



**การใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ป่งชี้ผลกระทบของกิจกรรม
มนุษย์ที่มีต่ออ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต**
**Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) to indicate human activities
on Chalong and Phuket bay, Phuket Province**

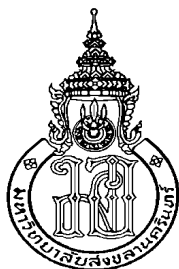
ยุดา ปัจฉิม
Yada Patchim

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Technology and Environmental Management
Prince of Songkla University**

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



**การใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ป่งชี้ผลกระทบของกิจกรรม
มนุษย์ที่มีต่ออ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต**
**Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) to indicate human activities
on Chalong and Phuket bay, Phuket Province**

ยุดา ปัจฉิม
Yada Patchim

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Technology and Environmental Management
Prince of Songkla University**

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ปังชี้ผลกระทบต่อของ
 กิจกรรมมนุษย์ที่มีต่ออ่าวคลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ผู้เขียน นางสาวณดา ปัจฉิม

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ดร.คณัย ทิพย์มณี)ประธานกรรมการ (ดร.วัชรวิดี ลิ้มสกุล)
.....กรรมการ (ดร.คณัย ทิพย์มณี)
..... กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)
..... กรรมการ (ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)
..... กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัทธีรา สรรวมณี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
 การจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรอง ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ_____

(ดร.คณัย ทิพย์มณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ_____

(นางสาวญดา ปัจฉิม)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นางสาวญดา ปัจฉิม)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) บ่งชี้ผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่ออ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
ผู้เขียน	นางสาวณิศา ปัจฉิม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

การบ่งชี้ผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์โดยใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) เป็นตัวชี้วัด ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดภูเก็ต ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธี van Veen grab Sampler บริเวณอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต จำนวนทั้งหมด 51 สถานี โดยแบ่งเป็นอ่าวฉลอง 28 สถานี และอ่าวภูเก็ต 23 สถานี วิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน และหาความเข้มข้นของสาร PAHs จำนวน 16 ชนิด ตามมาตรฐาน US-EPA ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมทรี (GC/MS) จากนั้นใช้ diagnostic ratio principle component analysis (PCA) และ Hierarchy cluster analysis (HCA) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกแหล่งกำเนิดของ PAHs ในตะกอนดิน ผลการศึกษาพบว่าตะกอนดินอ่าวฉลองมีค่า PAHs รวม ($\sum\text{PAHs}_{15}$) อยู่ในช่วง 0.39-138.49 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.20 ± 9.30 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ส่วนอ่าวภูเก็ต มีค่า $\sum\text{PAHs}_{15}$ อยู่ในช่วง 0.64-526.59 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.42 ± 13.43 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pry), B[a]A/(B[a]A+Chry) และ Ind/Ind+B[g,h,i]P เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่ศึกษาพบว่าทั้งตะกอนดินจากอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ 80% และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม 20% เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากทั้งสองพื้นที่ อ่าวฉลอง มีค่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs สูงกว่าตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต เนื่องจากบริเวณอ่าวฉลองมีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ทั้งกิจกรรมการท่องเที่ยว, การคมนาคมขนส่งทางเรือ, การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดได้จากเขม่าควันรถ และเขม่าควันเรือ, การเปลี่ยนถ่ายหรือการรั่วไหลของน้ำมัน และน้ำทิ้งจากชุมชน และจากการวิเคราะห์สถิติเชิงพหุพบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, กิจกรรมมนุษย์, ตะกอนดินชายฝั่ง

Thesis Title	Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) to indicate human activities on Chalong and Phuket bay, Phuket Province
Author	Miss Yada Patchim
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic Year	2016

ABSTRACT

Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) to indicate human activities on the Phuket coastal area. 51 sediment samples were collected by using a van Veen grab Sample from Chalong bay and Phuket bay, Phuket Province (28 stations at Chalong bay and 23 stations at Phuket bay). Quantitative analysis of 16 PAHs which were categorized according to the US-EPA was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS). Moreover, the multitechnique such as diagnostic ratios, principle component analysis (PCA), Hierarchy cluster analysis (HCA) were applied to apportion the potential source of PAHs in the study areas. The results showed that total concentration of PAHs ($\sum\text{PAH}_{15}$) in Chalong bay sediments ranged from 0.39 to 138.49 ng/g dry weight, with an average of 56.20 ± 9.30 ng/g dry weight. While, $\sum\text{PAH}_{15}$ in sediments from Phuket bay ranged from 0.64-526.59 ng/g dry weight, with an average of 64.42 ± 13.43 ng/g dry weight. The Diagnostic ratios plot among An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pry), B[a]A/(B[a]A+Chry) and Ind/Ind+B[g,h,i]P could be used to identify the potential sources of PAHs from anthropogenic causes in the study area. The studies showed that 80% of PAHs from Chalong and Phuket bay and 20% of PAHs Chalong bay and Phuket bay sediment have originated from petrogenic sources. When comparison are made on the level of contamination of PAHs in the two different areas, the concentration of PAHs sediment in Chalong bay were higher than the Phuket bay because Chalong bay has greater potential source of PAHs such as higher population density, tourism activities, transportation vessels and maritime activities, or oil spill and discharge of waste water from the domestic community. The results of multivariate statistical treatment the potential sources of PAHs with the PAHs analysis.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs), Anthropogenic, Coastal Sediment

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.คณัย ทิพย์มณี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำการวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.วัชรวิดี ลิ้มสกุล ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัทธีรา สรรพมณี ที่ให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณอุกกฤต สดภูมินทร์ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอันดามัน จังหวัดภูเก็ต ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ คุณวาริน วงษ์พานิช และคุณไทรภพ ทองมั่ง ที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

ขอขอบคุณหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และขอขอบคุณ คุณกรุงประกาย อัมโร ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณปรีชา เสนอสิทธิ์ ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่สนับสนุนทุนการศึกษาสำหรับการเรียนและทำวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการศึกษา

ญดา ปัจฉิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 กรอบแนวคิดของการวิจัย	6
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	9
2.1 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	9
2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร PAHs	10
2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs	12
2.4 สาเหตุของการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสาร PAHs	14
2.5 การเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	16
2.6 ความเป็นพิษของสาร PAHs	17
2.7 พื้นที่ในการศึกษา	18
2.7.1 อ่าวคลอง จังหวัดภูเก็ต	18
2.7.2 อ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต	20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	25
3.1 การเก็บตัวอย่าง	25
3.2 การล้างเครื่องแก้วและภาชนะ	27
3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน	28
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน	28
3.3.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน	29
3.3.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs	31
3.3.4 การวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas chromatography with Time of Flight Mass Spectrophotometer-Ion-Trap (GC/TOMS)	34
3.4 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs	35
3.4.1 ความแม่นยำ (precision) ในการวิเคราะห์	35
3.4.2 ความถูกต้องในการวิเคราะห์	35
3.5 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard	36
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbons	37
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	37
3.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา	37
3.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร	37
3.8 วิธีการจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs (PAHs diagnostic ratio)	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	40
4.1 สภาพะการทำงานของเครื่อง GC/TOFMS	40
4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์หาสาร PAHs	44
4.3 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต	46
4.3.1 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต	47
4.3.2 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs	54
4.4.1 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs บริเวณอ่าวฉลอง	54
4.4.2 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs บริเวณอ่าวภูเก็ต	63
4.5 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิด	68
4.5.1 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินอ่าวฉลอง	68
4.5.2 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต	69
4.6 การประเมินแหล่งกำเนิดของสาร PAHs	70
4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร	76
4.7.1 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs อ่าวฉลอง	77
4.7.2 การวิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดของสาร PAHs อ่าวภูเก็ต	79
4.7.3 วิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลของสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่าง	82
4.8 การวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbons	89
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
5.1 สรุปผลการวิจัย	91
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	103
ประวัติผู้เขียน	112

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพเคมี	11
2.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs	13
2.3 ผลการตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตะกอนดินพื้นที่ต่างๆ	16
3.1 สภาพะการทำงานของเครื่อง GC/TOMS	34
3.2 อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อปั่งชี้แหล่งกำเนิด	39
4.1 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard	41
4.2 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b	45
4.3 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ \sum PAHs ₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง	49
4.4 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ \sum PAHs ₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต	52
4.5 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อปั่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง	71
4.6 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อปั่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต	74
4.7 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดจากอ่าวคลอง	78
4.8 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดจากอ่าวภูเก็ต	81
4.9 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลักของสาร PAHs อ่าวคลอง	87
4.10 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลักของสาร PAHs อ่าวภูเก็ต	88

รายการรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวฉลอง	25
3.2 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต	26
3.3 อุปกรณ์เก็บตะกอนดิน (van Veen grab Sampler)	27
3.4 เก็บตัวอย่างตะกอนดินใส่อะลูมิเนียมฟอยล์	27
3.5 การทำตัวอย่างตะกอนดินให้แห้งด้วยวิธี freeze dry	28
3.6 ชุดสกัดแบบ Soxhlet	29
3.7 เครื่อง Rotary evaporator	30
3.8 เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน	30
3.9 การแยกส่วน (fractionation) คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography)	31
3.10 แผนผังสรุปวิธีการสกัดและวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดิน	33
3.11 การทำปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกกับแคลเซียมคาร์บอเนต	37
4.1 โครมาโทแกรม (chromatogram) ของสารมาตรฐานทั้ง 16 ชนิด (1.Nap, 2.Acy, 4.Fl, 5.Phe, 6.An, 7.Fluo, 8.Pyr, 9.B[a]A, 10.Chry, 11.B[b]F, 12.B[k]F, 13.B[a]P, 14.Ind, 15.D[a,h,i]A, 16.B[g,h,i]P)	42
4.2 โครมาโทแกรมของ internal standard (1.D ₁₀ -Ace; 2.D ₁₀ -Fl; 3.D ₁₂ -Per)	42
4.3 โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment (1.Nap, 2.Acy, 3. D ₁₀ -Ace, 4.Ace, 5. D ₁₀ -Fl, 6.Fl, 7.Phe, 8.An, 9.Fluo, 10.Pyr, 11.B[a]A, 12.Chry, 13.B[b]F, 14.B[k]F, 15.B[a]P, 16. D ₁₂ -Per, 17.Ind, 18.D[a,h,i]A, 19.B[g,h,i]P)	43
4.4 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง สถานี C25	43
4.5 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินท่าเทียบเรือประมงรัชฎา สถานี R(A)	44
4.6 ระดับความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดิน จากอ่าวฉลอง เรียงตามลำดับความเข้มข้น	48

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ระดับความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต เรียงตามลำดับความเข้มข้น	51
4.8 ลักษณะการกระจายตัวของ $\sum\text{PAHs}_{15}$ ในตะกอนดินบริเวณอ่าวฉลอง	55
4.9 ลักษณะการกระจายตัวของ $\sum\text{PAHs}_{15}$ ในตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต	56
4.10 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs 2-3 วง ในตะกอนดินอ่าวฉลองและอ่าวภูเก็ต	57
4.11 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs 4-6 วง ในตะกอนดินอ่าวฉลองและอ่าวภูเก็ต	58
4.12 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวฉลอง	59
4.13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต	64
4.14 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ในตะกอนดินอ่าวฉลอง	68
4.15 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิด	69
4.16 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) An/(An+Phe) กับ Fluo / (Fluo+Pry) และ (ข) B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/Ind+B[g,h,i]P ในตะกอนดินอ่าวฉลอง	72
4.17 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pry) และ (ข) B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/Ind+B[g,h,i]P ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต	75
4.18 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในตะกอนดินอ่าวฉลอง ด้วยเทคนิค PCA ที่ค่า Rotated Component Matrix แต่ละชนิด > 0.6	79
4.19 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค PCA ที่ค่า Rotated Component Matrix แต่ละชนิด > 0.6	82
4.20 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวฉลอง ด้วยเทคนิค PCA	83
4.21 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวฉลอง ด้วยเทคนิค PCA	84

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 Dendogram การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง ด้วยเทคนิค HCA	85
4.23 Dendogram การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค HCA	86
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ \sum PAHs ในตะกอนดินอ่าวคลอง	89
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ \sum PAHs ในตะกอนดินอ่าวคลอง	90

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

DCM	Deuterated-Fluorene
ERL	Effect Range Low
ERM	Effects Range Median
GC/TOFMS	Gas Chromatograph Time of flight Mass Spectrometry
HCA	Hierarchical Cluster Analysis
HMW	High-Molecular-Weight
LMW	Low-Molecular-Weight PAHs
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PCA	Principal Component Analysis
PEL	Probable Effects Level
POP	Persistent Organic pollutants
SLC	Screening Level Contamination
SRM	Standard Reference Material
TEL	Threshold Effect Level

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ; PAHs) จัดเป็นสารมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่มีความคงตัว (Persistent Organic pollutants: POPs) ย่อยสลายได้ยาก (Rodrigo, *et al.*, 2008; Gan, *et al.*, 2009) เมื่อสาร PAHs ปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะถูกถ่ายทอดและสะสมผ่านห่วงโซ่อาหาร หากว่าสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะมนุษย์ได้รับสาร PAHs ในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของฮอร์โมนชนิดต่างๆ และก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ อันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (Hites, *et al.*, 1997; Long *et al.*, 1995) แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic source) เช่น การปล่อยควันจากท่อไอเสีย การปนเปื้อนจากน้ำมัน น้ำเสียจากชุมชน และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Qiao, *et al.*, 1999; Gocht, *et al.*, 2001; Xu, *et al.*, 2009)

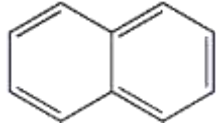
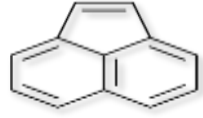
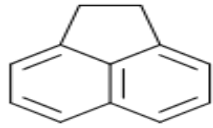
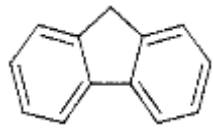
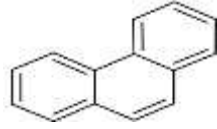
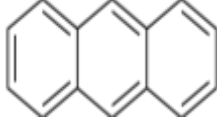
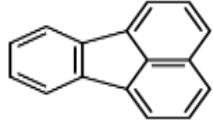
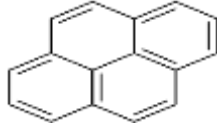
องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency: US-EPA) กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด เป็นสารพิษพียงระวัง (priority pollutants) ที่ต้องให้ความสำคัญ และริบกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อม ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Ace), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phe), Anthracene (An), Fluoranthene (Fluo), Pyrene (Pyr), Benzo[a]anthracene (B[a]A), Chrysene (Chry), Benzo[b]fluoranthene (B[b]F), Benzo[k]fluoranthene (B[k]F), Benzo[a]pyrene (B[a]P), Indeno (1,2,3-cd) pyrene (Ind), Dibenzo[a,h]anthracene (D[a,h]A) และ Benzo[g,h,i]perylene (B[g,h,i]P) แสดงดังตารางที่ 1.1 ซึ่ง US-EPA และองค์การอนามัยโลก (World Health Organisation: WHO) ได้จัดให้สาร PAHs เป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อกลายพันธุ์ ได้แก่ B[a]P, B[a]A, B[b]F, B[k]F และ Ind (Grariviat, 1999; Lehto, *et al.*, 2000; Hong, *et al.*, 2017) สำหรับประเทศไทยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสาร PAHs ยังมีน้อย ในขณะที่กิจกรรมของมนุษย์ทำให้เกิดการปนเปื้อนสาร PAHs

ในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้โอกาสที่สาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนดินจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

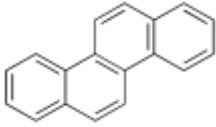
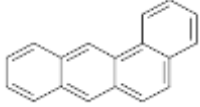
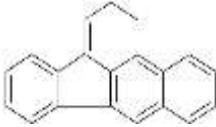
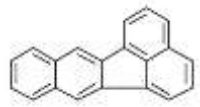
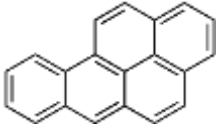
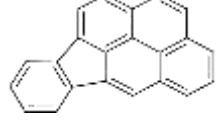
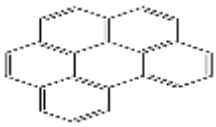
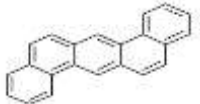
ปัจจุบันจังหวัดภูเก็ต เป็นสถานที่ท่องเที่ยวอีกแห่งหนึ่งที่ได้รับคามนิยมจากนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติ ทำให้ในแต่ละปีมีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงมีการพัฒนาท่าเทียบเรือเพื่ออำนวยความสะดวก และเป็นศูนย์กลางในการเดินทางไปยังเกาะต่างๆ ดังนั้นอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการให้บริการท่องเที่ยวทางเรือ โดยมีการดำเนินกิจกรรมทางเรือในด้านต่างๆ ได้แก่ ท่าเทียบเรือ ท่าจอดเรือยอร์ชส่วนตัว ธุรกิจเรื่อนำเที่ยว และการประกอบอาชีพการประมง เป็นต้น (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2557) ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวล้วนส่งผลทำให้พื้นที่ทั้งสองมีโอกาสปนเปื้อนสาร PAHs

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่ออ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต โดยใช้สาร PAHs เป็นตัวชี้วัด เนื่องจากความเข้มข้นองค์ประกอบ การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs ในตะกอนดิน สามารถบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะ เป็นต้น หรือมาจากการรั่วไหลของน้ำมันที่เกิดจากกิจกรรมการท่องเที่ยวทางทะเล การทำการประมงบริเวณชายฝั่ง เป็นต้น จากแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ดังที่กล่าวมาแล้ว บ่งชี้ว่าน่าจะมีการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีการพัฒนาท่าเรือเพื่อการท่องเที่ยวในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาการแพร่กระจาย การสะสม และระดับการปนเปื้อนของสาร PAHs ในพื้นที่ โดยเฉพาะในตะกอนดินจึงมีความสำคัญ เนื่องจากข้อมูลนี้ จะนำไปสู่แนวทางในการปฏิบัติเพื่อติดตามตรวจสอบ รวมทั้งประเมินผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ในพื้นที่ศึกษาเพื่อดำเนินการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ตรงประเด็น และมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.1 สาร PAHs 16 ชนิด ที่ US-EPA กำหนดให้เป็นสารพิษอันตราย

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

ตารางที่ 1.1 สาร PAHs 16 ชนิด ที่ US-EPA กำหนดให้เป็นสารพิษอันตราย (ต่อ)

PAHs	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	โครงสร้างทางเคมี
Chrysene	Chry	228	
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	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Ind	276	
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่และการสะสมตัวของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

1.2.2 เพื่อตรวจสอบระดับความรุนแรงของผลกระทบของกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบนิเวศน์บริเวณชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

1.3.2 วิเคราะห์หาสาร PAHs ในตะกอนดินโดยการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบและความเข้มข้นของสารจำนวน 16 ชนิด ตามมาตรฐานของ US-EPA

1.3.3 จัดทำแผนที่ลักษณะการกระจายตัว และการสะสมของสาร PAHs

1.3.4 ตรวจสอบระดับความรุนแรงของผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อระบบนิเวศน์ โดยเปรียบเทียบมาตรฐานตะกอนดินในต่างประเทศ

1.3.5 จำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs และวิเคราะห์การสะสมตัวของสาร PAHs ตามช่วงเวลาที่มีการพัฒนาด้านการท่องเที่ยวตลอดทศวรรษที่ผ่านมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถระบุความรุนแรงของผลกระทบจากกิจกรรมในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

1.4.2 สามารถตรวจสอบการปนเปื้อนสาร PAHs ในตะกอนดิน

1.4.3 ข้อมูลสำหรับการประเมินความเสี่ยง และผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

1.5 กรอบแนวคิดของการวิจัย

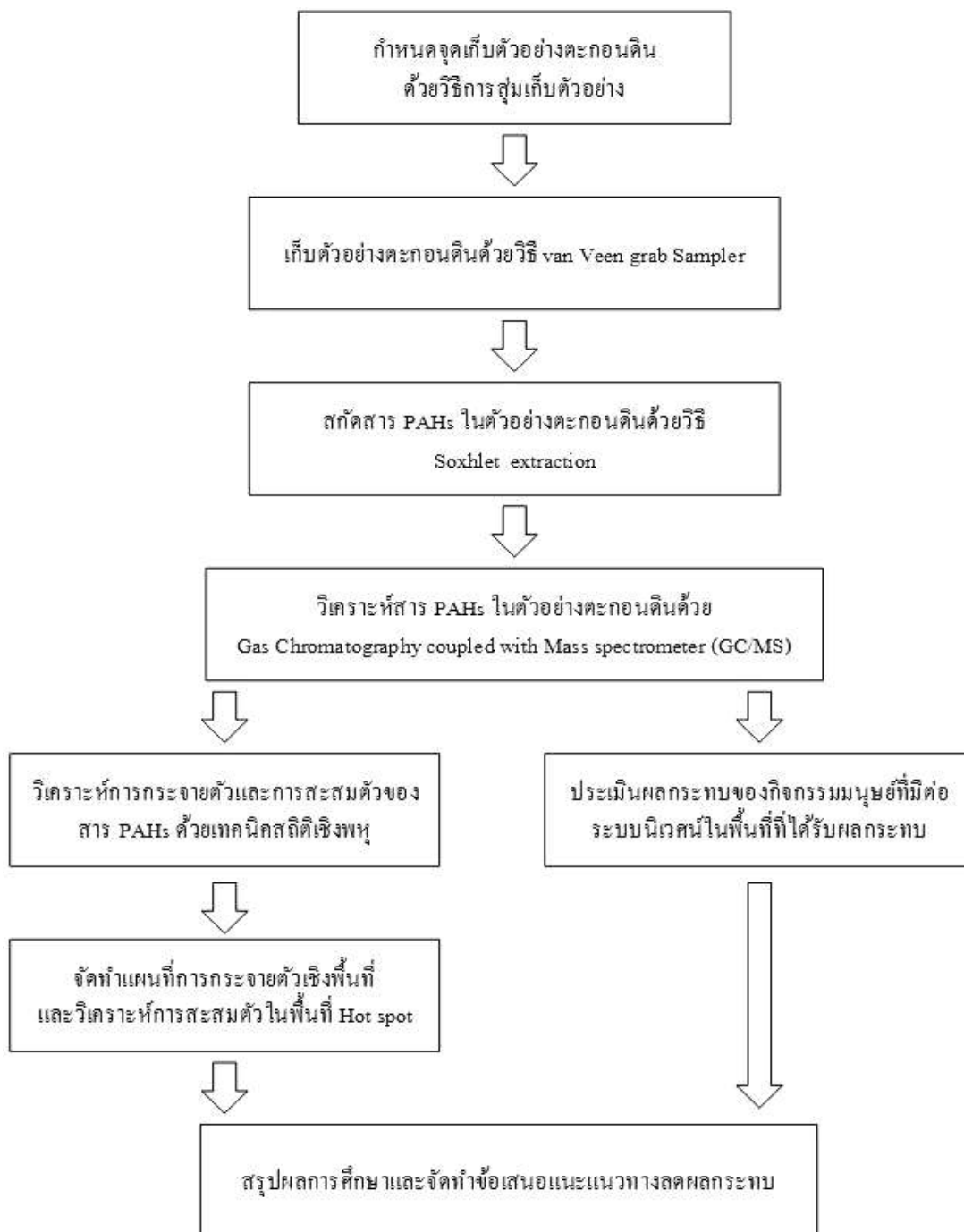
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อระบบนิเวศน์บริเวณชายฝั่งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต โดยจะใช้เกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน (Sediment Quality Guideline: SQG) ที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยในหลายทศวรรษที่ผ่านมา (Long, *et al.*, 1995, 1998; Swartz, 1999) ซึ่งค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่ได้ อาศัยแนวคิดที่ทำการเพิ่มความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดจนถึงขีดจำกัด (Threshold level) ของสิ่งมีชีวิตหน้าดิน (Benthic species) ที่ทนต่อความเป็นพิษของสาร PAHs นั้นๆ ได้ หรือที่เรียกว่า Hazard quotient approach (Swartz, 1999) เกณฑ์คุณภาพตะกอนดินที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงผลกระทบที่มีต่อระบบนิเวศน์ทางทะเลที่ได้รับความนิยม เช่น ERLs, TELs, SLCs, ERM และ PELs แสดงในตารางที่ 1.1 อีกทั้งพื้นที่บริเวณชายฝั่งได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างสูงตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมา ประกอบกับการมีท่าเทียบเรือ ดังนั้นหากสามารถทราบระดับความรุนแรงของผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs จะทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงและผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ อีกทั้งสามารถติดตามตรวจสอบ เพื่อดำเนินการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์คุณภาพตะกอนดินของสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในตะกอนชายฝั่ง (ng g⁻¹)

