11	0.48	0.54	0.23	7.84	0.92	1.18	Pyro
35	0.16	0.37	0.55	0.26	5.32	0.58	1.22	Pyro
36	0.11	0.30	0.55	0.25	8.39	0.43	1.24	Pyro
37	0.11	0.30	0.53	0.00	8.16	0.44	1.14	Pyro
39	0.10	0.40	0.49	0.26	9.15	0.68	0.96	Pyro

ตารางที่ ข-2(ต่อ)

อัตราส่วน	An/ (An+Phe)	Fluo/ (Fluo+ Pyr)	B[a]A/ (B[a]A+Chy)	ind/ (Ind+B[g,h,i]P)	Ph/An	Fluo/Pyr	B[a]A/Chry	แหล่งกำเนิด
40	0.14	0.29	0.47	0.44	6.19	0.41	0.90	Pyro
41	0.06	0.32	0.24	0.30	14.82	0.47	0.32	Petro
42	0.05	0.34	0.51	0.48	20.90	0.51	1.03	Petro
43	0.07	0.42	0.50	0.00	12.67	0.73	1.00	Pyro
44	0.09	0.45	0.57	0.19	10.60	0.83	1.34	Petro
45	0.09	0.30	0.69	0.36	9.95	0.42	2.26	Pyro
46	0.09	0.30	0.49	0.43	10.11	0.42	0.95	Petro
47	0.10	0.31	0.55	0.23	8.85	0.44	1.23	Pyro
48	0.10	0.26	0.69	0.22	9.14	0.35	2.26	Pyro
49	0.10	0.32	0.71	0.24	9.03	0.47	2.49	Pyro
50	0.12	0.44	0.58	0.27	7.56	0.79	1.39	Pyro
51	0.10	0.35	0.46	0.23	8.73	0.55	0.85	Pyro
52	0.08	0.31	0.61	0.34	12.17	0.44	1.59	Petro
53	0.09	0.35	0.62	0.32	9.55	0.54	1.60	Pyro
55	0.11	0.29	0.61	0.28	8.29	0.40	1.57	Pyro
56	0.10	0.31	0.65	0.31	8.90	0.45	1.84	Pyro
56_2	0.10	0.32	0.61	0.27	9.35	0.47	1.56	Pyro
57	0.10	0.19	0.55	0.33	8.61	0.23	1.24	Pyro
61	0.11	0.29	0.58	0.27	7.71	0.42	1.40	Pyro
62	0.13	0.29	0.68	0.17	6.61	0.42	2.10	Pyro
63	0.12	0.29	0.53	0.22	7.59	0.41	1.11	Pyro
64	0.10	0.38	0.65	0.16	9.24	0.62	1.87	Pyro
65	0.11	0.34	0.58	0.28	8.42	0.51	1.37	Pyro
66	0.12	0.26	1.00	0.36	7.34	0.35	ND.	Pyro
69	0.10	0.26	0.57	0.17	9.25	0.36	1.35	Pyro
70	0.12	0.28	0.58	0.19	7.55	0.39	1.38	Pyro
70_2	0.10	0.20	0.59	0.32	8.95	0.26	1.43	Pyro
71	0.12	0.30	0.57	0.18	7.02	0.43	1.33	Pyro
72	0.10	0.31	0.57	0.16	9.16	0.46	1.35	Pyro
72_2	0.13	0.35	0.59	0.22	6.66	0.54	1.47	Pyro
73	0.11	0.53	0.65	0.13	7.94	1.14	1.86	Pyro
74	0.06	0.39	0.55	0.29	16.45	0.65	1.23	Petro
75	0.08	0.33	0.57	0.18	11.79	0.50	1.32	Petro
76	0.08	0.31	0.55	0.16	11.35	0.44	1.25	Petro
77	0.12	0.33	0.68	0.22	7.59	0.50	2.10	Pyro

หมายเหตุ N.D = not detected

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววรรณุช ดิละมัน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010920026

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2550

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วรรณุช ดิละมัน, ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์ และ เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2552. การกระจายตัวของสารก่อมะเร็งโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอกและตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา. ในเอกสารประกอบ การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 25-27 มีนาคม พ.ศ. 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.