PAHs	NOAA TEL marine ^a	TEL ^b	ERL ^b	SLC ^b	NOAA PEL marine ^a	PEL ^b	ERM ^b
Phe	86.68	90	240	270	86.68	540	1500
An	46.85	50	90	160	543.53	240	1100
LMW PAHs	311.7	-	-	-	1442	-	-
Fluo	112.82	110	600	640	1493.54	1490	5100
Pyr	152.66	150	660	660	1397.6	1400	2600
B[a]A	74.83	70	260	260	692.53	690	1600
Chry	107.77	110	380	380	845.98	850	2800
B[b]F	-	70	320	320	-	710	1880
B[k]F	-	60	280	280	-	610	1620
B[e]P	-	-	-	-	-	-	-
B[a]P	88.81	90	430	400	763.22	760	1600
Ind	-	-	-	-	-	-	-
D[a,h]A	62.2	-	63.4	-	134.61	-	260
B[g,h,i]P	-	-	-	-	-	-	-
HMW PAHs	655.34	-	1700	-	6676.14	-	9600
Total PAHs	1684.6	870	3500	4090	16770.4	8040	23580

SLC, screening level contamination; TEL, threshold effect level; ERL, effect range low; NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration; LMW, low-molecular-weight PAHs; HMW, high-molecular-weight; PEL, Probable Effects Level; ERM, Effects Range Median

^aNOAA 1999 ^bSwartz (1999)



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยวงเบนซีนที่ต่อกันในลักษณะเป็นวงแหวน 5 เหลี่ยม (furan) หรือ 6 เหลี่ยม (benzene) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็น เส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบหลัก (Blumer, 1976; Netto, *et al.*, 2000) สาร PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (non-polar) จึงละลายน้ำได้น้อย ในสิ่งแวดล้อมมักเกาะกับอนุภาคฮิวมิคในดินหรือสะสมในสิ่งมีชีวิต ทำให้มีแนวโน้มของการปนเปื้อนและคงทนในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน (Ying, *et al.*, 2009)

สาร PAHs สามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ ทั้งทางน้ำ อากาศ และดิน แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การรั่วไหลของน้ำมัน การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ถ่านหิน และน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้สาร PAHs สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติจาก เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟป่า และการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของสาร PAHs จะลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลหรือจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง จะมีจุดเดือดสูง ความดันไอต่ำ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีจึงเกิดขึ้นได้ยากกว่าสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ทำให้สาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมรวมถึงดินตะกอนได้นาน โดยทะเลจะเป็นแหล่งรองรับสาร PAHs ในลำดับสุดท้าย ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการละลายของสาร PAHs อีกประการหนึ่ง คือ อุณหภูมิ และความเค็ม เมื่ออุณหภูมิและความเค็มในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น มีผลต่อสาร PAHs แตกต่างกันตามชนิด เช่น Phe และ An จะมีความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ และความเค็มเพิ่ม (Gary and Sam, 1985)

2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร PAHs

สาร PAHs เป็นกลุ่มของสารที่มีลักษณะของแข็งสีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียว มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ในช่วง 218- 536 และ 80-278°C (Ying, *et al.*, 2009) แสดงดังตารางที่ 2.1 ในธรรมชาติจะไม่พบสาร PAHs อยู่เดี่ยว ๆ มักพบปะปนอยู่กับสารอื่นเสมอ เนื่องจากสาร PAHs มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย เมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะรวมตัวหรือเกาะติดกับคอลลอยด์ดินตกตะกอนสะสมอยู่ในตะกอนดิน และมักพบว่าปริมาณสาร PAHs ในดินตะกอนมีสะสมสูงกว่าในน้ำหลายเท่า (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547)

สาร PAHs จะเรืองแสงภายใต้รังสียูวี ซึ่งส่วนใหญ่จะเรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์ โดย PAHs ที่เป็นไอโซเมอร์กันแต่ละไอโซเมอร์จะมีสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสียูวีที่แตกต่างกัน ซึ่งมีประโยชน์ในการจำแนก ซึ่งในการตรวจวัดปริมาณ PAHs จะใช้ใช้แก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งมีดีเทคเตอร์เป็นแบบ FID หรือ mass spectroscopy หรือใช้ chromatography ของเหลวที่มีดีเทคเตอร์เป็น mass spectroscopy แบบใช้แสงยูวี หรือใช้ Fluorescence mass spectroscopy Technique (กองเวชกรรมป้องกัน กรมแพทยทหารเรือ, 2556)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพเคมี

PAHs	จำนวน วงแหวน	จุด หลอมเหลว (C°)	จุด เดือด (C°)	ความสามารถ ในการละลาย (mg/l)	ความดันไอ (torr at 20°C)
Naphthalene	2	80	218	31.5	4.9×10^{-2}
Acenaphthylene	3	92	265	3.93	2.9×10^{-2}
Acenaphthene	3	96	279	3.47	2.9×10^{-2}
Fluorene	3	116	293	1.98	1.3×10^{-2}
Phenanthrene	3	101	340	1.29	6.9×10^{-4}
Anthracene	3	216	340	0.07	1.9×10^{-7}
Fluoranthene	4	111	375	0.26	6.0×10^{-6}
Pyrene	4	149	360	0.14	6.9×10^{-7}
Benzo[a]anthracene	4	158	400	0.014	5.0×10^{-9}
Chrysene	4	255	448	0.002	6.3×10^{-7}
Benzo[b]fluoranthene	5	168	481	1.2×10^{-3}	5.0×10^{-7}
Benzo[k]fluoranthene	5	217	480	5.5×10^{-4}	5.0×10^{-7}
Benzo[a]pyrene	5	179	496	3.8×10^{-3}	5.0×10^{-7}
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6	163	536	0.062	1.0×10^{-10}
Dibenzo[a,h]anthracene	6	278	500	2.6×10^{-4}	1.0×10^{-10}
Benzo[g,h,i]perylene	5	267	524	5.0×10^{-4}	1.0×10^{-10}

ที่มา : (Mabey, *et al.*, 1982)

2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

สาร PAHs มีแหล่งกำเนิดหลักจาก 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ

- 1) แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (natural source) เช่น ไฟป่า, ภูเขาไฟระเบิด, จากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียบางชนิด จากพืชชั้นสูงที่มี triterpenoid หรือจากการย่อยสลาย triterpenoid หรือ steroid ในดินตะกอนที่ทับถมกัน โดยที่ triterpenoid มีสารตั้งต้นเป็นกลุ่ม aliphatic isopenoid ที่เรียกว่า squalene ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ (Budzinski, *et al.*, 1997)
- 2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic source) เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ก๊าซโซลีน, ถ่านหิน, น้ำมันดีเซล, คาร์บอนจากท่อไอเสียยานพาหนะ, คาร์บอนหี, การเผาขยะ, การปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ (Qiao, *et al.*, 1999; Gocht, *et al.*, 2001; Nadal, *et al.*, 2004) การกลั่นน้ำมันปิโตรเคมี การขนถ่ายน้ำมัน และการรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน เป็นต้น (Page, *et al.*, 1999; Yunker, *et al.*, 2002) ซึ่งสามารถสรุปที่มาของ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ได้ดังนี้
 - สาร PAHs ที่เกิดจากปิโตรเลียม (petrogenic source) คือ สาร PAHs ที่มาจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมโดยตรง ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2-3 วง ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene และ Fluorene
 - สาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน, ถ่านหิน และไฟป่า โมเลกุลที่พบเป็น โมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 3-5 วง เช่น Fluoranthene และ Pyrene

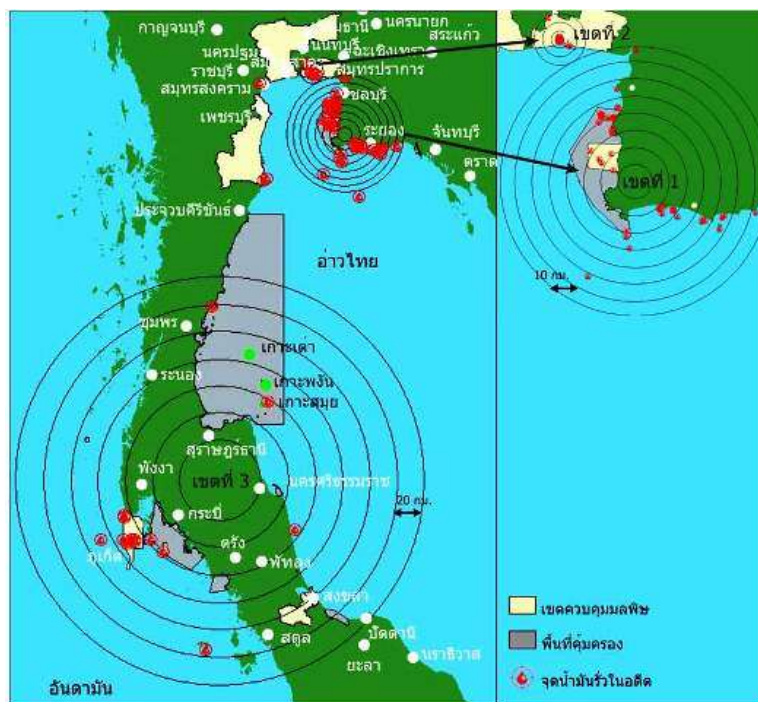
สาร PAHs จะกระจายสู่สิ่งแวดล้อมแล้วถูกสะสมในดิน ทำให้เกิดการถ่ายโอนสู่ชั้นน้ำใต้ดินตะกอนบริเวณอ่าวทะเล บรรยากาศ ผุ่น ต้นไม้ ผัก และทุกสิ่งทุกอย่างที่สัมผัสกับสารเหล่านี้ได้ทั่วโลก รวมถึงสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้นด้วย ซึ่งปริมาณของ PAHs จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆรวมด้วย (นิมมวล มานพ, 2552) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs กับแหล่งกำเนิด มีความสำคัญในการควบคุม PAHs ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ซึ่งแหล่งกำเนิด PAHs แต่ละแห่งมีการปลดปล่อยชนิดของ PAHs ที่แตกต่างกัน (Simpson, *et al.*, 1996; Kulkarni and Venkataraman, 2000) แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs	ชนิดของสาร PAHs
การเผาไหม้ถ่านหิน	An, Phe, Fluo
การผลิตถ่านโค้ก	An, Phe, B[a]P
การเผาขยะ	Pyr, Phe, Fl
การเผาไหม้ไม้	B[a]P, Fl
การเผาไหม้น้ำมันจากโรงงาอุตสาหกรรม	Fl, Pyr, Chry
การเผาไหม้เบนซินและดีเซลในยานพาหนะ	Pyr, B[b]F, B[k]F, Ind

กรมควบคุมมลพิษได้จำแนกและจัดทำแผนที่เขตความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันออกเป็น 4 เขต แสดงดังรูปที่ 2.1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)



รูปที่ 2.1 เขตความเสี่ยงของการรั่วไหลของน้ำมันในน่านน้ำไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

- เขตที่ 1 มีความเสี่ยงสูงมาก ได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม มีกิจกรรมการขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือและกลางทะเล มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น
- เขตที่ 2 มีความเสี่ยงสูง ได้แก่ บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาถึงท่าเรือคลองเตย เป็นเส้นทางหลักของเรือบรรทุกน้ำมัน เรือสินค้า และเรือโดยสาร อีกทั้งเป็นที่ตั้งคลังน้ำมันหลายแห่งริมฝั่งแม่น้ำ
- เขตที่ 3 มีความเสี่ยงสูงปานกลาง ฝั่งทะเลอ่าวไทย ได้แก่ อ่าวไทยด้านตะวันตก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ พัทลุง และสงขลา และฝั่งทะเลอันดามัน ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดระนอง พังงา กระบี่ ตรัง และสตูล น้ำมันรั่วไหลอาจเกิดจากเรือบรรทุกน้ำมันที่เดินทางเข้าออกช่องแคบมะละกา การขนถ่ายน้ำมัน ท่าเรือน้ำลึก และท่าเรือโดยสาร ฯลฯ
- เขตที่ 4 มีความเสี่ยงต่ำ ได้แก่ พื้นที่บริเวณฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน นอกเหนือจากที่ระบุไว้ใน 3 เขตข้างต้น

2.4 สาเหตุของการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสาร PAHs

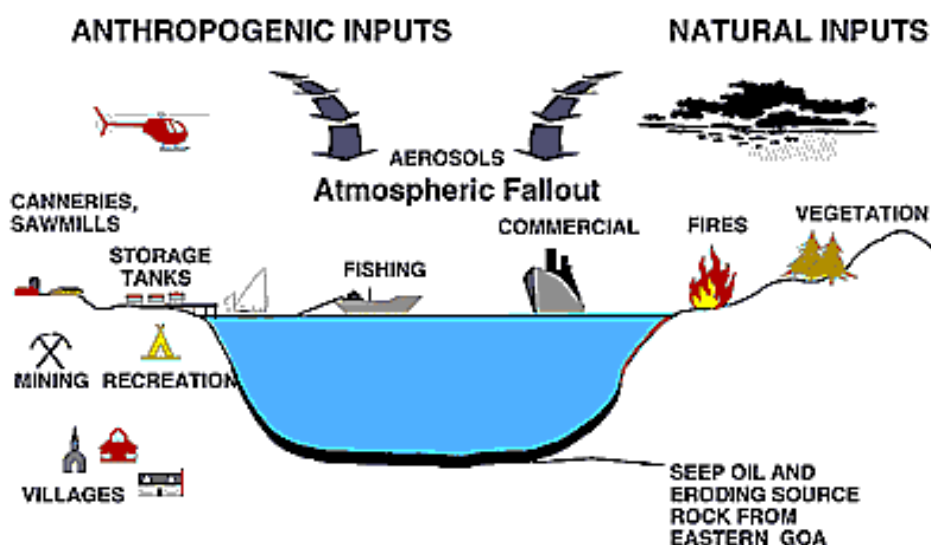
เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำ น้ำมันจะแผ่กระจายไปตามผิวน้ำ ส่วนประกอบที่ระเหยได้ก็จะระเหยไปในอากาศ บางส่วนก็จะละลายน้ำ ส่วนที่เคลือบผิวน้ำก็จะกีดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างน้ำกับอากาศ และกีดกั้นการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ ความหนืดของน้ำมันยังทำให้น้ำมันเกาะติดเป็นคราบกับของแข็งแขวนลอยและถูกพัดพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิด รวมทั้งเกาะติดกับปีกนกหรือร่างกายของสัตว์ที่อาศัยอยู่ทั้งในน้ำและบนผิวน้ำ (จรรยา สารินทร์, 2537)

สาร PAHs ในบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคของฝุ่น (Simcik, *et al.*, 1999) เมื่อฝนตกจะเกิดการชะล้างพัดพาอนุภาคของสาร PAHs ตกลงสู่พื้นดิน (ัญญภัตต์ ทองเย็น, 2552) จึงมีโอกาสเคลื่อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินและทำให้น้ำใต้ดินมีการปนเปื้อน เนื่องจากคุณสมบัติของ

สาร PAHs มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ดังนั้นหากมีการปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินจะทำให้เกิดการปนเปื้อนเป็นเวลานาน ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าน้ำใต้ดินหรือที่เรียกว่าน้ำบาดาลเป็นทรัพยากรน้ำแหล่งสำคัญสำหรับการอุปโภคบริโภค ดังนั้นผลกระทบจากการปนเปื้อน PAHs ในน้ำใต้ดินจะไม่เป็นที่ตระหนักจนกระทั่งปรากฏผลต่อสุขภาพของประชาชนผู้ใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคบริโภค การปลดปล่อยสาร PAHs จากแหล่งกำเนิดต่างๆขึ้นบรรยากาศแล้วแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำ ต้องผ่านขั้นตอนทางธรรมชาติหลายขั้นตอนในการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม แสดงดังรูปที่ 2.2

ขนาดอนุภาคของตะกอนดินและปริมาณอินทรีย์สาร เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) ซึ่งสาร PAHs สามารถสะสมในตะกอนดินที่มีอนุภาคละเอียดมากกว่าขนาดอนุภาคหยาบ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก (Breedveld and Karlsen, 2000) ทั้งนี้การกระจายตัวของสาร PAHs มีความเฉพาะเจาะจงตามแต่ละพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับขนาดของตะกอนดิน (Huang, *et al.*, 2012)

เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินประเทศไทยกับต่างประเทศพบว่าบริเวณ Haihe River ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่ใหญ่ที่สุดเป็นอันดับ 3 ของจีน สาเหตุการปนเปื้อนสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน มีค่าระดับการปนเปื้อนของสาร PAHs อยู่ในช่วง 775-255,372 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (Bin, *et al.*, 2007) แสดงดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.3 ผลการตรวจวัดระดับการปนเปื้อนของสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตะกอนดินพื้นที่ต่าง ๆ

พื้นที่	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	อ้างอิง
Haihe River, Tianjin (China)	775-255,372	128,074	(Bin , <i>et al.</i> , 2007)
Yellow River (China)	464-2,621	1,542.5	(Xu, <i>et al.</i> , 2007)
Gulf of Mexico (Maxico)	ND – 1,033	140	(Wade, <i>et al.</i> , 2008)
Yangtze Estuary (China)	90.1 - 502	221	(Li, <i>et al.</i> , 2012)
Luan River Estuary (China)	5.1 – 545.1	120.8	(Zhang, <i>et al.</i> , 2016)
ท่าเรือคลองเตย	2,200-4,500	3,350	(วรัญญา วิรุพหพล, 2533)
อ่าวศรีราชา จ.ชลบุรี	1,310-3,590	2,452	(วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)
ปากแม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	220-1,520	870	(จิราณีย์ ไชยปวิวงศ์, 2544)
อ่าวไทย	21.6-216	75.5	(นฤมล บัวงาม, 2557)

ND: not detected and indicates

2.5 การเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

เมื่อสาร PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

1) การย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์

เชื้อราที่ย่อยสาร PAHs มีหลายกลุ่ม ได้แก่ เชื้อราไมสีย เช่น *Gunninghamella elegans*, แอสโคไมสีย เช่น *Aspergillus niger*, บาซิลิโอสไมสียแบบ whrite rot เช่น *Phanerochaete chrysosporium* และบาซิลิโอสไมสียแบบ brown rot เช่น *Lentinus lepideus* ซึ่งโดยทั่วไปเชื้อราไม่ได้ใช้สาร PAHs เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน เพียงแต่เปลี่ยนรูป (transformation) สาร PAHs แต่ไม่ได้ย่อยสลายสาร PAHs อย่างสมบูรณ์ จนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ แต่การย่อยสลายของเชื้อราไม่ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับแบคทีเรีย (วิลลิกษณ์ โคมพันธ์ และ วราภรณ์ นุชฉาย, 2554)

1) การย่อยสลายด้วยแสง

สาร PAHs มีความไวต่อการออกซิไดซ์โดยแสง (photooxidation) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวโดยแสง (photodegradation) ของสาร PAHs คือ อุณหภูมิ ความเค็ม และชนิดของสาร PAHs ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์โดยแสงของสาร PAHs ที่มีการแทนที่ของไนโตรเจนจะเกิดขึ้นช้ากว่าในกรณีที่ไม่มีการแทนที่ของไนโตรเจน ผลที่ได้จากปฏิกิริยา photooxidation จะถูกอนุภาคของตะกอนดินดูดซับไว้ (Gary and Sam, 1985)

2) การแตกสลายด้วยน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นได้น้อยมาก และการรวมตัวกับดิน เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ จึงยึดเกาะกับอนุภาคของดินหรือดินตะกอน (Breedveld and karlsen, 2000)

2.6 ความเป็นพิษของสาร PAHs

อันตรายจากสาร PAHs ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ร่างกายมนุษย์ได้รับ โดยสาร PAHs สามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และการหายใจเอาอากาศที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนเข้าไป ส่งผลให้เกิดการกลายพันธุ์ ความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ ระบบการเจริญเติบโต และความผิดปกติของเซลล์อันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (Hoffman, *et al.*, 1984) เมื่อสาร PAHs เข้าสู่ร่างกายแล้วจะสะสมที่ไขมัน ตับ และไต เป็นส่วนใหญ่ แต่บางส่วนจะถูกขับถ่ายออกทางปัสสาวะและอุจจาระ (Jacob, *et al.*, 2009) โดยทั่วไปสาร PAHs เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจะพบความเป็นพิษเรื้อรัง การได้รับแบบเรื้อรังอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่างๆของร่างกายได้ แต่อาการไม่รุนแรงนัก ความเป็นพิษที่สำคัญของสาร PAHs คือ ความสามารถในการก่อมะเร็งในอวัยวะหลายชนิดแต่ไม่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาตัวอ่อนและพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต (จิตรลดา มุประสิทธิ์, 2552)

2.7 พื้นที่ในการศึกษา

จังหวัดภูเก็ตมีลักษณะเป็นเกาะที่ตั้งอยู่ตามชายฝั่งทะเล มีลักษณะทางธรณีวิทยาคล้ายคลึงกับแผ่นดินใหญ่ เป็นเกาะที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 1.75 ล้านไร่ ซึ่งพื้นที่ร้อยละ 70 ของจังหวัดเป็นภูเขาทอดยาวตามแนวเหนือใต้และอีกร้อยละ 30 เป็นที่ราบฝั่งตะวันตกของเกาะเป็นภูเขา ทางทิศเหนือและด้านตะวันออกเฉียงเหนือเป็นที่ราบสูง ขณะที่ด้านตะวันออกเป็นที่ราบ สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 529 เมตร จังหวัดภูเก็ตถือว่าเป็นสถานที่อีกแห่งหนึ่งที่ได้รับการนิยมนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในเรื่องของหาดทรายที่สวยงาม น้ำทะเลใสที่เหมาะสมสำหรับการดำน้ำดูปะการัง และนอกจากนี้ยังครบครันด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ทำให้ในแต่ละปีมีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมาก (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2557)

2.7.1 อ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต

อ่าวฉลองเป็นแหล่งบริการท่องเที่ยวทางเรืออีกพื้นที่หนึ่งในจังหวัดภูเก็ต ที่ดำเนินกิจกรรมทางเรือในด้านต่างๆ ได้แก่ ท่าเทียบเรือ ท่าจอดเรือยอร์ชส่วนตัว ธุรกิจเรือนำเที่ยว และการประกอบอาชีพการประมง เป็นต้น การพัฒนาของท่าเทียบเรืออ่าวฉลองมีวัตถุประสงค์เพื่อให้จังหวัดภูเก็ตมีท่าเทียบเรือที่สวยงาม ทันสมัย และเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวจำนวนมากที่จะเดินทางไปยังเกาะต่าง ๆ เช่น เกาะเฮ เกาะราชาใหญ่ โดยมีท่าเทียบเรืออ่าวฉลองเป็นศูนย์กลางในการเดินทาง จากการพัฒนาของท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง (กรมเจ้าท่า, 2556)

ท่าเทียบเรืออ่าวฉลองตั้งอยู่หมู่ที่ 9 ตำบลฉลอง อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต มีเนื้อที่ 7 ไร่ 1 งาน 60 ตารางวา อยู่ห่างจากตัวเมือง 11 กิโลเมตร โดยองค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ตได้ดำเนินการก่อสร้างท่าเทียบเรือท่องเที่ยวอ่าวฉลองตามแผนพัฒนาจังหวัดภูเก็ต ในการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวโดยการอนุมัติตามคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2536 โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจโอเชียเนีย (OECF) ร่วมมือกับกรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย รวมเป็นเงินงบประมาณในการก่อสร้างทั้งสิ้น 147,227,681.10 บาท เพื่อให้ท่าเทียบเรือท่องเที่ยวอ่าวฉลองเป็นศูนย์กลางการลงเรือท่องเที่ยวทางทิศใต้ของจังหวัดภูเก็ตเพื่อการเดินทางไปเที่ยวชมเกาะต่างๆ เช่น เกาะโหลน เกาะเฮ เกาะไม้ท่อน เกาะราชา เกาะไข่น้ำ เกาะพีพี และเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชนซึ่งอาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงได้ใช้เป็นท่าเทียบเรือในการเดินทางสัญจรไปมา (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2557)

2.7.1.1 บทบาทหน้าที่ของท่าเทียบเรืออ่าวคลอง จังหวัดภูเก็ต สามารถจำแนกได้ ดังนี้

- รองรับกิจกรรมการพักผ่อนหย่อนใจทางชายหาดและทางทะเล
- การจัดเตรียมบริการคมนาคมขนส่งทางทะเลและสามารถรองรับนักท่องเที่ยวได้สูงสุด 3,000 คนต่อวัน
- ท่าเทียบเรือสำหรับเรือท่องเที่ยวที่มีกิจกรรมทางทะเล เช่น ดำน้ำ ตกปลาและพายเรือ
- การคมนาคมขนส่งทางทะเลสำหรับชุมชนท้องถิ่น

2.7.1.2 การให้บริการท่าเทียบเรืออ่าวคลอง จังหวัดภูเก็ต (กรมเจ้าท่า, 2556) ท่าเทียบเรืออ่าวคลองมีการบริการ 2 ส่วน ดังนี้

1) การให้บริการหลัก (Core Service)

- การให้บริการการใช้ท่าเทียบเรือ
- การให้บริการขนถ่ายผู้โดยสาร
- การให้บริการขนถ่ายสัมภาระ
- การให้บริการน้ำมัน
- การให้บริการในส่วนของศาลาพักคอย (ร้านค้า, ห้องน้ำ)
- การให้บริการสถานที่จอดรถ

2) บริการเสริม (Value Added Service)

- การให้บริการน้ำจืด
- การให้บริการเช่าพื้นที่ประชาสัมพันธ์และบริการอื่นๆ (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2557)

2.7.1.3 ท่าเทียบเรืออ่าวคลอง สามารถรองรับเรือที่จะเข้ามาเทียบท่า ได้ดังนี้

1) ท่าเทียบเรือขนาดเล็กที่อ่าวคลอง

- รองรับเรือขนาดเล็ก ขนาดกว้างประมาณ 19.50 เมตร ยาวประมาณ 7.50 เมตร

2) ท่าเทียบเรือสำหรับเรือประมงบริเวณอ่าวคลอง

- เรือประมงเรือเล็ก รองรับเรือได้จำนวน 44 ลำ
- เรือขนาด 12 เมตร รองรับเรือได้จำนวน 30 ลำ
- เรือขนาด 16 เมตร รองรับเรือได้จำนวน 8 ลำ

- เรือขนาด 20 เมตร รองรับเรือได้จำนวน 4 ลำ
- เรือขนาด 30 เมตร รองรับเรือได้จำนวน 2 ลำ

2.7.1.4 ชนิดของเรือที่ใช้บริการท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต

ท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต มีผู้ประกอบการเรือบริการท่องเที่ยว และนักท่องเที่ยวทางเรือมาใช้บริการเป็นจำนวนมาก จากการสำรวจขององค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ตในปี พ.ศ. 2553 สามารถจำแนกประเภทชนิดของเรือที่เข้ามาจอดเทียบท่าตามกิจกรรมการท่องเที่ยวได้ 3 ประเภท คือ เรือบริการท่องเที่ยวคาน้ำ เรือบริการท่องเที่ยวตกปลา และเรือเร็ว โดยมีผู้ประกอบการทั้งสิ้น 92 ราย จำนวนเรือรวม 176 ลำ ในจำนวนนี้มีเรือบริการนักท่องเที่ยวคาน้ำมากที่สุด จำนวน 73 ลำ (วาสนา รองพล, 2555)

2.7.2 อ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

อ่าวภูเก็ต ตั้งอยู่ที่บริเวณที่ดินป่าสงวนแห่งชาติ เนื้อที่รวม 371 ไร่ หมู่ที่ 1 ถนนศรีสุทัศน์ ตำบลรัชฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต เปิดดำเนินการเมื่อวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2521 โดยได้รับโอนกิจการและทรัพย์สินขององค์การอุตสาหกรรมท่องเที่ยวใน พ.ศ. 2545 เป็นเงิน 4,479,640 บาท เพื่อให้บริการการจำหน่ายน้ำแข็ง รับฝากสัตว์น้ำแก่ชาวประมง และผู้ประกอบการประมง ต่อมาในปีพ.ศ. 2548 รัฐบาลได้อนุมัติงบประมาณวงเงิน 299,070,000 บาท เพื่อดำเนินการตามโครงการปรับปรุงสุขอนามัยท่าเทียบเรือประมงภูเก็ต โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาคุณภาพสัตว์น้ำตามนโยบายอาหารปลอดภัย และส่งเสริมการส่งออกสินค้าสัตว์น้ำไปต่างประเทศ

ท่าเทียบเรือประมงภูเก็ตได้รับมอบอำนาจจากกรมประมงให้เป็นหน่วยงานในการออกใบรับรองการซื้อขายสัตว์น้ำ (Marine Catch Purchasing Document: MCPD) สำหรับเรือประมงที่เข้ามาขนถ่ายและจำหน่ายสัตว์น้ำที่ท่าเทียบเรือประมงภูเก็ต ตามมาตรการด้านระบบการตรวจสอบและควบคุมการทำประมง IUU (Illegal , Unreported , and Unregulated Fishing) ของรัฐบาล ซึ่งเป็นมาตรการที่สหภาพยุโรปได้นำมาใช้กับประเทศไทย

ปัจจุบันท่าเทียบเรือประมงภูเก็ตได้รับการรับรองจากกรมประมงให้เป็นท่าเทียบเรือประมงสุขอนามัย และมีการตรวจประเมินสุขลักษณะท่าเทียบเรือประมงปีละ 2 ครั้ง

2.7.2.1 เรือประมงที่เข้าเทียบท่า ได้แก่ เรืออวนล้อมจับ เรืออวนลากเรือเบ็ดราวปลาทุ่นา เฉลี่ยวันละ 31 ลำ

2.7.2.2 แผนงานโครงการที่สำคัญ

- โครงการจัดตั้งตลาดศูนย์รวมอาหารทะเล (Sea Food Market Center)

- โครงการจัดตั้งเขตพื้นที่ขนถ่ายปลาหน้าเพื่อการส่งออก
- โครงการพัฒนาพื้นที่เพื่อการประมงร่วมกับการท่องเที่ยว
สันทนาการ (Fisheries Tourism) โดยการจัดทำ TOR เพื่อหา
เอกชนเข้ามาลงทุน

2.7.2.3 การดำเนินงาน (องค์การสะพานปลา, 2557)

- การให้บริการขนถ่าย และจำหน่ายสัตว์น้ำ ทำเทียบ
เรือประมงภูเก็ตมีเทียบเรือประมงสำหรับการขนถ่ายสัตว์
น้ำความยาวรวม 860 เมตร โดยแบ่งการใช้ประโยชน์เป็นทำ
เทียบเรือประมงสำหรับเรือท้องถิ่น ทำเทียบเรือสำหรับ
เรือประมงเบ็ดราวหน้า ทั้งนี้เพื่อให้ ชาวประมงได้นำเรือเข้า
เทียบทำเพื่อจำหน่ายสัตว์น้ำเป็นประจำทุกวันไม่มีวันหยุด
- การควบคุมดูแลคุณภาพสัตว์
- ส่งเสริมสนับสนุนอุตสาหกรรมประมง
- ให้บริการข้อมูลข่าวสารด้านตลาด และสถิติประมง
- ให้สินเชื่อการประมง ให้เครื่องมืออุปกรณ์ ทำการประมง
อุปกรณ์ซ่อมแซมเรือแก่ชาวประมง
- การดำเนินงานตามนโยบายของรัฐบาล และอื่นๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li, *et al.* (2015) เก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณพื้นผิวดิน และลึกลงไป 50 เซนติเมตร จากอ่าว Beibu ทั้งหมด 41 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร PAHs 15 ชนิด จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนพื้นผิวดินอยู่ที่ 3.01-388 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย 95.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) และตัวอย่างตะกอนที่เก็บจากความลึก 50 เซนติเมตร 10.5-87.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 41.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการปนเปื้อนของสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการผลิตถ่านหิน และควันจากยานพาหนะ (39.4%) การเผาไหม้ถ่านหินและชีวมวล (35.8%) และการปนเปื้อนน้ำมัน (24.8%)

Yang, *et al.* (2014) ศึกษาการประเมินผลเชิงปริมาณของสารที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งและไม่ใช้สารก่อมะเร็งของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเลของประเทศจีน โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด และศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพของ PAHs พบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในดิน บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเลของจีน มีต้นกำเนิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน การรั่วไหลของน้ำมัน ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพก่อให้เกิดมะเร็ง โดยสาร PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายได้จากการกลืนกิน การสูดดม และจากการสัมผัสทางผิวหนัง

Soliman, *et al.* (2014) ศึกษาความเข้มข้นขององค์ประกอบ และแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งของกาตาร์ ประเทศอาหรับ โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินทั้งหมด 16 สถานี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด จากการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินพบว่าตัวอย่างตะกอนดินที่เก็บบริเวณชายฝั่งกาตาร์ทั้ง 16 สถานี มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากการรั่วไหลของน้ำมันเครื่องในท่าเรือประมง

Liu, *et al.* (2013) ที่ทำการศึกษาลักษณะของ PAHs โดยการเก็บตัวอย่างพื้นผิวของน้ำทะเล และตะกอนตามแนวชายฝั่งต้าเหลียน ประเทศจีน 20 ตัวอย่างรอบชายฝั่งต้าเหลียน หลังจากการรั่วไหลของน้ำมัน จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่าการกระจายตัวของสาร PAHs ในน้ำทะเลมาจากศูนย์กลางการรั่วไหลของน้ำมัน ส่วน PAHs ในตะกอนดินที่ตรวจพบมาจากการสะสมของสารเคมีที่มาจากการประกอบอุตสาหกรรม

He, *et al.* (2013) ศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณปากแม่น้ำกวน ประเทศจีน จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นรวมของ PAHs อยู่ในช่วง 90-218 นาโนกรัม/กรัม มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 132.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณปากแม่น้ำอื่น ๆ ทั่วโลก ซึ่งจากการศึกษาสามารถระบุแหล่งที่มาของสาร PAHs มีต้นกำเนิดมาจากการปนเปื้อนน้ำมันจากเรือ ไอเสียของเครื่องยนต์จากยานพาหนะ และการเผาไหม้ถ่านหินจากระบบทำความร้อนภายในประเทศ ประกอบกับพื้นที่ดังกล่าวเป็นเขตเศรษฐกิจที่สำคัญ มีอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยวที่แพร่หลาย ทำให้หลีกเลี่ยงการปนเปื้อนได้ยาก

Abdollahi, *et al.* (2013) ศึกษาการปนเปื้อน และการกระจายตัวของพื้นที่ของโลหะหนัก และสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณท่าเรืออ่าวเปอร์เซีย ประเทศอิหร่าน จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินบริเวณท่าเรือพบว่ามีความเข้มข้นของ PAHs โปรท และโลหะหนักอื่นๆ ในปริมาณสูง เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวเป็นท่าเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ มีอุตสาหกรรมปิโตรเคมีตั้งอยู่รอบๆพื้นที่ ส่วนดินตะกอนในบริเวณใกล้เคียงพบว่าการปนเปื้อน PAHs สูง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นเขตอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีการซ่อมแซม

สมภพ รุ่งสุภา (2553) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งและท่าเรือรอบอ่าวไทยตอนบน ในจังหวัดระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี และ ประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 24 สถานี ในเดือนตุลาคม พฤศจิกายน และ ธันวาคม พ.ศ. 2552 และเดือน มีนาคม กรกฎาคม และ กันยายน พ.ศ. 2552 มีค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุด-สูงสุด ได้แก่ 8.68 (0.05-188.50), 3.66 (0.20-51.19), 1.51 (0.13-8.13), 1.99 (0.18-9.45), 5.30 (0.11-53.73) และ 2.24 (0.06-9.12) ไมโครกรัม/ลิตร เทียบกับเคซิน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณปิโตรเลียมรวมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลและท่าเรือรอบอ่าวไทยตอนบน จะมีค่าสูงในช่วงปลายปีที่เป็นฤดูฝนและต่ำในช่วงต้นปีที่เป็นฤดูร้อน ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณชายฝั่ง และท่าเรือบริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออกมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ และสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง สำหรับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลประเภทที่ 5-6 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือและคุณภาพน้ำทะเลสำหรับเขตชุมชนที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 ไมโครกรัม/ลิตร เทียบกับเคซิน

กนกวรรณ ขาวค้อน และคณะ (2552) การปนเปื้อนและการแพร่กระจายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน ทำการเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 13 สถานี โดยการออกสำรวจทั้งสิ้น 3 ครั้ง ในเดือนเมษายน สิงหาคม และธันวาคม พ.ศ. 2550 โดยนำตัวอย่างมาสกัดแยกปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนโดยใช้เฮกเซน แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง UV Fluorescence Spectrophotometer พบว่าการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลโดยเฉลี่ยจากทุกสถานีตลอดทั้งปีมีค่า 5.79 ± 7.80 ไมโครกรัม/ลิตร โดยสถานีบริเวณกลางอ่าวไทยตอนบนมีการปนเปื้อนสูงที่สุด ถัดมาเป็นสถานีบริเวณปากแม่น้ำเพชรบุรีและหาดพัทยา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (เมษายน) ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (สิงหาคม) และช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธันวาคม) พบว่ามีค่าเฉลี่ย 2.04 ± 0.91 , 3.89 ± 5.77 , 11.6 ± 10.22 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสูงในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มากกว่าในช่วงฤดูอื่นของปี

Wang, *et al.* (2015) เก็บตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าว Bohai และตะกอนดินจากแม่น้ำที่อยู่ติดกันของประเทศจีน มาวิเคราะห์หาสารประกอบแอลิแฟติก, PAHs และตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarkers) เพื่อตรวจสอบการกระจาย องค์ประกอบและแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการปนเปื้อนของสารอินทรีย์มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปนเปื้อนจากแท่นขุดเจาะน้ำมันและการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ และมาจากกระบวนการทางธรรมชาติ จากการวิเคราะห์ความเป็นพิษพบว่าสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินก่อให้เกิดผลกระทบทางชีวภาพทั้งอ่าว Bohai และแม่น้ำที่อยู่ติดกัน

การสะสมของสาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ ทำให้เกิดการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณ Prince William Sound อ่าว Alaska จากการศึกษาในบริเวณใกล้เคียงฝั่งเพื่อที่จะทราบถึงประวัติกิจกรรมของมนุษย์ พบว่าในอดีตมีปริมาณสาร PAHs อยู่ในระดับที่สูงมาก สาเหตุมาจากการเกิดไฟไหม้ป่า ทำให้สาร PAHs ตกลงมาสะสมในตะกอนดินร่วมกับสาร PAHs ที่มาจากการรั่วซึมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มาจากบริเวณตะวันออกขั้วอ่าว Alaska นอกจากนี้ยังพบสาร PAHs ส่วนหนึ่งมาจากละอองน้ำมันที่มาจาก Exxon Valdez ซึ่งเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณสาร PAHs ทั้งหมด (Page, *et al.*, 1999)

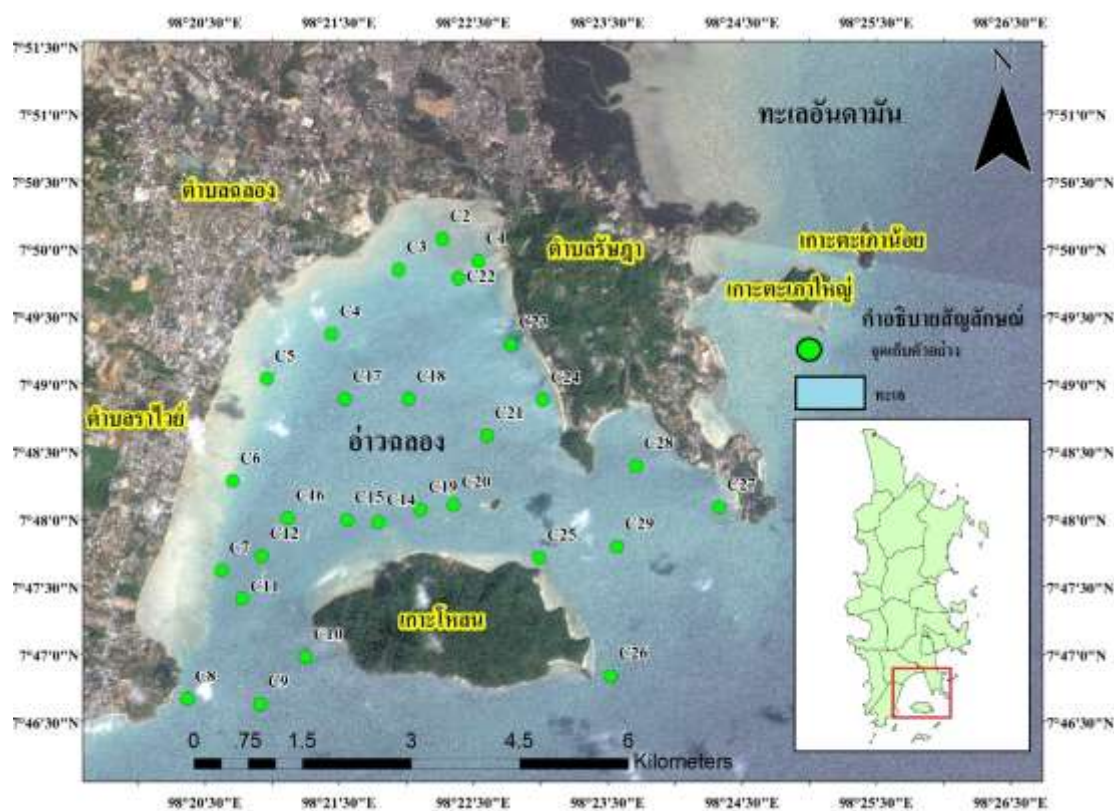
Kim, *et al.*, 1999 ศึกษาการแพร่กระจายและแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าว Kyeonggi ประเทศเกาหลี พบว่าปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง มีค่าเฉลี่ย 120 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs มากที่สุดบริเวณใกล้แหล่งกำเนิด และมีปริมาณน้อยลงเมื่อห่างจากแหล่งกำเนิด

บทที่ 3

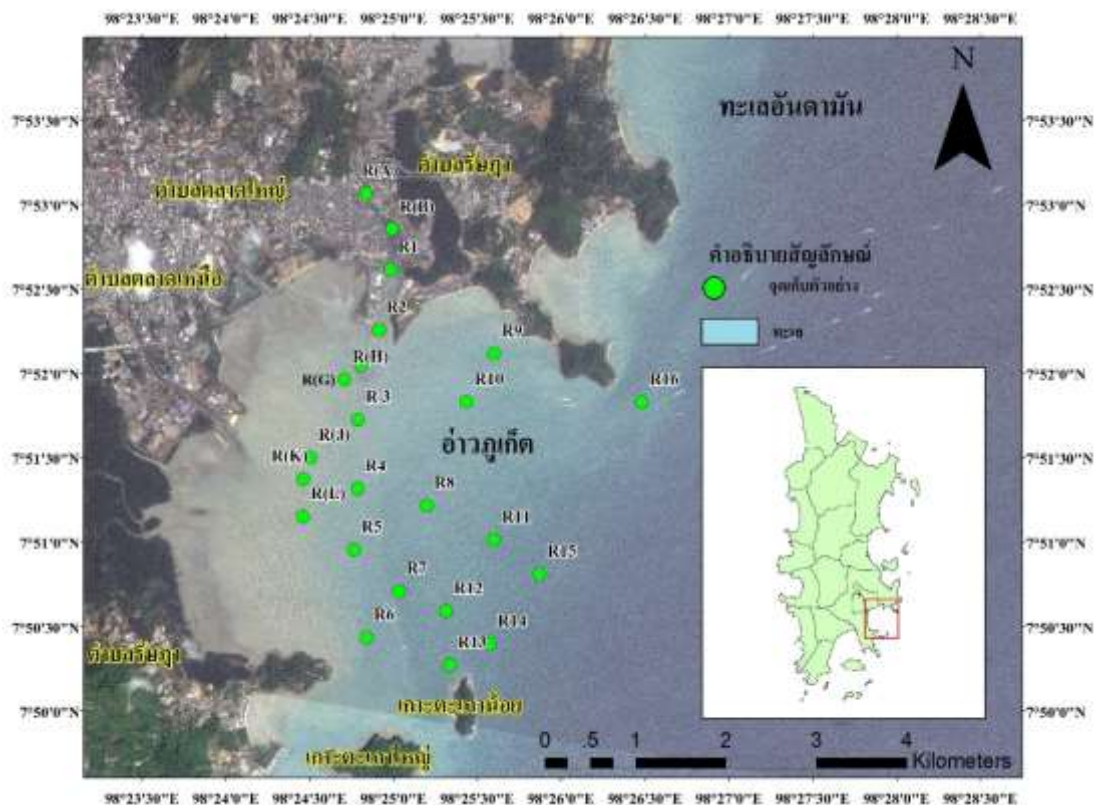
วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวคลอง จังหวัดภูเก็ต จำนวน 28 สถานี และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต จำนวน 23 สถานี ด้วย van Veen grab Sampler แสดงดังรูปที่ 3.1 และแสดงดังรูปที่ 3.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวคลอง



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต

- วิธีเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา

เก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วย van Veen grab Sampler แสดงดังรูปที่ 3.3 เทตัวอย่างในภาชนะแบนเลส และใช้ช้อนสแตนเลสตักเฉพาะตะกอนดินที่อยู่ด้านบน ใส่ในอะลูมิเนียมฟอยล์ แสดงดังรูปที่ 3.4 ห่อให้มิดชิด บรรจุลงถุงซิปล็อค ริดอากาศออกให้หมด ปิดให้สนิท และบันทึกรายละเอียดพิกัดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง เก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตะกอนดิน (van Veen grab Sampler)



รูปที่ 3.4 เก็บตัวอย่างตะกอนดินใส่อะลูมิเนียมฟอยล์

3.2 การล้างเครื่องแก้วและภาชนะ

เครื่องแก้วและภาชนะทุกชิ้น ก่อนใช้งานต้องทำความสะอาดด้วยกรดโครมิก (chromic acid) ล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นนำมาแช่ในกรดไนตริก ที่ไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง

ล้างทำความสะอาด อบเครื่องแก้วที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วที่อุณหภูมิ 150°C นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นชะด้วย DCM ฟิ้งอุปกรณ์และเครื่องแก้วให้แห้ง

3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างตะกอนดินไปทำให้แห้งด้วยวิธี freeze dry แสดงดังรูปที่ 3.5 เลือกเศษไม้เศษเปลือกหอยออกจากตัวอย่างแห้ง จากนั้นบดตัวอย่างด้วยโกร่ง เพื่อให้ตะกอนร่วนและเป็นเนื้อเดียวกันและร่อนตัวอย่างที่บดแล้วด้วยตะแกรงร่อน (Test sieve) ขนาด 0.15 ไมโครเมตร ก่อนเก็บตัวอย่างใส่ในอะลิมินัมฟอยล์ บรรจุลงถุงซิปล็อค ก่อนการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.5 การทำตัวอย่างตะกอนดินให้แห้งด้วยวิธี freeze dry

3.3.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน

ซั่งตัวอย่างตะกอนดินที่ผ่านการทำให้แห้ง ในข้อ 3.3.1 ประมาณ 5 กรัม ด้วยเครื่องซั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น MS 204S บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด นำตัวอย่างตะกอนดินที่ซั่งแล้วใส่ลงในเซลลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยไดคลอโรมีเทน (dichloromethane; DCM) โดยวิธีสกัดแบบ Soxhlet เติม Internal Standard (ประกอบด้วย Deuterated-Acenaphthene (D_{10} -Ace), Deuterated-Fluorene (D_{10} -Fl) และ Deuterated-Perylene (D_{12} -Per)) ลงไป 50 ไมโครลิตร ลงบนตัวอย่างตะกอนดินที่อยู่ในเซลลูโลสทิมเบิล ประกอบอุปกรณ์เข้ากับชุดสกัด Soxhlet ที่มี DCM 150 มิลลิตร ในขวดก้นกลม แสดงดังรูปที่ 3.6 สกัดต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 3.6 ชุดสกัดแบบ Soxhlet

นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary evaporator แสดงดังรูปที่ 3.7 จนสารละลายมีปริมาตรเหลือประมาณ 2 มิลลิตร ถ่ายสารเก็บไว้ในขวดแก้วสีชาขนาด 30 มิลลิตร นำไปเป่าเบา ๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายที่เหลือ แสดงดังรูปที่ 3.8 จนปริมาตรสารละลายเหลือ 0.2-0.3 มิลลิตร เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นเฮกเซน (hexane)

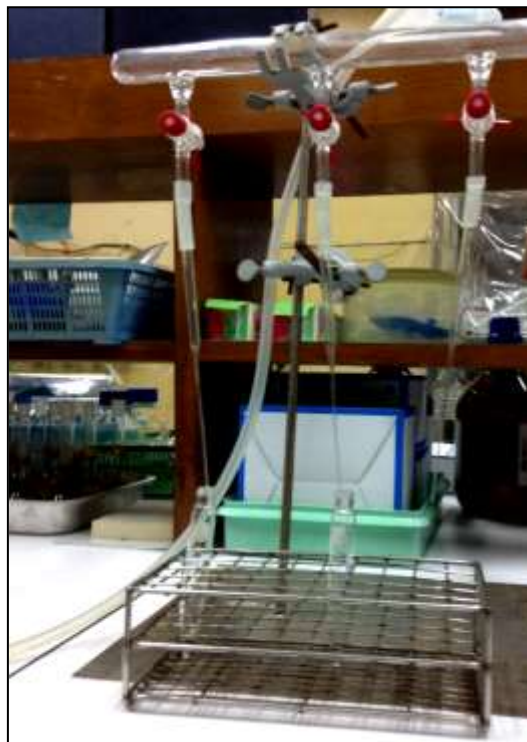
ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปสกัดแยกส่วน และ clean-up ด้วยวิธี chromatography แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.7 เครื่อง Rotary evaporator



รูปที่ 3.8 เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน



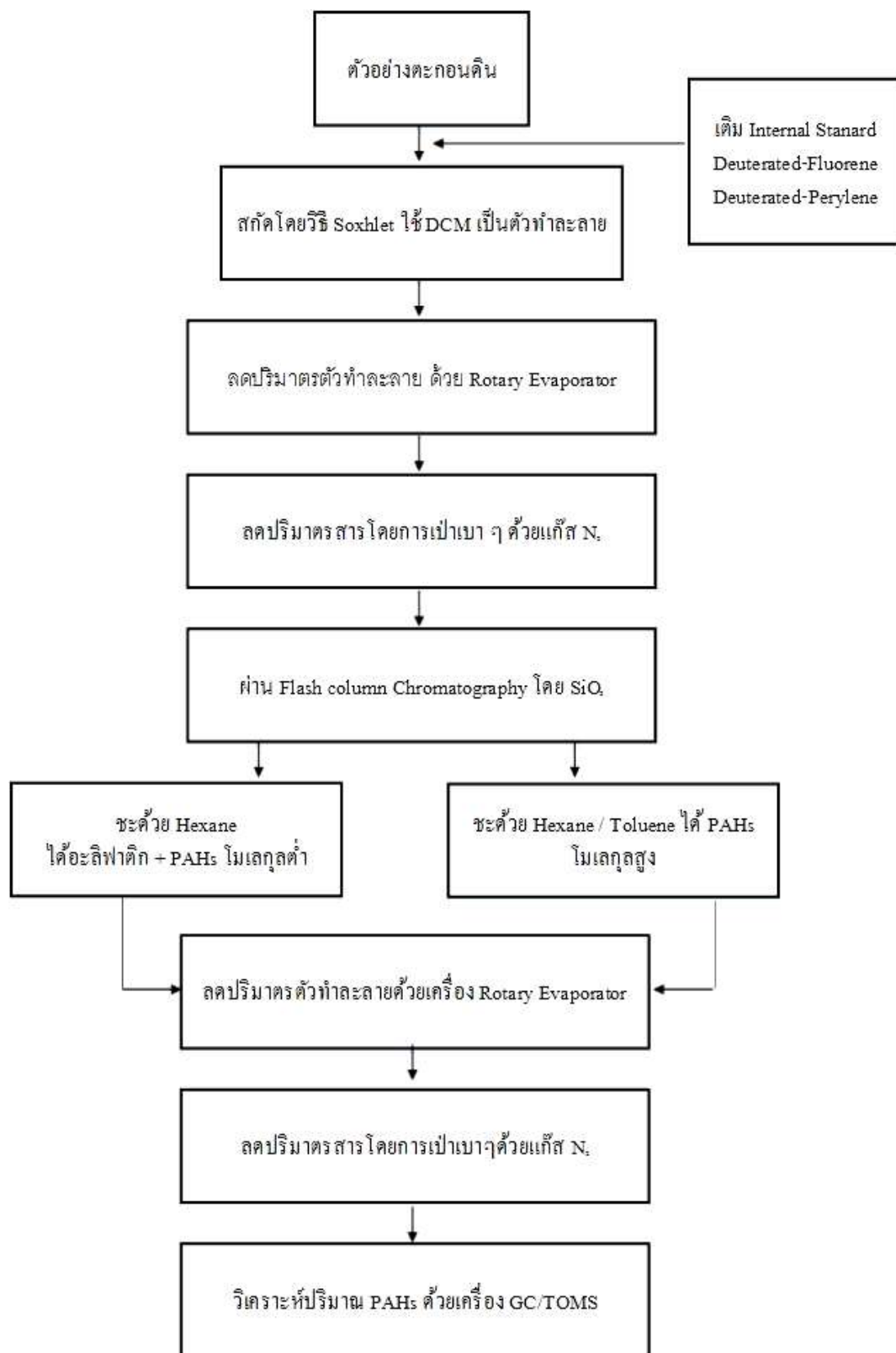
รูปที่ 3.9 การแยกส่วน (fractionation) คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography)

3.3.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs

วิธีการสกัดแยกส่วน (fractionation) เพื่อแยกสาร PAHs ออกจากสารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดิน โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) นำซิลิกาเจล (silica gel) สำหรับบรรจุในคอลัมน์ใส่โกร่งแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C ด้วยเตาเผา Isotemp Programmable muffle Furnace เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น (Desiccator) เพื่ออบบรรจุลงคอลัมน์
- 2) ทำการ activate โดยชั่ง silica gel ที่อบแล้ว มา 5 กรัม ใส่ในขวด duran นำไปอบที่ 220°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการ deactivate ด้วยการเติมน้ำกลั่น 5% เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ สำหรับผงทองแดง (Copper power) ทำการ activate ทองแดง ด้วยการแช่ใน Conc. HCl คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ตามด้วย methanol, DCM และ hexane อย่างละ 3 ครั้ง แล้วแช่ทิ้งไว้ใน hexane เพื่อไม่ให้สัมผัสอากาศ

- 3) เตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แก้วที่มีวาล์วปิด-เปิด ปิดปลายส่วนล่างด้วยใยแก้วที่ทำความสะอาดด้วยการเผา 450°C แล้วเติม hexane ลงไปประมาณครึ่งคอลัมน์แล้วค่อย ๆ เติม silica gel ลงในคอลัมน์จน มีลักษณะชั้นหนืด ปล่อยให้ hexane (ปริมาตรไม่ต่ำกว่าปริมาตรของ hexane ที่บรรจุในคอลัมน์) ไหลผ่าน silica gel ระวังอย่าให้คอลัมน์แห้งโดยระดับของ hexane ต้องอยู่เหนือระดับของ silica gel เสมอ ทั้ง hexane ส่วนนี้
- 4) ทำให้ silica gel เรียงตัวกันแน่น โดยการเคาะข้างคอลัมน์เบา ๆ ทำการปรับ อัตราการไหลของ hexane ให้อยู่ที่ 2 มิลลิลิตร/นาที เติมผงทองแดงที่เตรียมไว้ จากข้อ 2) ในคอลัมน์ ปรับรูปทรงโดยเคาะข้าง ๆ คอลัมน์เบา ๆ
- 5) เมื่อระดับ hexane ในคอลัมน์ใกล้ถึงผงทองแดง ใส่ตัวอย่างลงไปคอลัมน์ เมื่อตัวอย่างมีระดับใกล้ผงทองแดงให้เติม hexane 15 มิลลิลิตร รอจนระดับ ของ hexane เกือบถึงแนวผงทองแดง จึงเติมตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีน กับเฮกเซน (Toluene : Hexane) อัตราส่วน 4 : 6 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เพื่อ ชะสารถ่าย PAHs เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ใส่ในขวดกันกลม
- 6) นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ จากข้อ 5) ไปลดปริมาตรด้วย Rotary evaporator จนมีปริมาตรเหลือ 2 มิลลิลิตร ถ่ายสารเก็บไว้ในหลอดแก้ว ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเป่าเบา ๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนจนสารละลายเหลือ 0.2-0.3 มิลลิลิตร เติมไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ลงไป 1 มิลลิลิตรและลด ปริมาตรสุดท้ายให้เท่ากับ 0.3 มิลลิลิตร
- 7) เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณ ความเข้มข้นของสาร PAHs ต่อไปด้วยเครื่อง Gas Chromatograph Time of flight Mass Spectrometry (GC/TOMS)



รูปที่ 3.10 แผนผังสรุปวิธีการสกัดและวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดิน

3.3.4 การวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณ ความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas chromatography with Time of Flight Mass Spectrophotometer-Ion-Trap (GC/TOMS) โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/TOMS

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	คอลัมน์แคปิลลารี (capillary column) รุ่น DB-5MS ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความหนาฟิล์มเหลว 0.25 ไมโครเมตร
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มิลลิลิตร/นาที
	อุณหภูมิของ Injector	250°C
	อุณหภูมิ Ion Source	350°C
	อุณหภูมิของ Transfer line	300°C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร (splitless liner)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI ⁺)
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)

3.4 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs

3.4.1 ความแม่นยำ (precision) ในการวิเคราะห์

ตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ โดยการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ 10% ของตัวอย่างทั้งหมด โดยหาค่า %RPD แสดงดังสมการ 3-1 เกณฑ์ที่ยอมรับได้สารปนเปื้อนปริมาณน้อย คือ %RPD น้อยกว่า 20%

$$\% \text{ RPD} = \frac{|X_1 - X_2| \times 100}{\bar{X}} \quad (3-1)$$

โดยที่
 X_1 = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วัดได้จากซ้ำที่ 1
 X_2 = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วัดได้จากซ้ำที่ 2
 \bar{X} = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารในตัวอย่างที่วัดได้ 2 ซ้ำ

3.4.2 ความถูกต้องในการวิเคราะห์

การตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ PAHs มี 2 วิธี คือ

- 1) เติม internal standard ในทุกตัวอย่างที่สกัดและวิเคราะห์ด้วย GC/TOMS (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.6.2)
- 2) โดยการสกัดและวิเคราะห์ Standard Reference Material (SEM) 1941b organics in marine sediment โดยใช้ SRM 1 กรัม ด้วยวิธีเดียวกับตัวอย่าง ทำการสกัดและวิเคราะห์ 8 ซ้ำ และคำนวณหา %recovery แสดงดังสมการ 3-2

$$\% \text{recovery} = \frac{C_1 - C_0}{C_A} \times 100 \quad (3-2)$$

โดยที่
 C_1 = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างรวมกับความเข้มข้นของสาร
 C_0 = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้
 C_A = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติม

3.5 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง แสดงดังสมการที่ 3-3

$$\frac{W_{\text{Nat}}}{W_{\text{Deut}}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \quad (3-3)$$

โดยที่

A_{Nat} = พื้นที่ Peak ของ Native-PAHs ในตัวอย่าง

A_{Deut} = พื้นที่ Peak ของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

W_{Nat} = น้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่าง

W_{Deut} = น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

$$W_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \quad (3-4)$$

$$W_{\text{Nat}} = C_{\text{Nat}} \times \text{RRF} \times V \quad (3-5)$$

แทนค่าสมการ 3-4 ในสมการที่ 3-5 จะได้สมการ 3-6 เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{\text{RRF}} \times \frac{1}{V} \quad (3-6)$$

โดยที่

C_{Nat} = ความเข้มข้นของ Native-PAHs ในตัวอย่าง (นาโนกรัม/กรัม)

A_{Nat} = พื้นที่ Peak ของ Native-PAHs ในตัวอย่าง

A_{Deut} = พื้นที่ Peak ของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

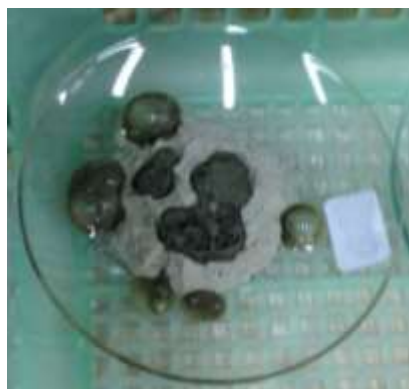
W_{Deut} = พื้นที่ Peak ของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง (นาโนกรัม)

RRF = Relative Response Factor

V = ปริมาณตัวอย่างตะกอนดิน (กรัม)

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbons

ซึ่งตัวอย่างละ 5 กรัม วางบนกระจกนาฬิกา หยดกรด HCl 10% แสดงดังรูปที่ 3.11 สังเกตปฏิกิริยาการกัดกร่อน หากมีแคลเซียมคาร์บอเนตในตัวอย่างดินมาก จะสังเกตได้จากสีของตัวอย่างที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปอบที่ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บใส่อะลูมิเนียมฟอยด์ และห่อให้มิดชิด นำไปวิเคราะห์ต่อด้วยเครื่อง CHN/S



รูปที่ 3.11 การทำปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกกับแคลเซียมคาร์บอเนต

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) โดยหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่ากลาง (median) ของข้อมูล

3.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร

เฉพาะข้อมูล PAHs นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร (Multivariate analysis) 2 แบบ คือ Principal Component Analysis (PCA) และ Hierarchical Cluster Analysis (HCA) ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์การแพร่กระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial distribution)

ของสาร PAHs และจัดทำแผนที่ลักษณะการกระจายตัวและสะสมตัวของสาร PAHs (Tipmanee, *et al.*, 2002)

1) เทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหรือปัจจัย (factor analysis) ทางสถิติของการวิจัยที่มุ่งลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่มาก เนื่องจากตัวแปรที่มีบางตัวมีลักษณะหรือมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน จะถูกจัดรวมกลุ่มเดียวกัน ส่วนตัวแปรบางตัวไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มตัวแปรในลักษณะนี้ได้จึงต้องตัดทิ้งไป ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรืออันตรภาค (interval scale) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบมีเหตุผลให้ได้จำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุดเพื่ออธิบายความผันแปรของข้อมูล ดังนั้นในการวิเคราะห์จะเป็นการศึกษาลักษณะการรวมกลุ่มตัวแปรในลักษณะเชิงเส้นตรง (linear combination) (ยุทธ ไกยวรรณ, 2556)

การศึกษารั้งนี้ใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของสาร โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0 เลือกใช้ องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1.0

2) เทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA)

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) ทางสถิติวิธีหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถจัดกลุ่มคุณสมบัติตัวแปรของหน่วยงานที่นำมาวิเคราะห์โดยยึดหลักของสิ่งที่เหมือนกันควรจะต้องอยู่กลุ่มเดียวกัน โดยสิ่งที่เหมือนกันอาจไม่เหมือนกันทุกประการ ถือเป็นความเหมือนกันในเชิงสัมพัทธ์ (relative homogeneity) และสำหรับการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธีวอร์ด (Ward's method) เป็นวิธีการจัดกลุ่มด้วยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรในกลุ่ม จากนั้นจะคำนวณหาค่าความห่างยูคลิเดียนกำลังสอง (Square Euclidean Distance) จากค่าเฉลี่ยทุกกลุ่ม (cluster mean) ของแต่ละสมาชิกและเอาความห่างเหล่านี้มารวมกันในแต่ละขั้น (ยุทธ ไกยวรรณ, 2556)

การศึกษารั้งนี้ใช้โปรแกรม SPSS 17.0 เลือกใช้ Square Euclidean Distance วัดระยะห่างระหว่าง case แต่ละคู่และเลือกใช้ Ward's method เป็นหลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มแสดงผลการแบ่งกลุ่มของสถานีด้วยกราฟ Dendogram และจำแนกการแบ่งกลุ่มโดยเลือกจากรวมกลุ่ม

3.8 วิธีการจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs (PAHs diagnostic ratio)

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดิน สามารถจำแนกโดยใช้ Diagnostic Ratio แบ่งออกเป็น 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) (Page, *et al.*, 1999) ซึ่งสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic คือสาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปิโตรเลียม หรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มวลโมเลกุลต่ำ มีจำนวนวงแหวน 2-3 วง ได้แก่ Nap, Acy, Ace, Fl, Phe, และ An ส่วนสาร PAHs ที่เกิดจาก pyrogenic เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันหรือถ่านหิน จากไฟไหม้ โดยส่วนใหญ่พบเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs จะมีมวลโมเลกุลสูง มีจำนวนวงแหวน 4-6 วง สาร PAHs ที่พบได้แก่ Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h,i]A และ B[g,h,i]P (Wang, *et al.*, 1995; Budzinski, *et al.*, 1997) การวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยใช้ diagnostic ratio แสดงดังตารางที่ 3.2 สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินว่ามาจาก petrogenic หรือ pyrogenic

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด

อัตราส่วน	Pyrogenic	Petrogenic
$An / (An+Phe)^a$	> 0.1	<0.1
$Fluo / (Fluo+Pry)^b$	>0.4	<0.4
$B[a]A / (B[a]A+Chry)^c$	>0.35	<0.2
$Ind / (Ind+B[g,h,i]P)^b$	>0.2	<0.2
$\sum LPAHs / \sum HPAHs^e$	<1	>1

An = Anthracene; Phe = Phenanthrene; Fluo = Fluoranthene; Pry = Pyrene; Chry = Chrysene; B[a]A = Benzo[a]anthracene; B[g,h,i]perylene; Ind = Indeno[1,2,3-cd]pyrene; $\sum LPAHs$ = Low (2-3 ring) PAHs; $\sum HPAHs$ = High (4-6 ring) PAHs

^a Baumard, *et al.* (1998); Qiao, *et al.* (2006)

^b Budzinski, *et al.* (1997); Yunker, *et al.* (2002)

^c Yunker, *et al.* (2002)

^d Budzinski, *et al.* (1997); De Luca, *et al.* (2005)

บทที่ 4

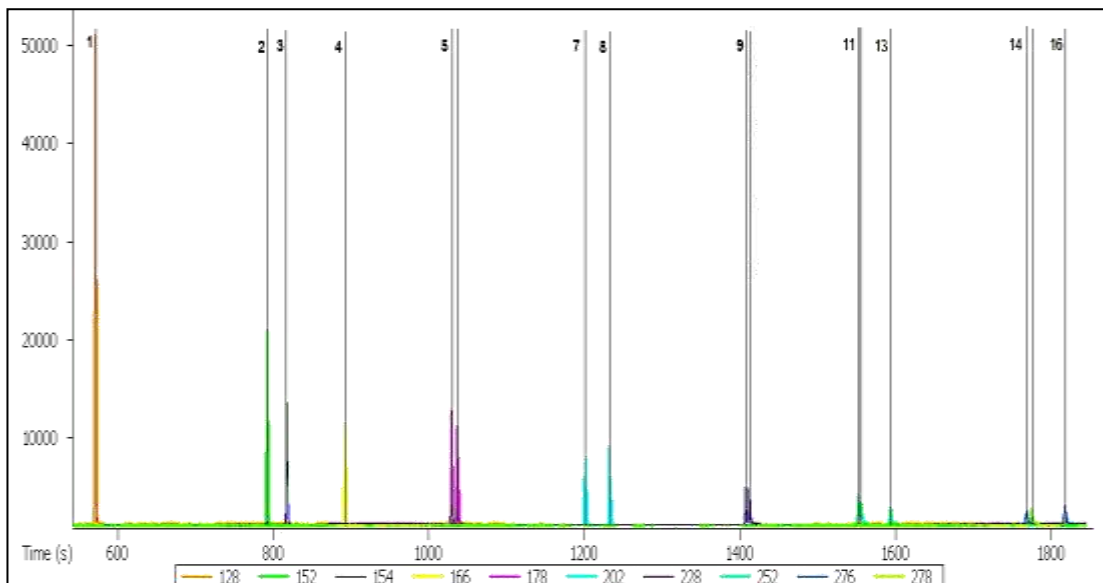
ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

4.1 สถานะการทำงานของเครื่อง GC/TOFMS

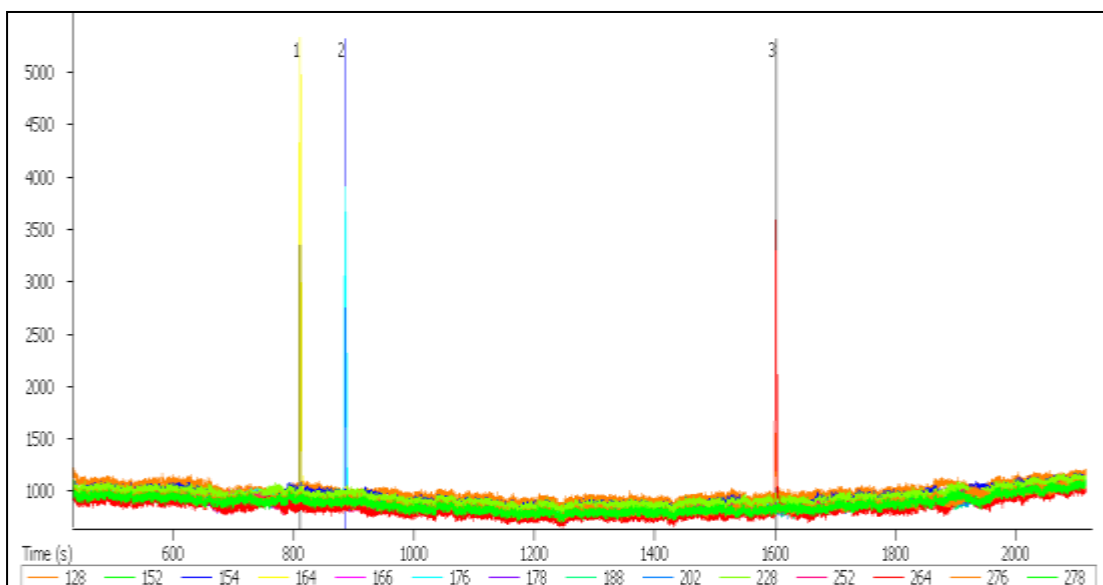
วิเคราะห์หาสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ได้แก่ Nap, Acy, Ace, Fl, Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h,i]A และ B[g,h,i]P โดยใช้สถานะของเครื่อง GC/TOFMS ในการวิเคราะห์ตามหัวข้อ 3.3.4 ในบทที่ 3 ค่า retention time ของสารมาตรฐาน และ internal standard ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Deuterated-Acenaphthene (D_{10} -Ace), Deuterated-Fluorene (D_{10} -Fl) และ Deuterated-Perylene (D_{12} -Per) แสดงดังตารางที่ 4.1 และ โครมาโตแกรม (chromatogram) ของสารมาตรฐานทั้ง 16 ชนิด แสดงดังรูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของ internal standard แสดงดังรูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment แสดงดังรูปที่ 4.3 และ โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินทำเทียบเรืออ่าวฉลอง แสดงดังรูปที่ 4.4 และ โครมาโตแกรมของตัวอย่างตะกอนดินทำเทียบเรือประมงรัชฎา แสดงดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard

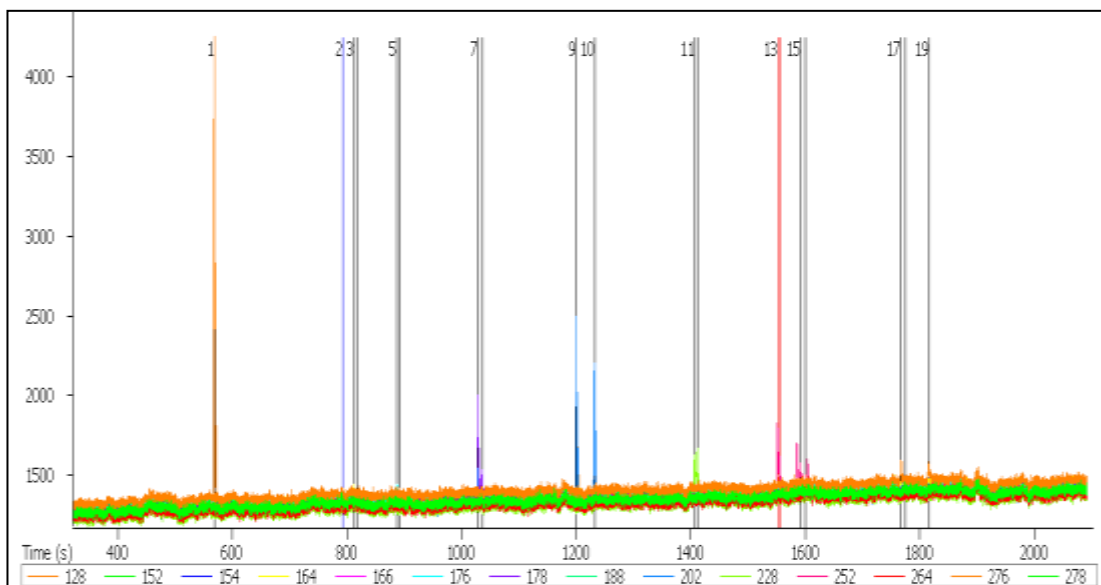
PAHs	สัญลักษณ์	มวลโมเลกุล	Retention Time (Sec)
Standard PAHs			
Naphthalene	Nap	128	571
Acenaphthylene	Acy	152	792
Acenaphthene	Ace	154	817
Fluorene	Fl	166	892
Phenanthrene	Phe	178	1029
Anthracene	An	178	1037
Fluoranthene	Fluo	202	1201
Pyrene	Pyr	202	1233
Benzo[a]anthracene	B[a]A	228	1407
Chrysene	Chry	228	1412
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	1552
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	1555
Benzo[a]pyrene	B[a]P	252	1593
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Ind	276	1769
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h,]A	278	1775
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	1818
Internal Standard PAHs			
Deuterated-Acenap	D10-Ace	164	812
Deuter-Fluorene	D10-Fl	176	887
Deuterated-Perylene	D12-Per	264	1601



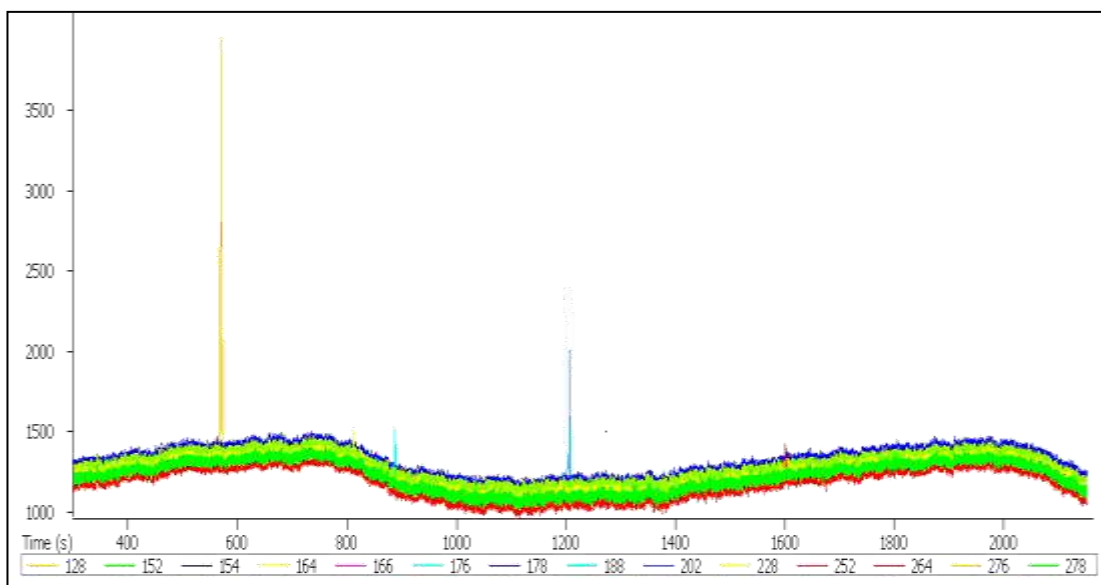
รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรม (chromatogram) ของสารมาตรฐานทั้ง 16 ชนิด (1.Nap, 2.Acy, 3.Ace, 4.Fl, 5.Phe, 6.An, 7.Fluc, 8.Pyr, 9.B[a]A, 10.Chry, 11.B[b]F, 12.B[k]F, 13.B[a]P, 14.Ind, 15.D[a,h]A, 16.B[g,h,i]P)



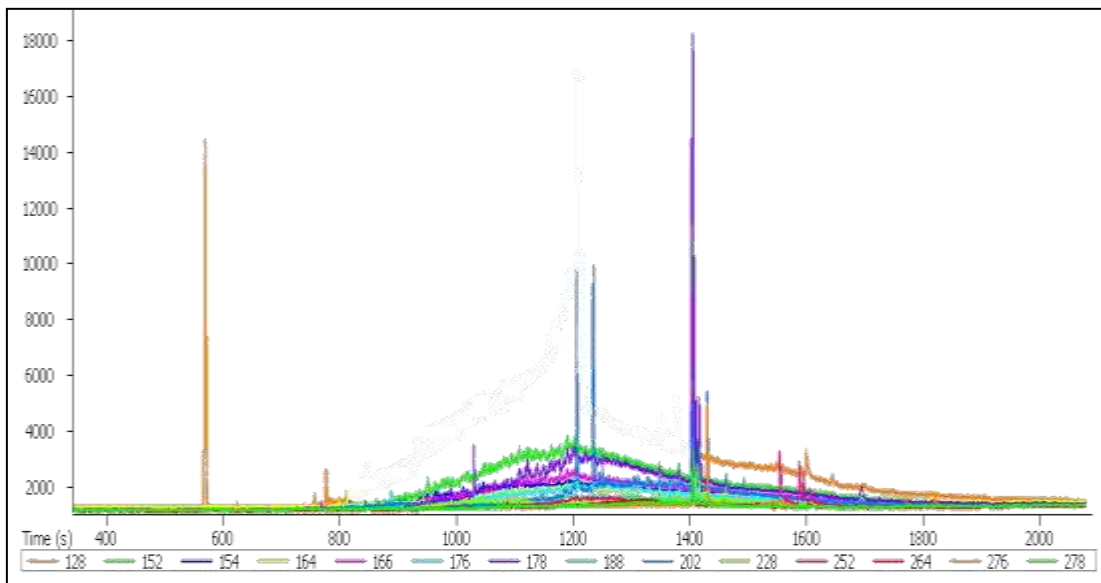
รูปที่ 4.2 โครมาโทแกรมของ internal standard (1.D₁₀-Ace; 2.D₁₀-Fl; 3.D₁₂-Per)



รูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment (1.Nap, 2.Acy, 3. D₁₀-Ace, 4.Ace, 5. D₁₀-Fl, 6.Fl, 7.Phe, 8.An, 9.Flou, 10.Pyr, 11.B[a]A, 12.Chry, 13.B[b]F, 14.B[k]F, 15.B[a]P, 16. D₁₂-Per, 17.Ind, 18.D[a,h]A, 19.B[g,h,i]P)



รูปที่ 4.4 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทำเทียบเรืออ่าวคลองสถานี C25



รูปที่ 4.5 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินท่าเทียบเรือประมงรัชฎาสถานี่ R(A)

4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์หาสาร PAHs

จากผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment ทั้ง 8 ซ้ำ เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการ ได้ค่าเฉลี่ยแสดง \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ประกอบด้วย Nap, Acy, Ace, Fl, Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i] แสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b ซึ่งแสดงว่าวิธีวิเคราะห์มีความถูกต้องเชื่อถือได้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

SRM	CODE	N	ค่าที่กำกับมา	ค่าที่วิเคราะห์	%ค่าความถูกต้อง
			นาโนกรัม/ กรัม น้ำหนักแห้ง	นาโนกรัม/ กรัม น้ำหนักแห้ง	
Naphthalene	Nap	8	848±95	714±31	84.2
Acenaphthylene	Acy	8	53±6.4	51±5.1	96.2
Acenaphthene	Ace	8	38±5.2	36±4.4	93.3
Fluorene	Fl	8	85±15	76±4.6	89.3
Phenanthrene	Phe	8	406±44	366±17	90.2
Anthracene	An	8	184±18	168±25	91.2
Fluoranthene	Fluo	8	651±50	628±79	96.5
Pyrene	Pyr	8	581±39	530±50	91.3
Benzo[a]anthracene	B[a]A	8	335±25	295±28	88.2
Chrysene	Chry	8	291±31	297±43	102.0
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	8	453±21	403±40	89.0
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	8	225±18	198±12	87.8
Benzo[a]pyrene	B[a]P	8	358±17	318±22	88.8
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Ind	8	341±57	292±28	85.6
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	8	53±10	40±9.2	75.8
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	8	307±45	266±33	86.6

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินเพื่อหาชนิด และความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิด ประกอบด้วย Nap, Acy, Ace, Fl, Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i] พบการปนเปื้อนของสาร PAHs ในทุกตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนดินแต่ละสถานี ดังนี้

4.3 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

จากผลการศึกษาตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวฉลอง จำนวน 28 สถานี และอ่าวภูเก็ต จำนวน 23 สถานี พบการปนเปื้อนของสาร PAHs (Σ PAHs) ทั้ง 16 ชนิด ในทุกตัวอย่าง โดยผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าทั้งอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต มีระดับความเข้มข้น Nap สูงมาก จึงไม่นำมาคำนวณร่วมกับสาร PAHs ชนิดอื่น ซึ่ง Nap เป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งในกลุ่มของสาร PAHs ที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2 วงเชื่อมต่อกัน ไม่ละลายน้ำ สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ ในถ่านหิน, น้ำมันดิบ และการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ ปัจจุบันมีการนำ Nap ไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น สารฟอกหนัง สีย้อม สารกำจัดแมลงคาร์บาริล (carbaryl) (Nigam, *et al.*, 1998) และใช้เป็น ส่วนประกอบของลูกเหม็น ซึ่งสามารถระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง และความเป็นพิษของ Nap สามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของดีบี ไต ปอด ยับยั้งกระบวนการหายใจ และเป็นพิษต่อระบบประสาท (มัทนา ศรีหัตถกรรม, 2544)

สาร Nap สามารถปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้หลายทาง จากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น ไฟป่า และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ถ่านหิน น้ำมัน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน รวมทั้งการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Jackson, *et al.*, 1994; Kim, *et al.*, 1999) ถึงแม้ว่า Nap สามารถย่อยสลายเองได้จากกระบวนการทางธรรมชาติ แต่ก็ยังคงตกค้างในดินและน้ำ (Kim, *et al.*, 1999) ปัจจุบันแต่ละประเทศมีการส่งเสริมพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ทำให้มีน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมเหล่านั้นมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน

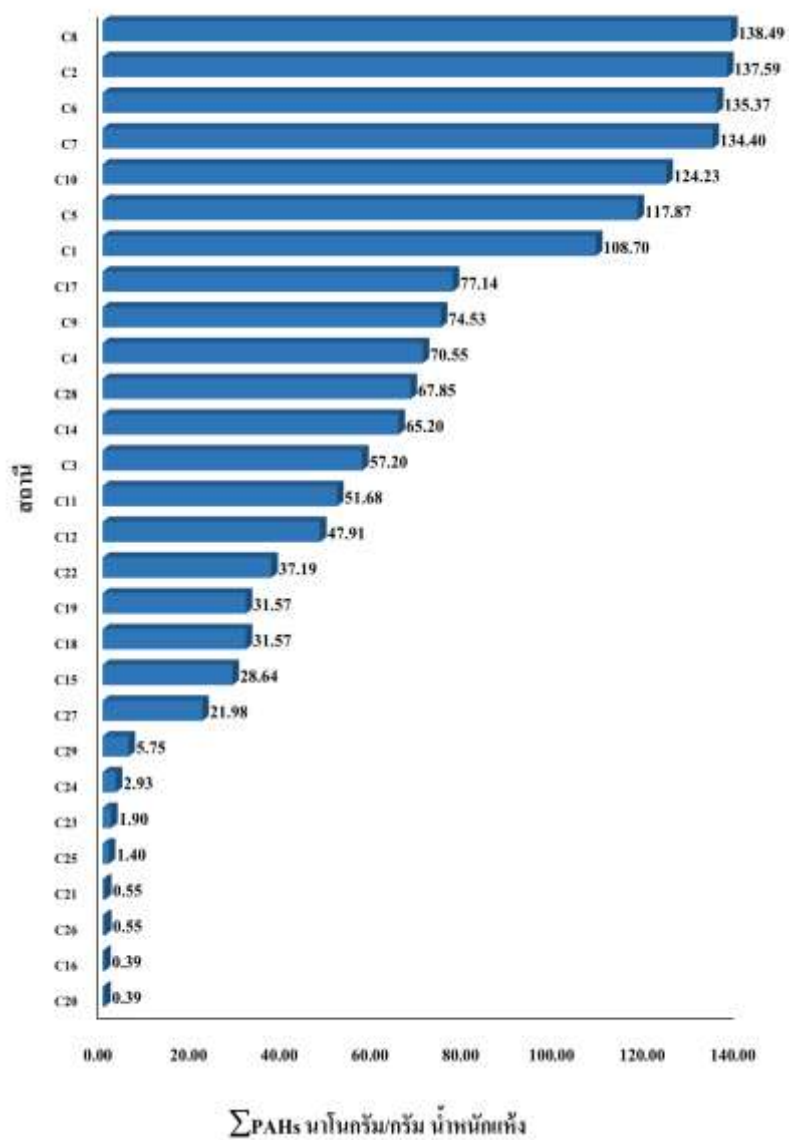
Zhang, *et al.* (2014) ศึกษาระดับความเข้มข้นและการกระจายตัวของ Nap โดยทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสีย 30 ตัวอย่าง จากโรงบำบัดน้ำเสียในประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของ Nap อยู่ในช่วง 1.05-10.9 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง หรือคิดเป็นประมาณ 85% ของ Nap ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน TEQs (total toxic equivalent quantities) ที่ใช้ในประเทศจีน ถือว่าระดับความเข้มข้นของ Nap ในตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียค่อนข้างสูง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับทั่วโลก การปนเปื้อนของ Nap ในกากตะกอนน้ำเสียยังอยู่ในระดับต่ำ

Rong-Yan, *et al.* (2007) ศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในกากตะกอน และประเมินความเสี่ยง โดยทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 44 ตัวอย่าง จาก 15 เมืองที่อยู่รอบปากแม่น้ำแยงซีเกียง ประเทศจีน วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วย GC/MS ผลการศึกษาพบว่ามีสาร PAHs ระดับความเข้มข้น 0.0167-15.4860 มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ย 1.376 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสาร PAHs ที่พบมากในตัวอย่าง ได้แก่ Nap, Phe, Pyr และ Fl เป็นสาร PAHs ที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 2-4 วง ในขณะที่ B[b]F, Ind, B[a]P และ B[g,h,i]P เป็นสาร PAHs ที่ประกอบด้วยวงเบนซิน 4-6 วง ถูกพบน้อยกว่าปกติ อาจเนื่องมาจากขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ ซึ่งแหล่งที่มาของการปนเปื้อนสาร PAHs ในกากตะกอน มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

4.3.1 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวฉหลง จังหวัดภูเก็ต

ผลการศึกษาตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวฉหลง จังหวัดภูเก็ต พบการปนเปื้อนของ Nap เท่ากับ 1.9×10^6 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และระดับความเข้มข้นของสาร $\sum \text{PAHs}_{15}$ อยู่ในช่วง 0.39–138.49 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.20 ± 9.30 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.3

แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs $\sum \text{PAHs}_{15}$ ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวฉหลง แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าสถานีที่มี $\sum \text{PAHs}$ มากที่สุดคือ สถานี C8, C2, C6 และ C7 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 138.49, 137.59, 135.37 และ 134.40 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยสถานี C8, C2, C6 และ C7 เป็นสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง และเป็นบริเวณจุดปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชน



รูปที่ 4.6 ระดับความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวคลองเรียงตามลำดับความเข้มข้น

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ Σ PAHs₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง

สถานี	Acy	Ace	Fl	Phe	An	Fluo	Pyr	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Σ PAHs
C1	1.23	2.84	2.81	1.26	1.14	0.77	3.59	7.10	3.56	12.86	6.44	13.73	16.95	14.95	19.47	108.70
C2	0.75	1.50	2.28	23.61	6.74	11.11	5.49	42.82	14.72	3.67	4.80	3.53	4.74	9.44	2.39	137.59
C3	2.04	1.69	2.30	3.34	1.90	7.61	1.98	3.30	6.66	5.51	3.73	3.16	4.89	6.41	2.70	57.20
C4	1.10	1.66	4.82	2.36	6.57	5.16	3.41	9.28	2.71	9.78	2.13	6.93	2.83	7.49	4.31	70.55
C5	2.66	2.42	3.65	2.91	5.50	11.75	8.13	28.30	22.03	7.35	1.76	6.90	3.83	5.75	4.94	117.87
C6	2.85	2.46	3.78	4.05	5.10	8.48	6.90	34.17	16.45	5.56	8.28	8.99	7.45	8.77	12.07	135.37
C7	1.27	1.75	3.35	6.44	12.49	12.03	3.57	22.08	26.04	7.35	9.75	8.03	3.17	6.75	10.34	134.40
C8	11.10	18.91	18.71	6.18	12.05	11.49	5.34	15.85	13.89	2.72	9.49	2.79	6.04	1.64	2.29	138.49
C9	0.67	1.90	1.89	2.85	4.44	2.80	3.73	8.44	6.96	3.24	3.54	11.27	7.93	7.48	7.40	74.53
C10	11.22	7.68	3.65	5.19	1.65	5.09	6.64	3.68	10.90	5.08	15.12	5.76	8.67	6.57	27.33	124.23
C11	2.78	4.81	4.56	2.85	3.55	5.66	6.42	15.64	5.19	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.02	51.68
C12	4.92	4.09	5.11	1.81	1.47	5.70	2.48	3.15	2.78	3.24	2.66	4.02	1.62	2.52	2.33	47.91
C14	1.51	5.39	2.43	2.10	4.52	8.60	2.62	8.01	3.60	2.03	6.35	3.30	4.70	5.08	4.96	65.20
C15	1.20	2.44	1.85	0.02	0.02	0.02	0.04	0.08	0.05	5.21	2.07	6.74	2.93	3.54	2.41	28.64
C16	0.01	0.01	0.08	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.07	0.03	0.04	0.01	0.39
C17	1.14	1.82	5.22	1.25	2.29	1.44	2.47	2.45	6.98	16.34	3.38	13.22	6.52	9.05	3.57	77.14
C18	10.41	6.31	3.75	1.69	0.39	0.75	1.04	3.45	3.14	0.05	0.05	0.10	0.22	0.21	0.01	31.57

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ \sum PAHs₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)

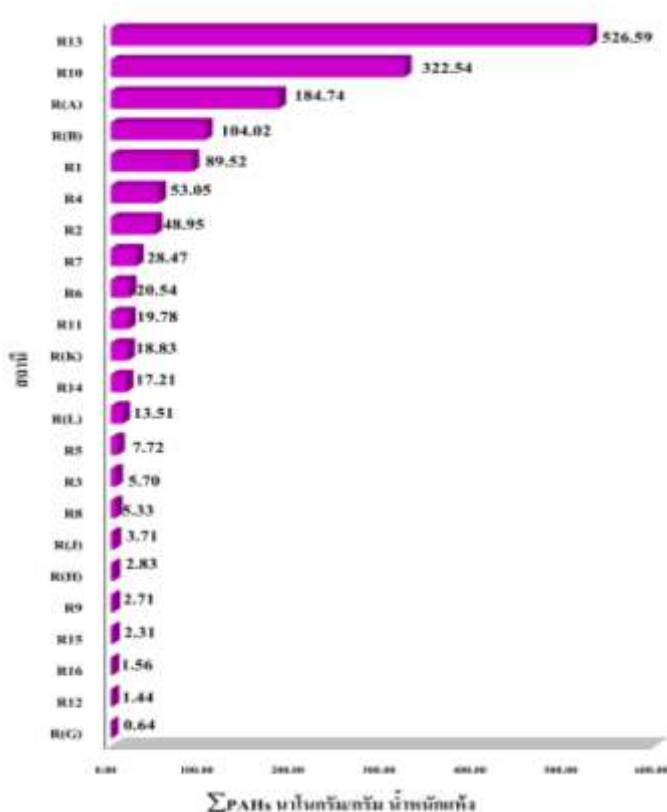
สถานี	Acy	Ace	Fl	Phe	An	Fluo	Pyr	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	\sum PAHs
C19	10.41	6.31	3.75	1.69	0.39	0.75	1.04	3.45	3.14	0.05	0.05	0.10	0.22	0.21	0.01	31.57
C20	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	0.04	0.39
C21	0.02	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.11	0.08	0.03	0.01	0.07	0.03	0.03	0.02	0.55
C22	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.06	0.04	0.04	4.99	6.13	3.84	12.33	6.77	2.79	37.19
C23	0.03	0.06	0.07	0.07	0.08	0.21	0.03	0.11	0.11	0.18	0.16	0.14	0.15	0.41	0.10	1.90
C24	0.01	0.03	0.02	0.73	0.01	1.04	0.72	0.05	0.08	0.04	0.02	0.01	0.05	0.09	0.03	2.93
C25	0.04	0.03	0.05	0.30	0.01	0.01	0.73	0.04	0.02	0.06	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	1.40
C26	0.03	0.03	0.07	0.03	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.06	0.04	0.02	0.55
C27	2.31	5.28	1.91	0.07	0.04	5.13	6.41	0.07	0.15	0.04	0.05	0.05	0.16	0.10	0.21	21.98
C28	1.68	2.64	3.58	0.05	0.10	0.06	0.03	0.09	0.04	10.70	3.96	7.00	3.81	30.15	3.97	67.85
C29	0.91	1.42	0.89	0.03	0.10	0.06	1.87	0.10	0.11	0.02	0.04	0.02	0.07	0.06	0.05	5.75
average	2.58	2.98	2.88	2.53	2.53	3.78	2.67	7.57	5.34	3.79	3.22	3.93	3.55	4.77	4.06	56.20
SD	3.60	3.83	3.57	4.55	3.53	4.29	2.58	11.41	7.18	4.44	3.89	4.30	4.24	6.41	6.39	49.26

หมายเหตุ จุดเก็บตัวอย่าง C13 ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ เนื่องจากบริเวณบริเวณนั้นเป็นแนวหินโสโครก

4.3.2 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ผลการศึกษาดัชนีตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต พบการปนเปื้อนของของ Nap เท่ากับ 1.8×10^3 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และระดับความเข้มข้นของสาร PAHs₁₅ อยู่ในช่วง 0.64-526.59 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.42 ± 13.43 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง แสดงดังตารางที่ 4.4

แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs (\sum PAHs₁₅) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าสถานีที่มี \sum PAHs มากที่สุด คือ สถานี R13, R10, R(A) และ R(B) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 526.59, 322.54, 184.74 และ 104.02 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สถานี R13 เป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับเกาะตะเกาญ้อย เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งของเรือ สถานี R10 เป็นสถานีที่อยู่กลางอ่าว เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งทั้งเรือประมง และเรือท่องเที่ยว สถานี R(A), R(B) เป็นสถานีที่อยู่ตรงกลางคลองรัชฎา เป็นเส้นทางที่มีเรือประมงเข้าออก



รูปที่ 4.7 ระดับความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ที่ตรวจวัดได้ในตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต เรียงตามลำดับความเข้มข้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ \sum PAHs₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

สถานี	Acy	Ace	Fl	Phe	An	Fluo	Pyr	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	\sum PAHs
R1	0.82	2.57	0.91	2.52	0.06	13.33	17.00	11.52	9.19	8.98	2.85	7.25	5.32	0.07	7.12	89.52
R2	0.02	0.09	0.05	2.99	0.04	10.55	12.56	4.44	12.54	3.00	0.06	2.47	0.06	0.04	0.05	48.95
R3	0.14	0.07	0.19	0.27	0.06	0.29	0.51	0.45	0.87	0.87	0.20	0.51	0.96	0.25	0.07	5.70
R4	0.06	0.08	0.16	0.10	0.05	4.66	3.15	0.48	0.27	12.11	2.54	6.07	6.87	5.76	10.67	53.05
R5	0.07	0.04	0.09	1.54	0.04	2.65	2.80	0.10	0.13	0.06	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	7.72
R6	0.03	0.03	0.14	1.55	0.04	3.68	3.18	3.70	3.11	2.80	0.02	2.21	0.02	0.03	0.01	20.54
R7	1.77	3.41	16.03	0.03	0.07	2.78	3.43	0.18	0.17	0.03	0.08	0.11	0.13	0.16	0.10	28.47
R8	0.01	0.04	0.05	0.45	0.01	1.67	1.35	0.10	0.10	0.06	0.10	1.23	0.05	0.06	0.05	5.33
R9	0.08	0.05	0.02	0.04	0.03	1.05	1.03	0.03	0.02	0.05	0.09	0.06	0.04	0.06	0.05	2.71
R10	0.06	0.05	0.08	2.13	1.42	158.04	143.86	11.16	5.50	0.03	0.03	0.04	0.04	0.07	0.01	322.54
R11	1.59	2.38	4.31	0.06	0.03	0.12	0.03	0.37	0.03	1.62	1.15	2.28	1.90	3.02	0.89	19.78
R12	0.06	0.05	0.13	0.10	0.03	0.16	0.08	0.12	0.10	0.08	0.20	0.11	0.06	0.09	0.07	1.44
R13	0.71	8.79	2.68	3.31	6.25	226.29	252.03	12.88	13.39	0.06	0.08	0.04	0.02	0.03	0.04	526.59
R14	0.10	0.07	0.05	0.09	0.14	0.04	0.04	0.13	0.09	4.98	1.91	1.62	1.83	4.72	1.41	17.21
R15	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03	0.05	1.48	0.09	0.06	0.16	0.06	0.09	0.03	0.03	0.09	2.31

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ \sum PAHs₁₅ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)

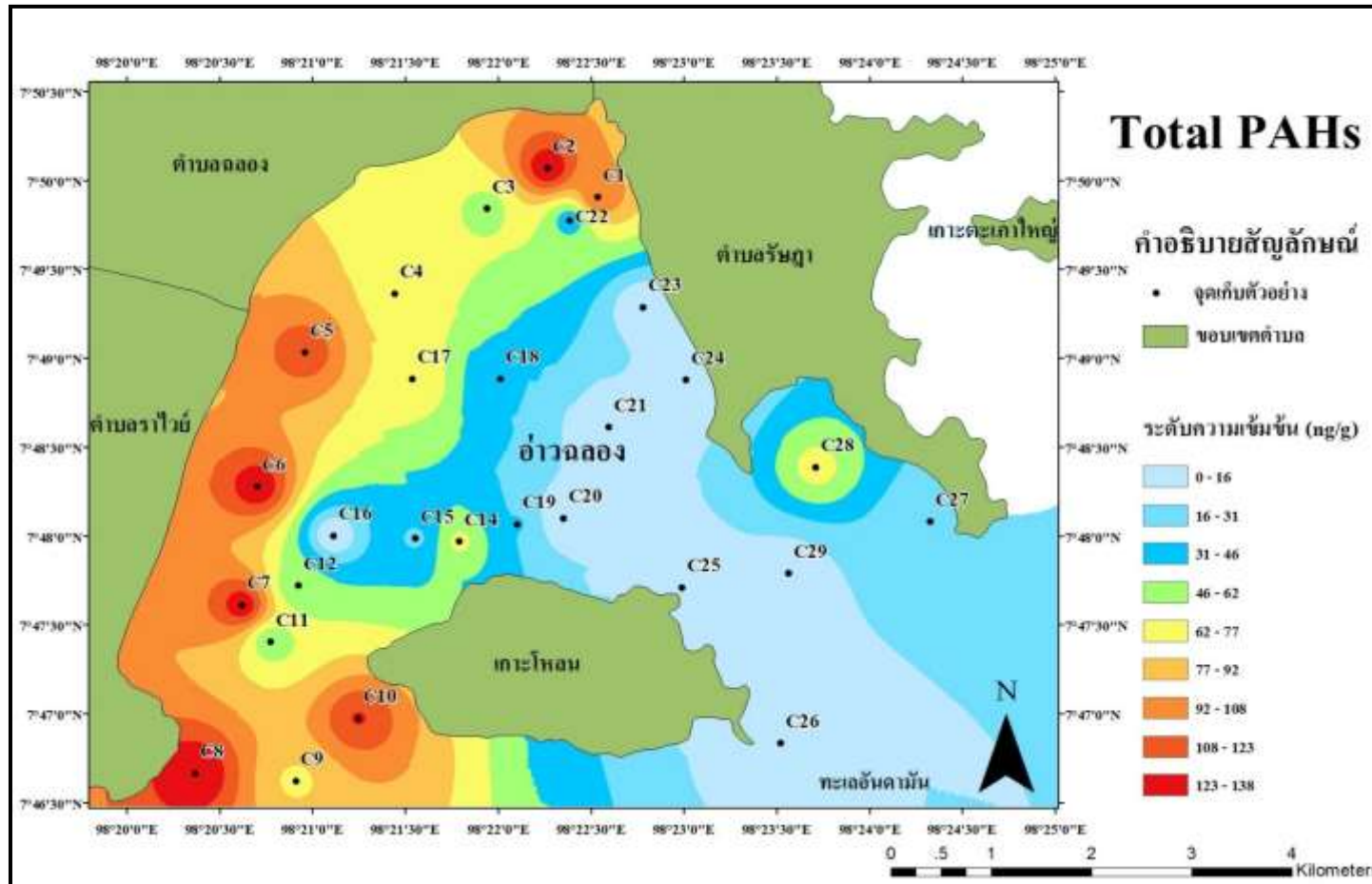
สถานี	Acy	Ace	Fl	Phe	An	Fluo	Pyr	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	\sum PAHs
R15	0.03	0.03	0.06	0.02	0.03	0.05	1.48	0.09	0.06	0.16	0.06	0.09	0.03	0.03	0.09	2.31
R16	0.11	0.06	0.20	0.05	0.05	0.07	0.06	0.27	0.10	0.09	0.09	0.19	0.04	0.17	0.04	1.56
R(A)	0.01	0.60	0.48	6.47	1.20	45.02	45.29	0.02	7.69	42.38	5.62	18.96	4.74	0.04	6.20	184.74
R(B)	0.60	0.94	2.29	5.15	1.15	21.98	30.01	6.36	8.72	14.28	1.80	5.88	1.92	0.02	2.92	104.02
R(G)	0.02	0.08	0.06	0.02	0.01	0.07	0.03	0.10	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.64
R(H)	0.02	0.02	0.08	0.01	0.02	0.01	2.23	0.07	0.13	0.04	0.04	0.03	0.01	0.07	0.04	2.83
R(J)	0.91	0.71	1.66	0.02	0.04	0.02	0.05	0.05	0.11	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	3.71
R(K)	6.45	3.19	8.52	0.01	0.03	0.09	0.03	0.27	0.07	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	18.83
R(L)	2.73	2.22	7.98	0.03	0.03	0.03	0.03	0.11	0.03	0.06	0.07	0.07	0.03	0.03	0.06	13.51
average	0.71	1.11	2.01	1.17	0.47	21.42	22.62	2.30	2.72	3.99	0.74	2.14	1.05	0.65	1.30	64.42
SD	1.44	2.02	3.90	1.82	1.33	55.79	58.73	4.13	4.41	9.31	1.38	4.26	1.95	1.58	2.82	125.53

4.4 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs

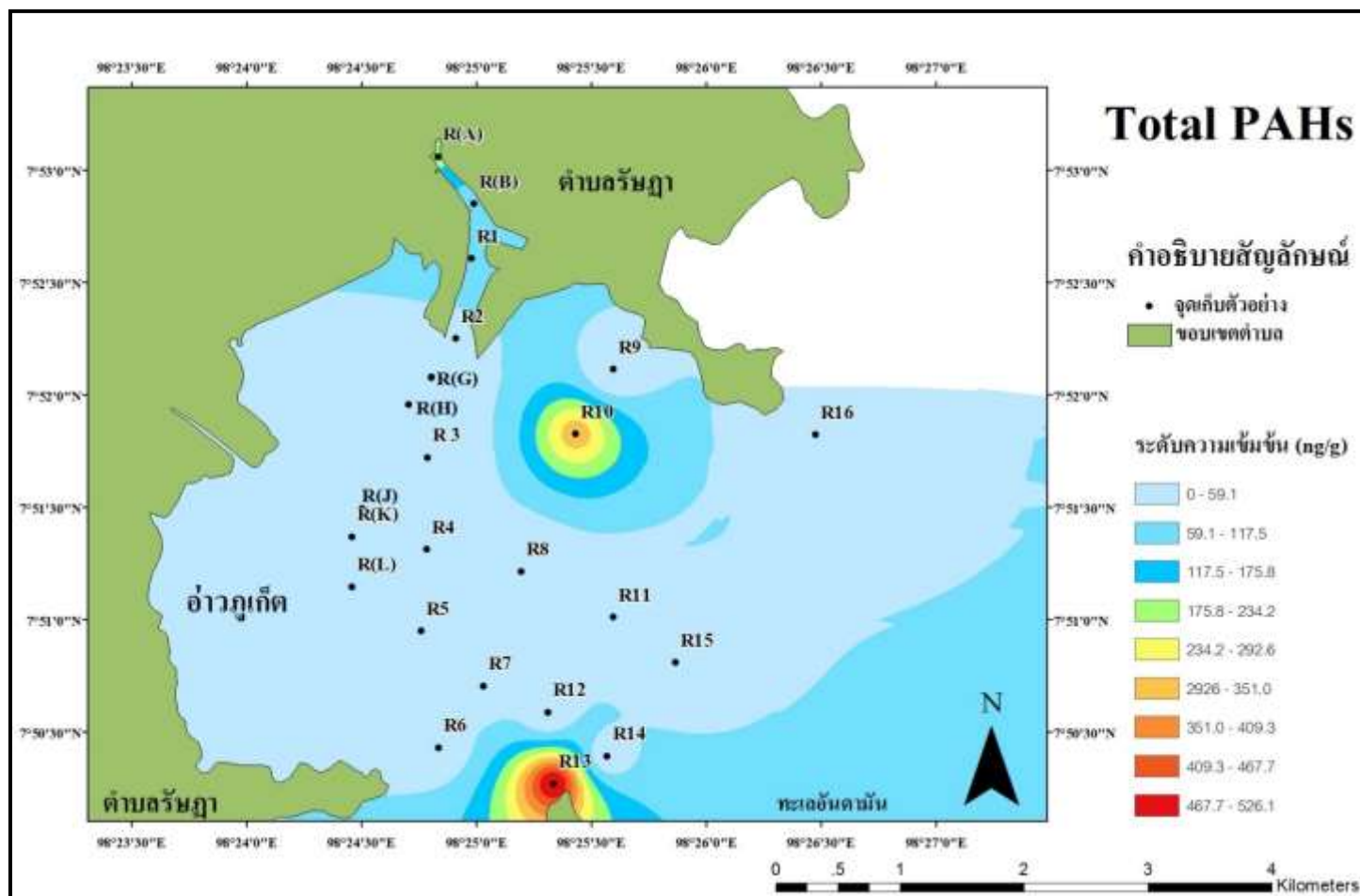
ผลการศึกษาลักษณะการกระจายตัว ระดับความเข้มข้น \sum PAHs₁₅ บริเวณอ่าวฉลอง แสดงดังรูปที่ 4.8 และอ่าวภูเก็ต แสดงดังรูปที่ 4.9 สามารถแบ่งสาร PAHs ตามชนิดวงแหวนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วยวงแหวน 2-3 วง (Nap, Acy, Ace, Fl, Phe, An) โดยสาร PAHs ที่พบมีแหล่งกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Mai, *et al.*, 2002) แสดงดังรูปที่ 4.10 และกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยวงแหวน 4-6 วง (Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]) เป็นสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Mai, *et al.*, 2002; Wang, *et al.*, 1995; Zeng and Vista, 1997) แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งในตะกอนดินบริเวณอ่าวฉลองมีการปนเปื้อนสาร PAHs กลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่มากกว่ากลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก ส่วนในตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ตมีการปนเปื้อนของสาร PAHs กลุ่มที่มีโครงสร้างเล็กมากกว่ากลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ ซึ่งในบางสถานีพบว่าการปนเปื้อนของสาร PAHs ทั้งกลุ่มที่มีโครงสร้างเล็กและกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ บ่งชี้ได้ว่าสถานีนั้น ๆ มีความหลากหลายของแหล่งกำเนิด คือ มีสาร PAHs ที่มาจากปิโตรเลียมและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Ko, *et al.*, 2007; Lin, *et al.*, 2003; Yan, *et al.*, 2009)

4.4.1 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs บริเวณอ่าวฉลอง

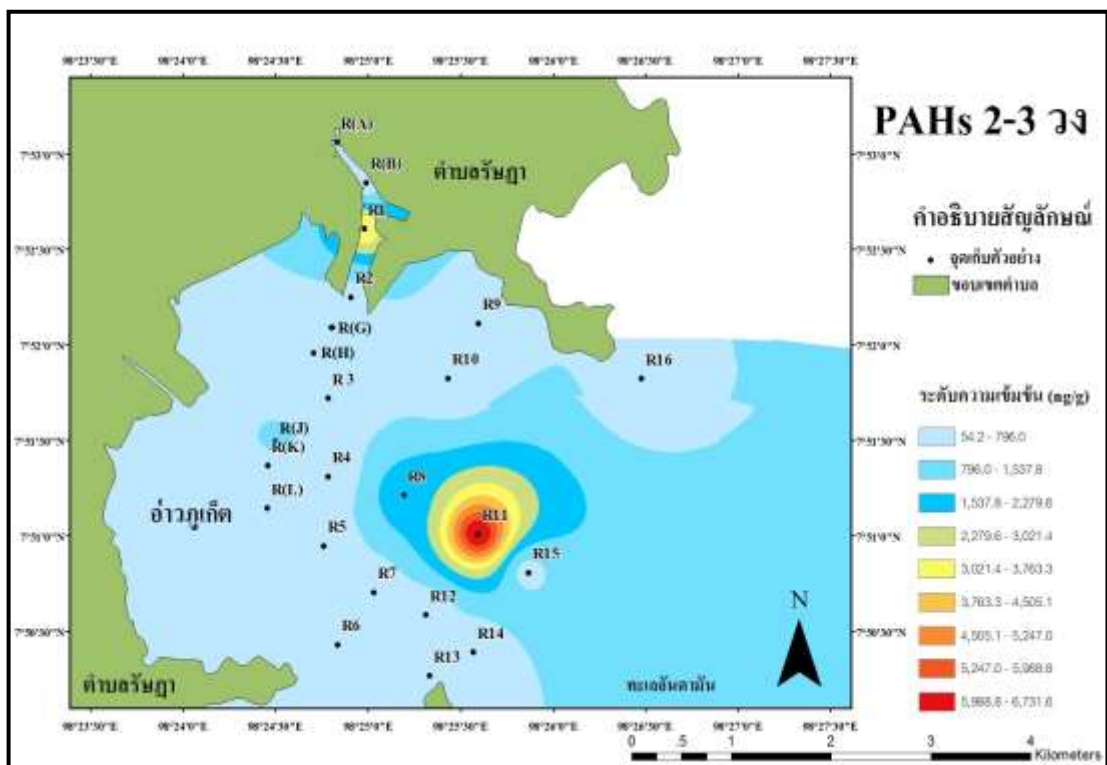
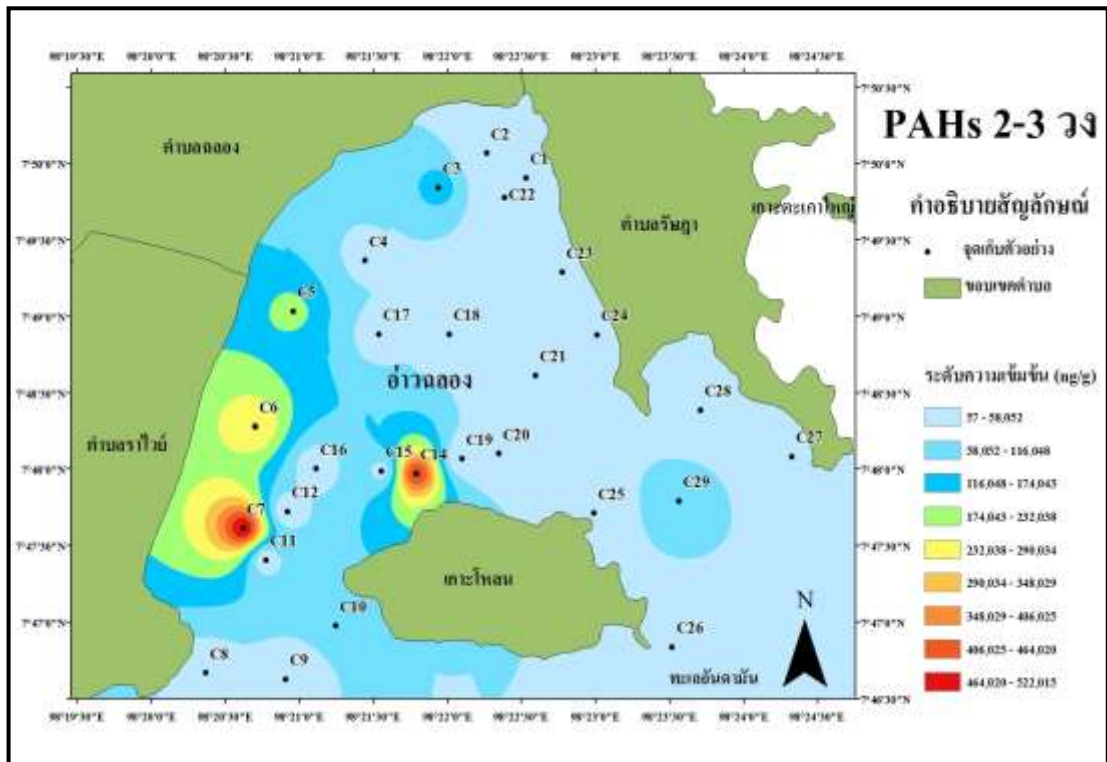
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินบริเวณอ่าวฉลอง มีลักษณะเด่นแตกต่างกัน พบว่ามีความเข้มข้นสูงของ Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F และ B[a]P บริเวณสถานีใกล้ชายฝั่ง แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งบริเวณดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณจุดปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชน อีกทั้งบริเวณดังกล่าวยังมีการก่อสร้างสะพานและเป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งของเรือโดยสาร โดยสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ มีวงแหวน 4-6 วง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (Mai, *et al.*, 2002; Wang, *et al.*, 1995; Zeng and Vista, 1997) นอกจากนี้ยังพบการกระจายตัวที่มีลักษณะเด่นของ Acy และ B[a]P พบว่านอกจากความเข้มข้นกระจายตัวสูงในบริเวณใกล้ชายฝั่งแล้วยังพบว่าการกระจายตัวสูงในบริเวณกลางอ่าว โดยสาร PAHs ที่พบมาจากกลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก และกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (Mai, *et al.*, 2002)



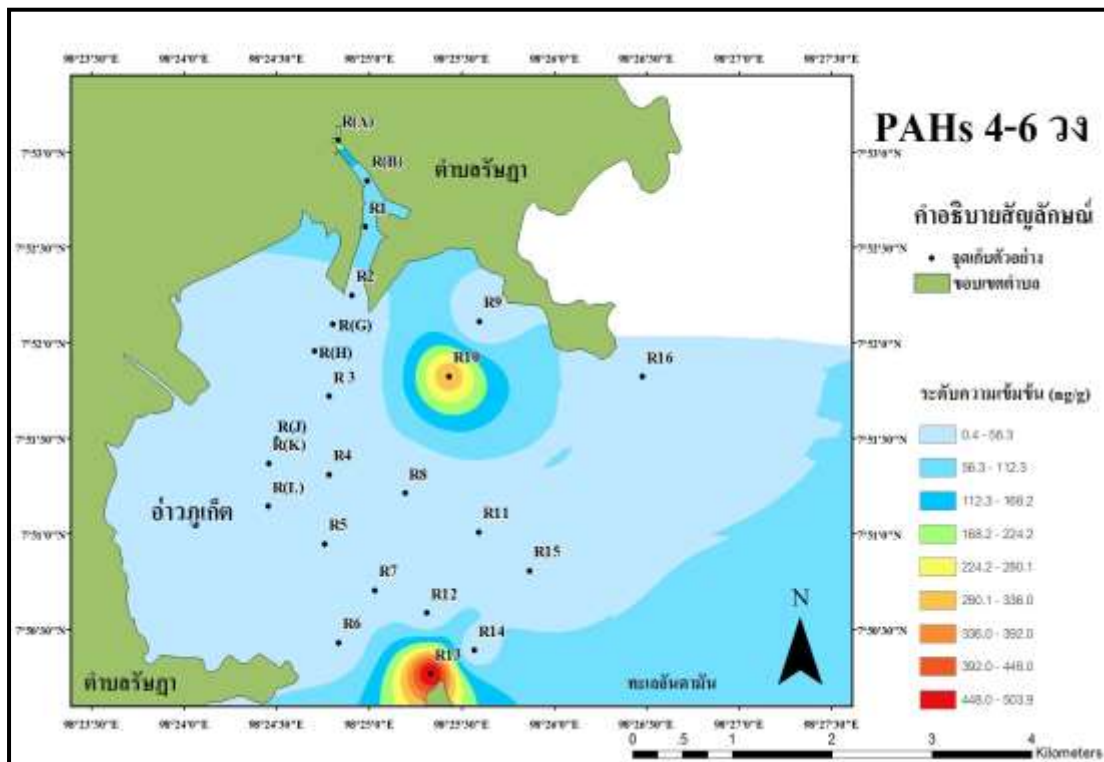
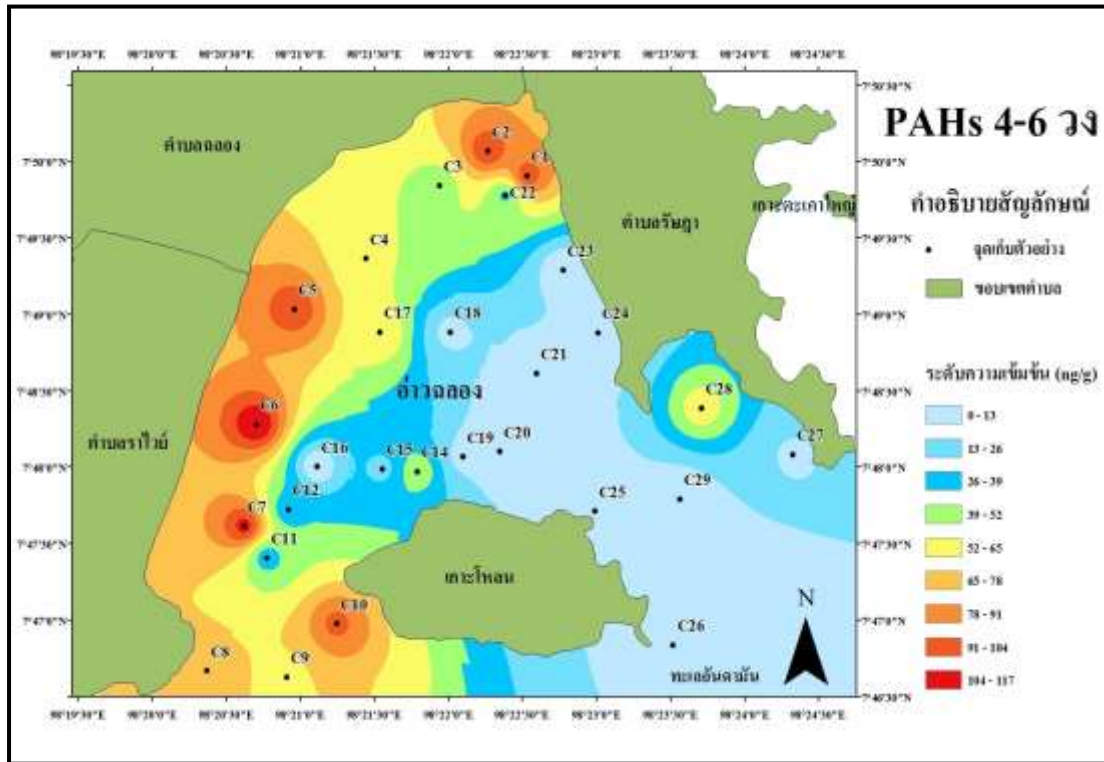
รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของ $\sum PAH_{15}$ ในตะกอนดินบริเวณอ่าวดง



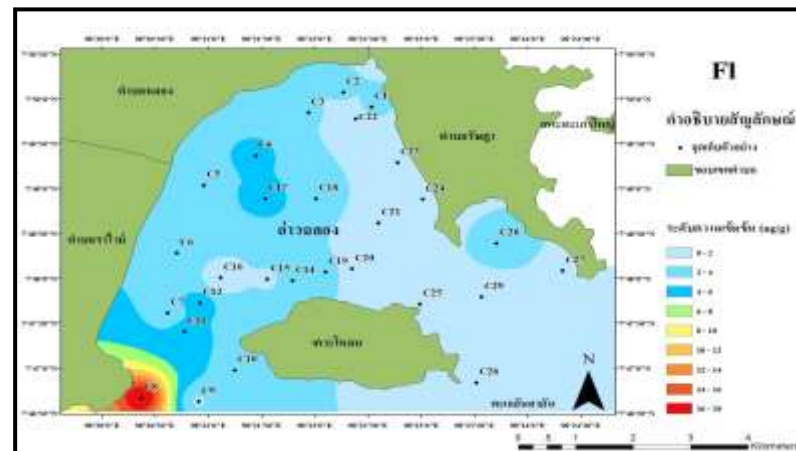
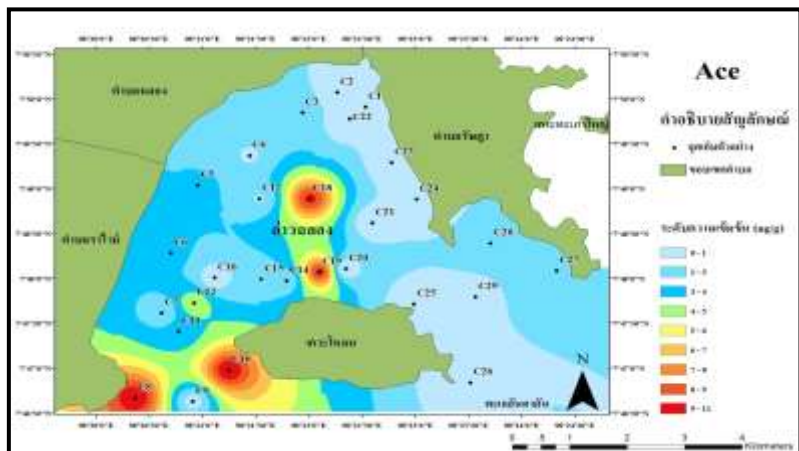
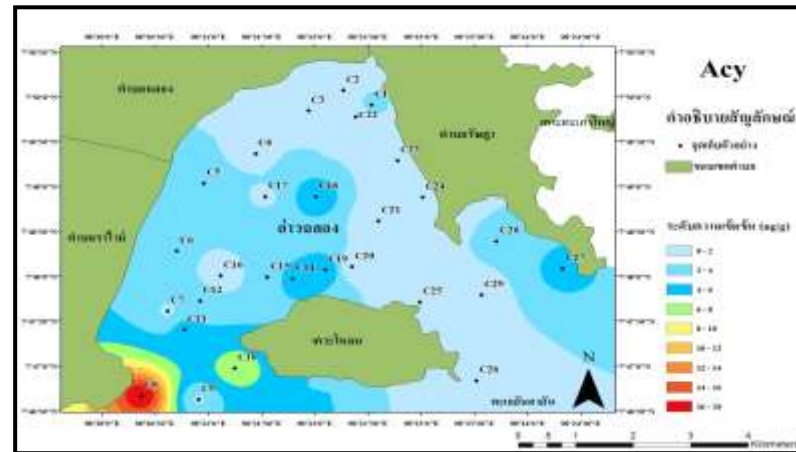
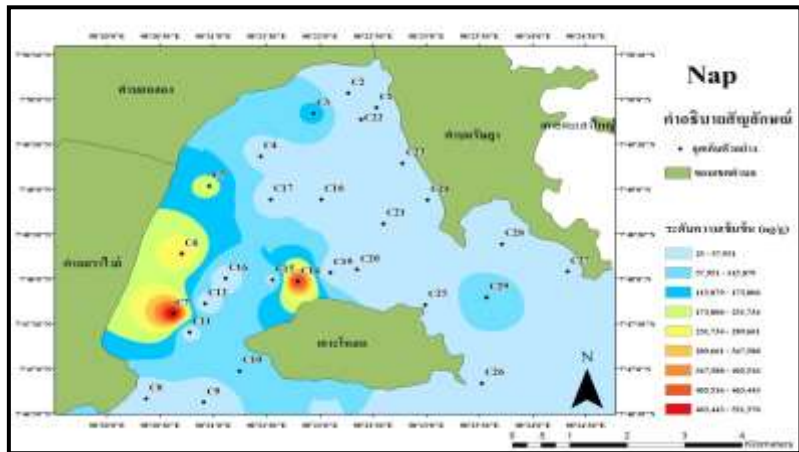
รูปที่ 4.9 ลักษณะการกระจายตัวของ ΣPAHs_{15} ในตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต



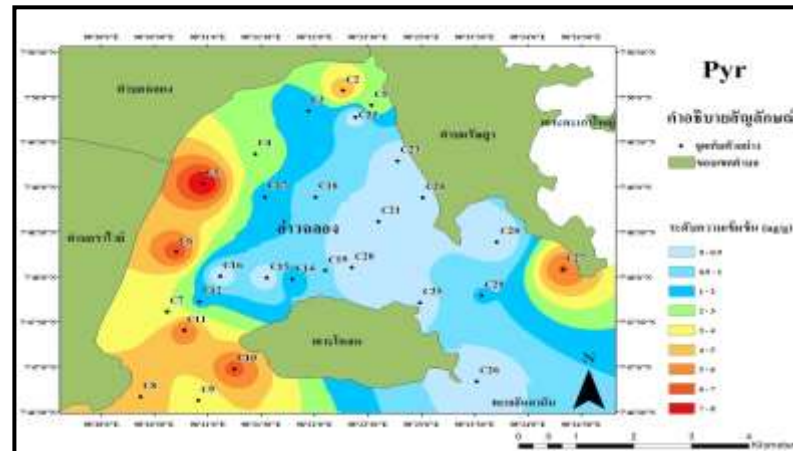
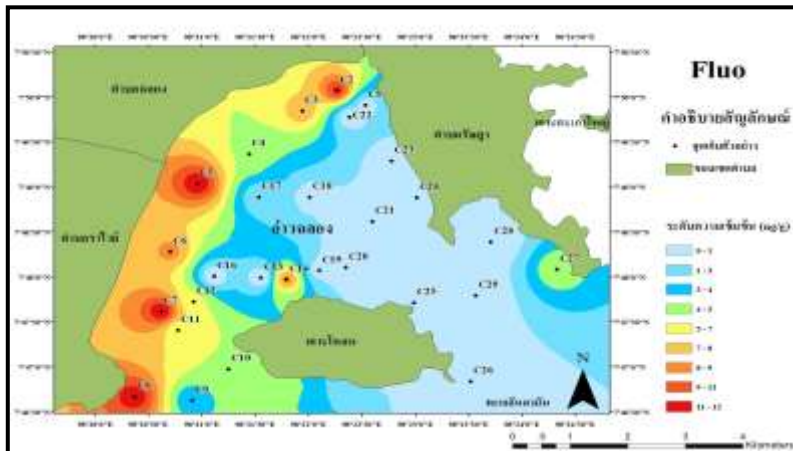
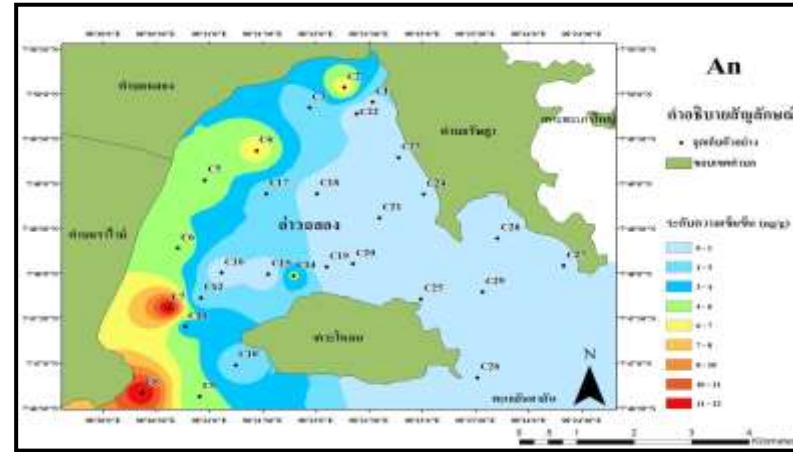
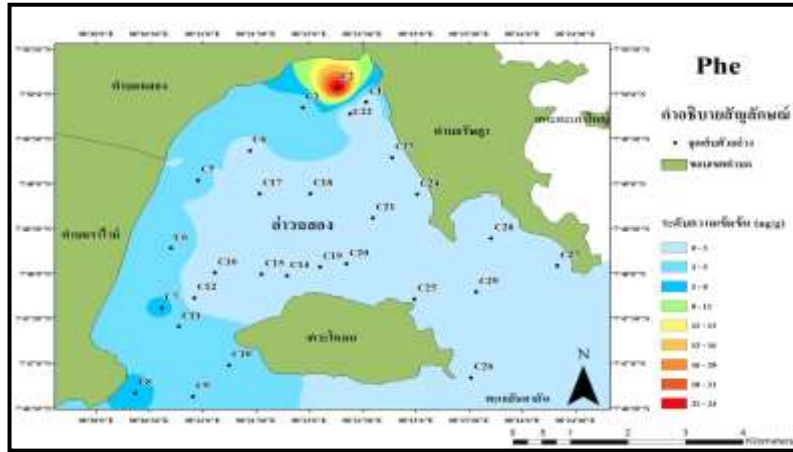
รูปที่ 4.10 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs 2-3 วง ในตะกอนดินอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต



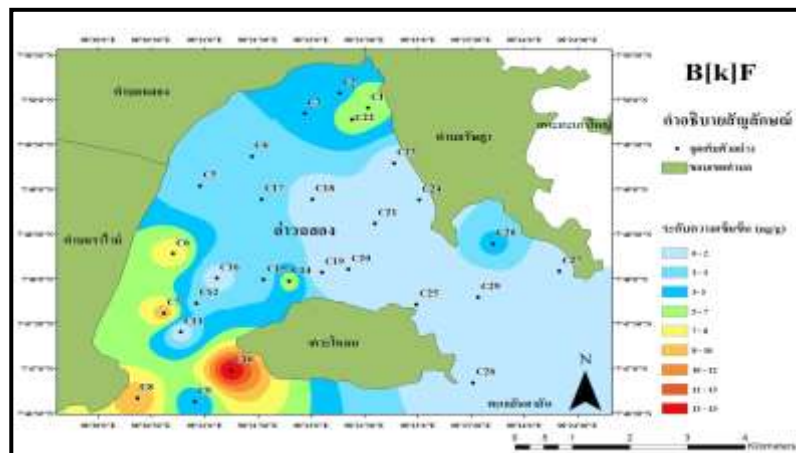
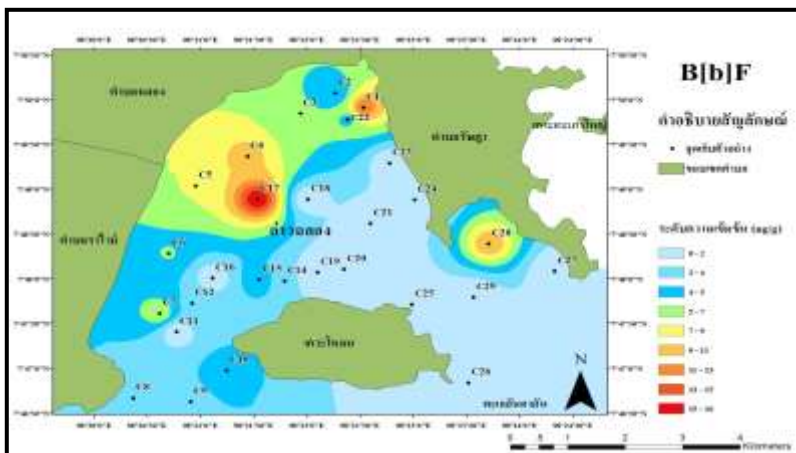
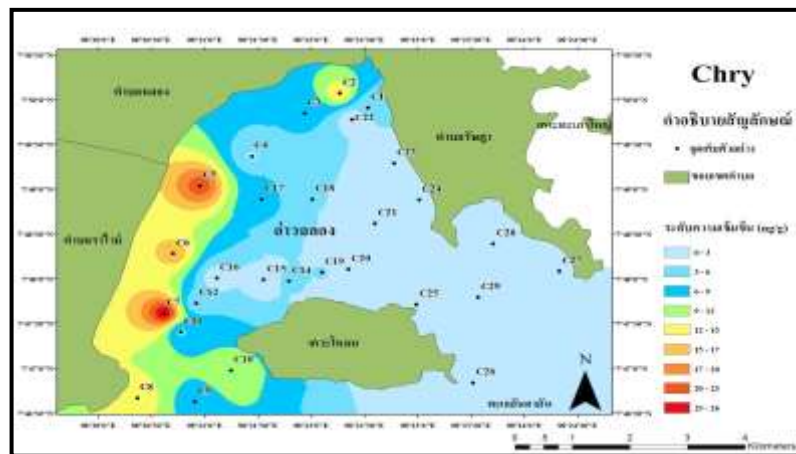
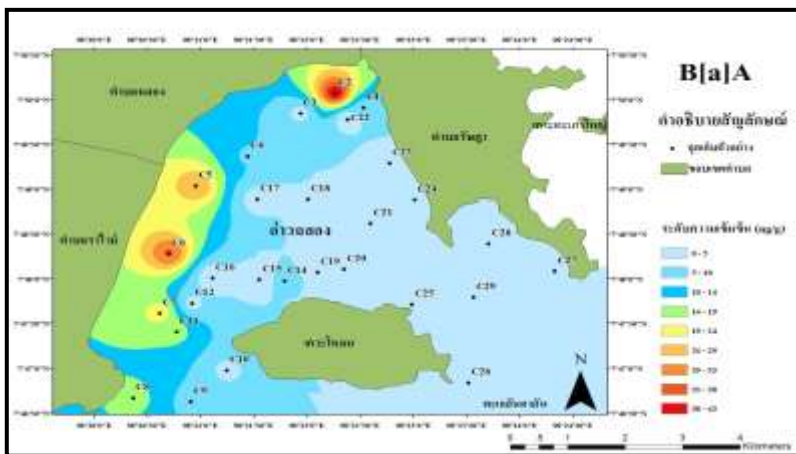
รูปที่ 4.11 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs 4-6 วง ในตะกอนดินอำวนลอง และอำวภูเก็ด



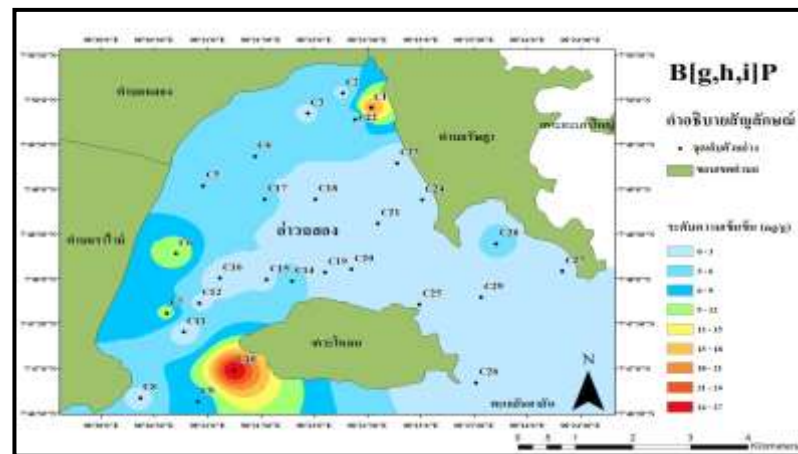
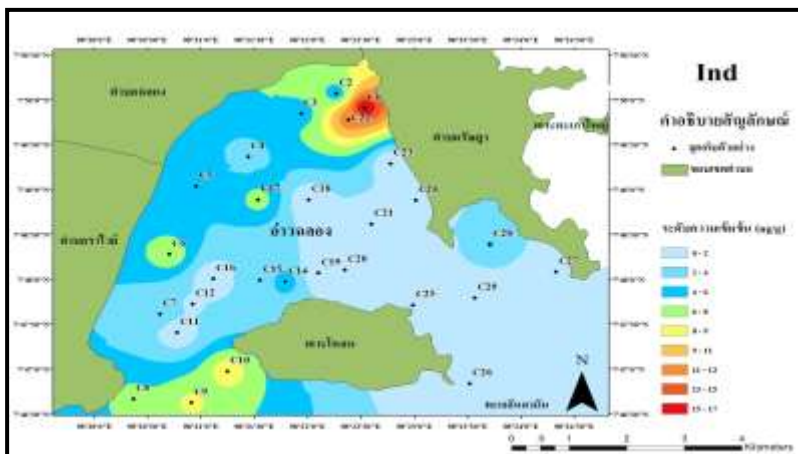
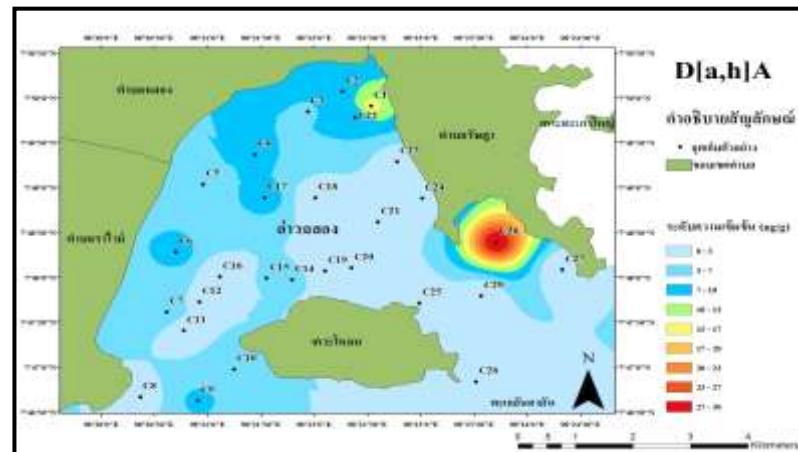
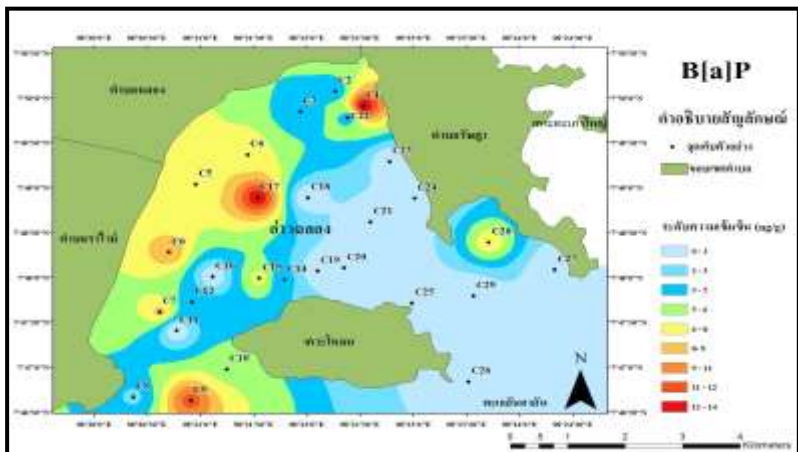
รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวคลอง



รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)



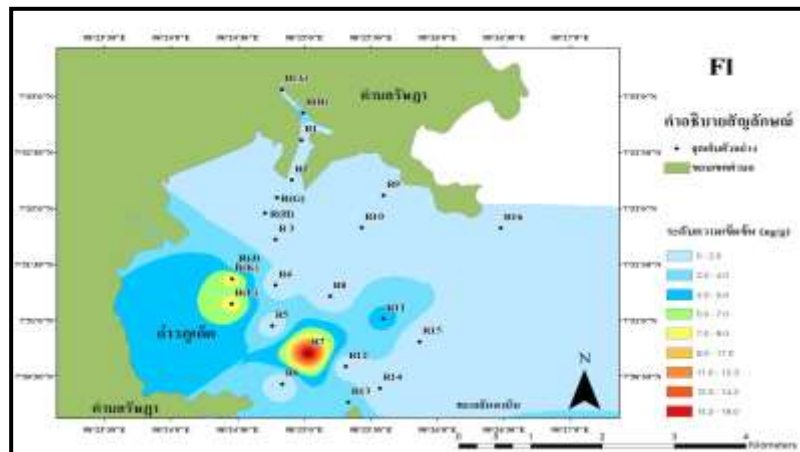
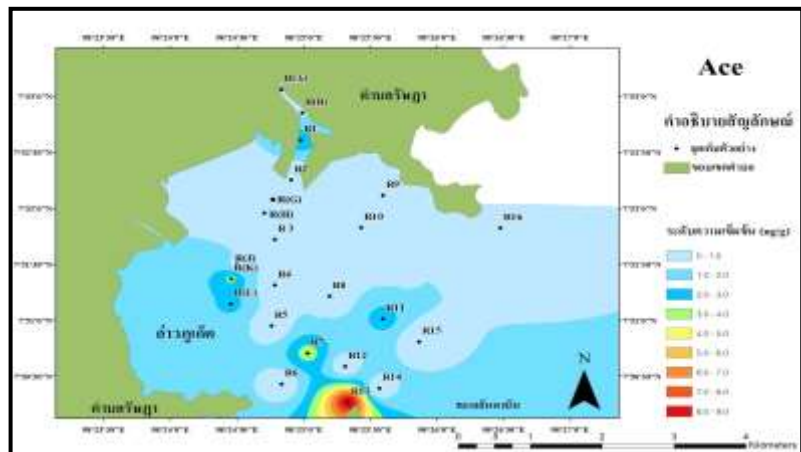
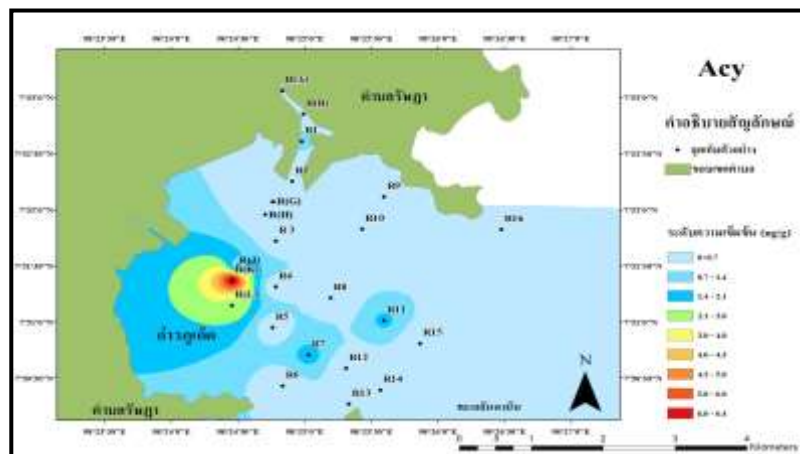
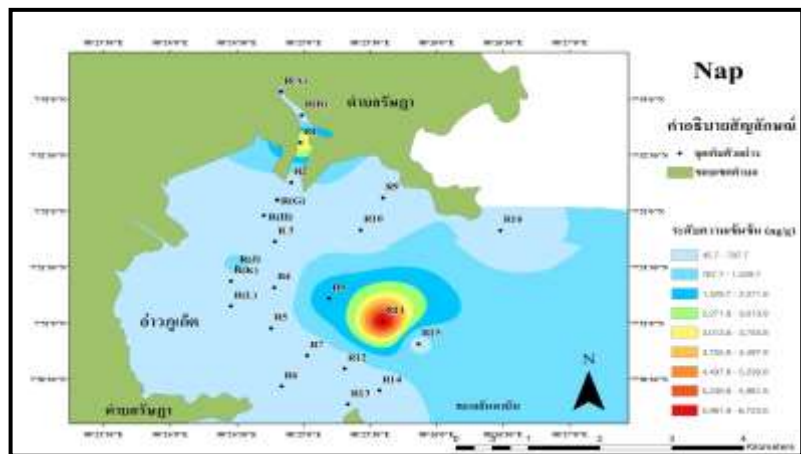
รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)



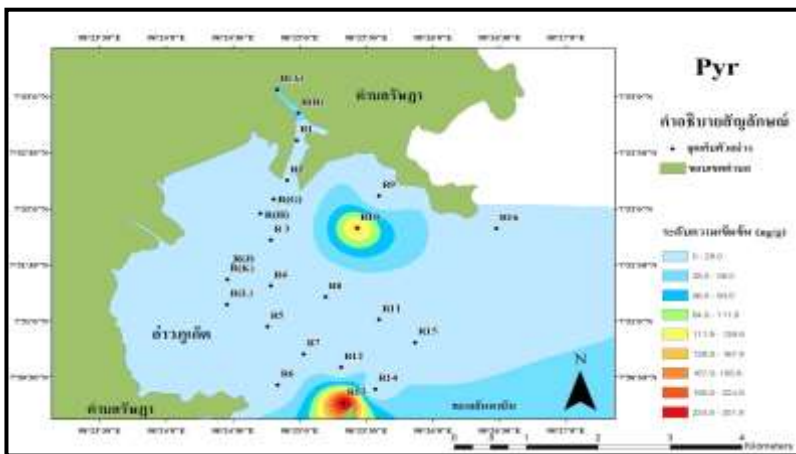
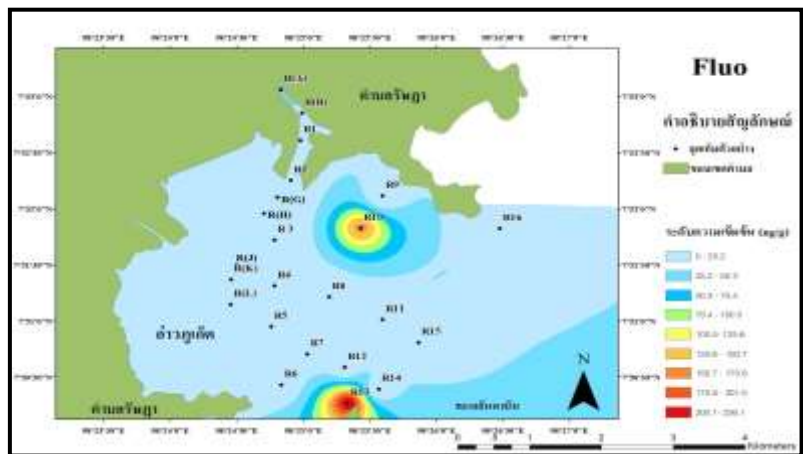
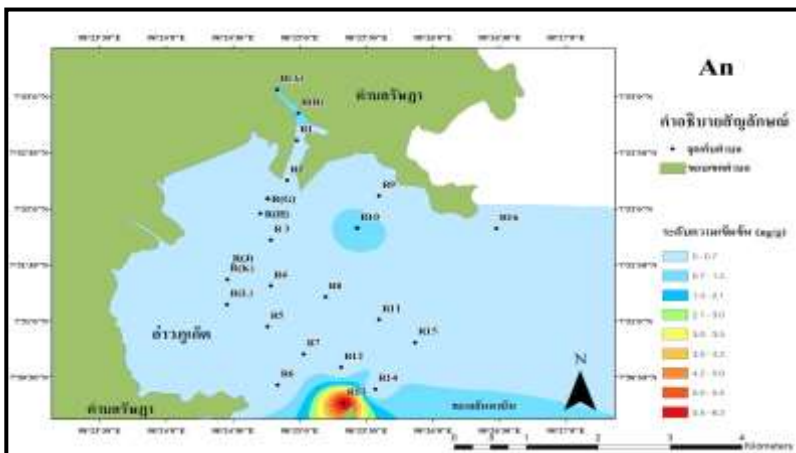
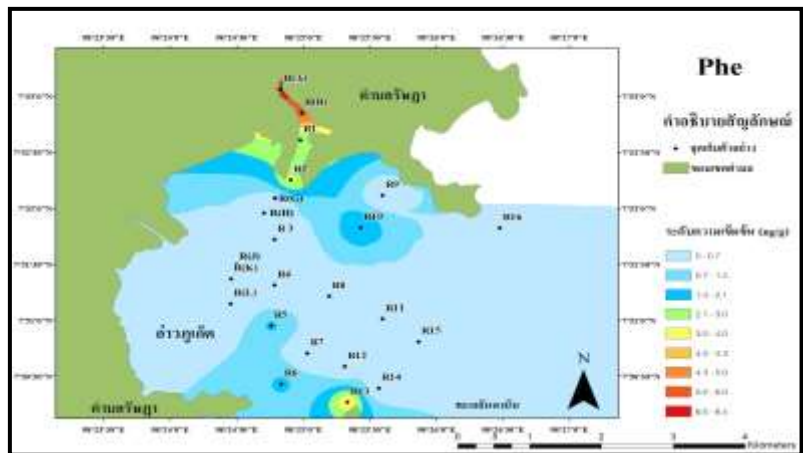
รูปที่ 4.12 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)

4.4.2 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs บริเวณอ่าวภูเก็ต

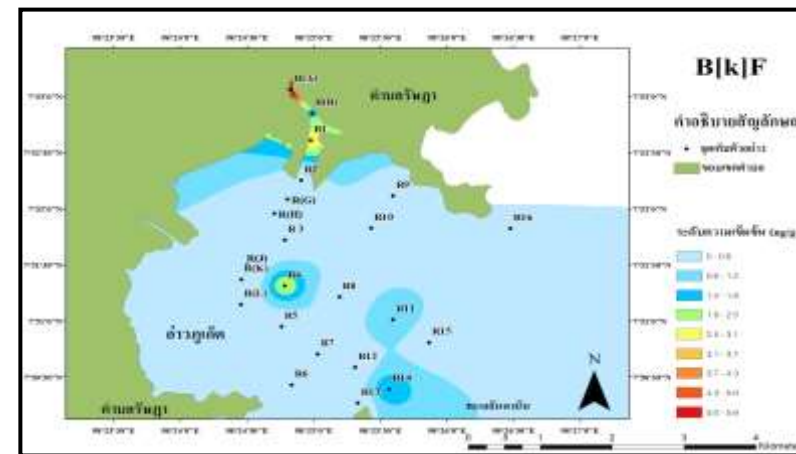
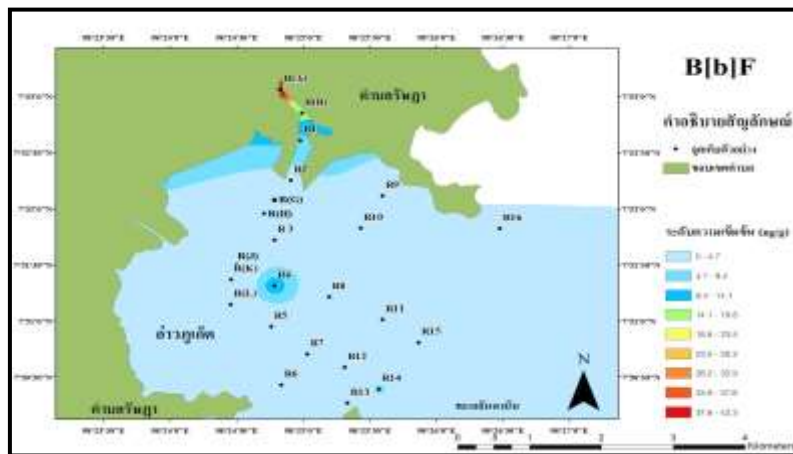
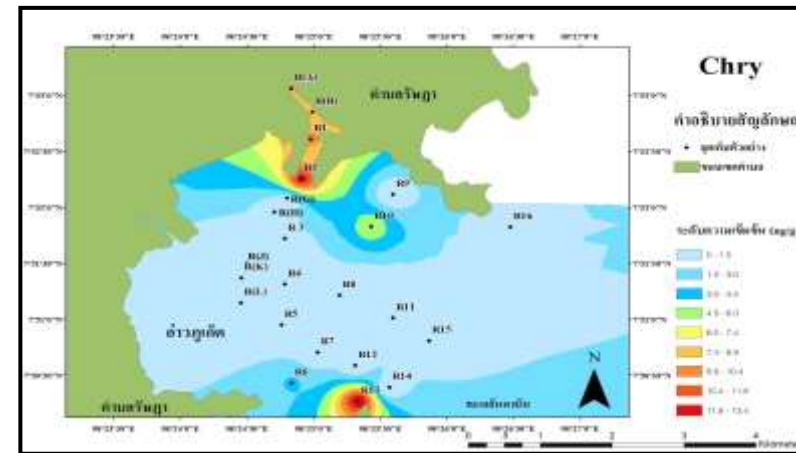
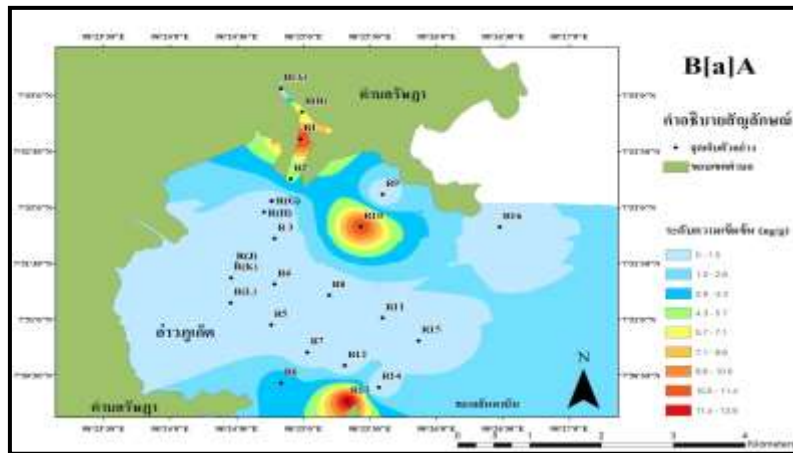
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต เช่น การกระจายตัวของ Phe, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P และ B[g,h,i]P พบว่ามีความเข้มข้นสูงเป็นกลุ่มสารประกอบ PAHs ที่มีโครงสร้างเล็ก และโครงสร้างใหญ่ บริเวณสถานี R(A), R(B) และ R1 สาร PAHs ที่พบจึงมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งปิโตรเลียมและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Ko, *et al.*, 2007; Lin, *et al.*, 2003; Yan, *et al.*, 2009) ดังนั้นพื้นที่บริเวณดังกล่าวได้รับสาร PAHs จากการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเรือประมง น้ำทิ้งที่มาจากชุมชน และภายในคลองเป็นเส้นทางเข้าออกของเรือประมง เนื่องจากเป็นท่าเทียบเรือประมงจึงมีเรือเข้าออกพลุกพล่าน (วรรณช ศีละมัน, 2552) แสดงดังรูปที่ 4.13



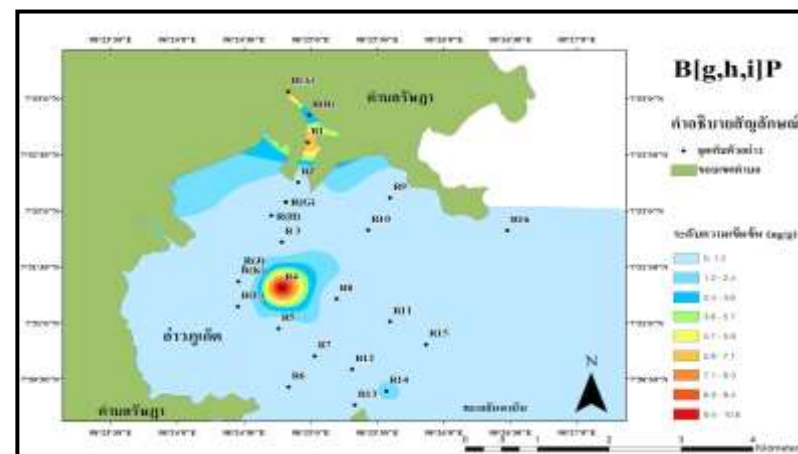
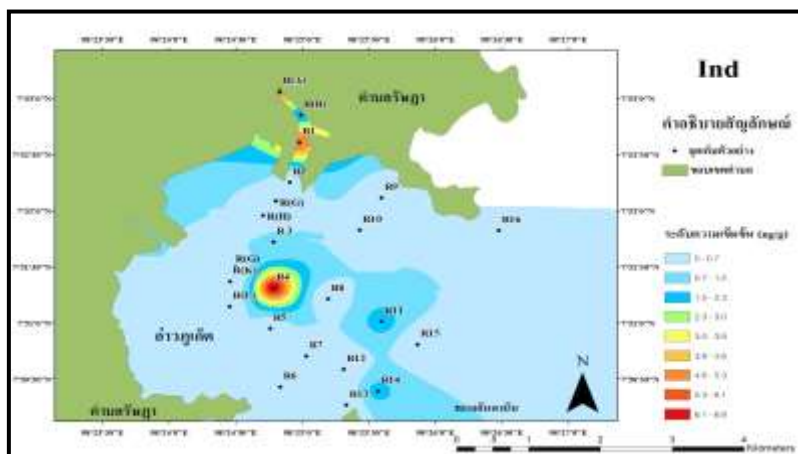
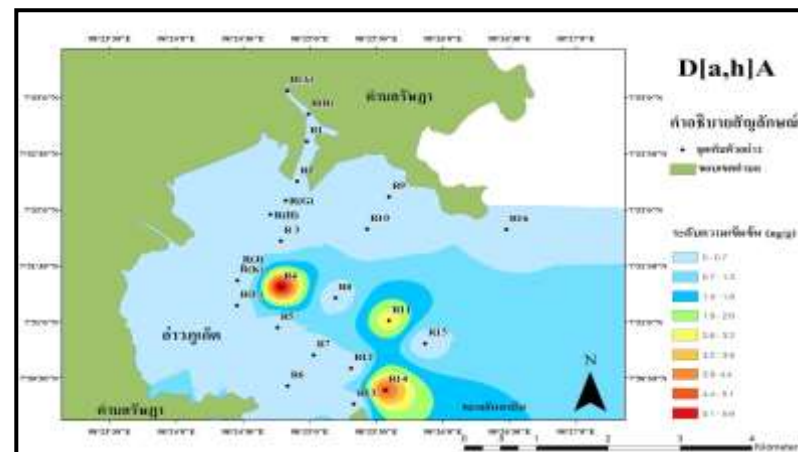
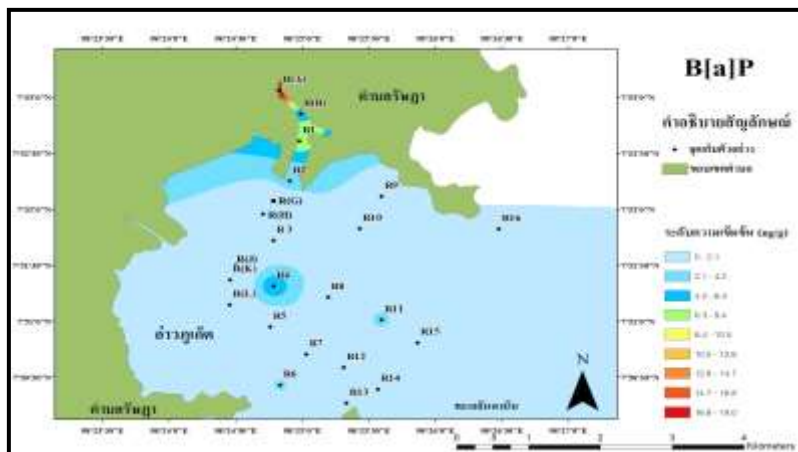
รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต



รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)



รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)

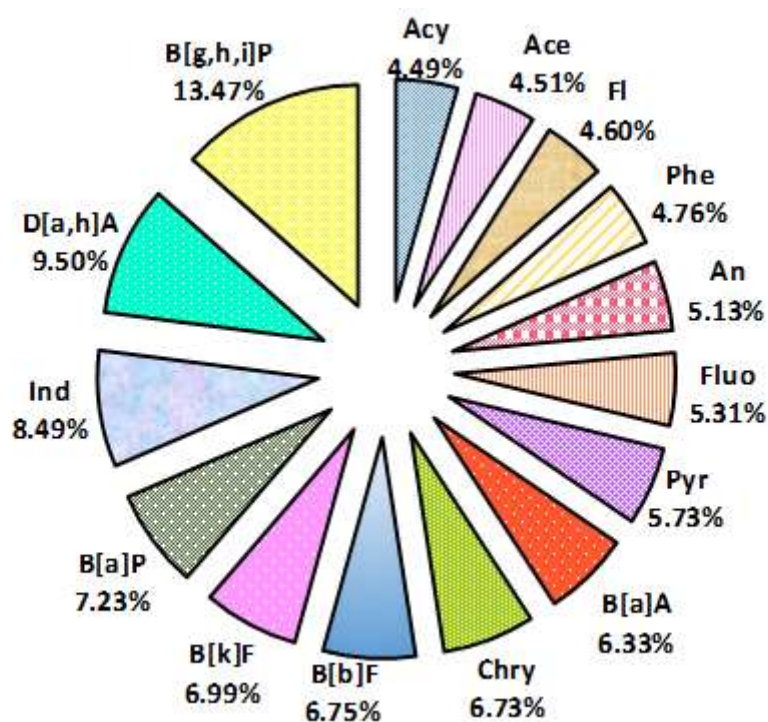


รูปที่ 4.13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)

4.5 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิด

4.5.1 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินอ่าวฉลอง

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในตะกอนดินท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จำนวน 28 สถานี พบว่ามีสัดส่วน (%) ของสาร PAHs แต่ละชนิด เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Nap (99.92%), B[a]A (13.37%), Chry (9.50%), D[a,h]A (8.49%), B[g,h,i]P (7.23%), B[a]P (6.99%), B[b]F (6.75%), Fluo (6.73%), Ind (6.33%), B[k]F (5.73%), Ace (5.31%), Fl (5.13%), Pyr (4.76%), Acy (4.60%), Phe (4.51%) และ An (4.49%) แสดงดังรูปที่ 4.14



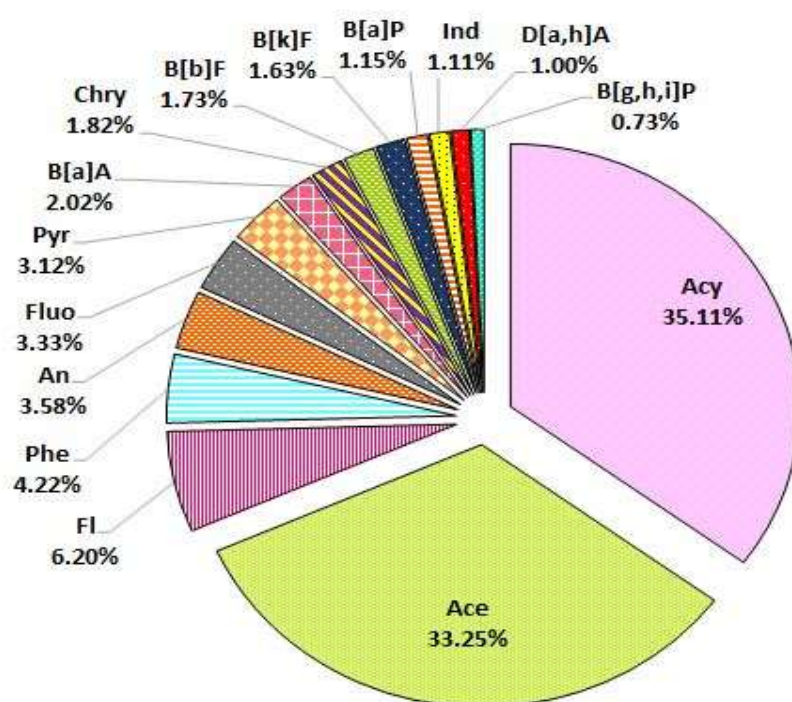
รูปที่ 4.14 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิด ในตะกอนดินอ่าวฉลอง

สาร PAHs ชนิดที่มีความเข้มข้นรวมสูงสุดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวฉลอง คือ Nap สถานีที่มีค่าสูงสุด คือ สถานี C7 (522,745.03 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) และ C14 (475,976.49 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ซึ่งสถานี C7 เป็นพื้นที่ที่อยู่บริเวณจุดปล่อยน้ำทิ้งจาก

ชุมชนส่วนสถานี C14 เป็นสถานีที่อยู่บริเวณเกาะโหลน ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวและเป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งของเรือโดยสาร

4.5.2 สัดส่วนของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต จำนวน 23 สถานี พบว่ามีสัดส่วน (%) ของสาร PAHs แต่ละชนิด เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Nap (92.58%), Acy (35.11%), Ace (33.25%), Fl (6.20%), Phe (4.22%), An (3.58%), Fluo (3.33%), Pyr (3.12%), B[a]A (2.02%), Chry (1.82%), B[b]F (1.73%), B[k]F (1.63%), B[a]P (1.15%), Ind (1.11%), D[a,h]A (1.00%) และ B[g,h,i]P (0.73%) แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

PAHs ชนิดที่มีความเข้มข้นรวมสูงสุดในตัวอย่างตะกอนดินบริเวณท่าเทียบเรือประมงรัชฎา คือ Nap สถานีที่มีค่าสูงสุด คือ สถานี R11 (6,724.09 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) และ R1 (3,633.49 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) ซึ่งสถานี R11 เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งของเรือ

ส่วนสถานี R1 เป็นสถานีที่อยู่ตรงกลางคลองรัชฎา ทั้งสองฝั่งคลองเป็นท่าเทียบเรือประมง และอู่ต่อเรือ เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งของเรือประมงและเป็นบริเวณที่มีน้ำทิ้งจากชุมชน สาร Nap เป็นวัตถุพิษที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตสารเคมี, ลูกเหม็น, ผลิตรักษา (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) และอาจมีสาเหตุมาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Yunker, *et al.*, 1996)

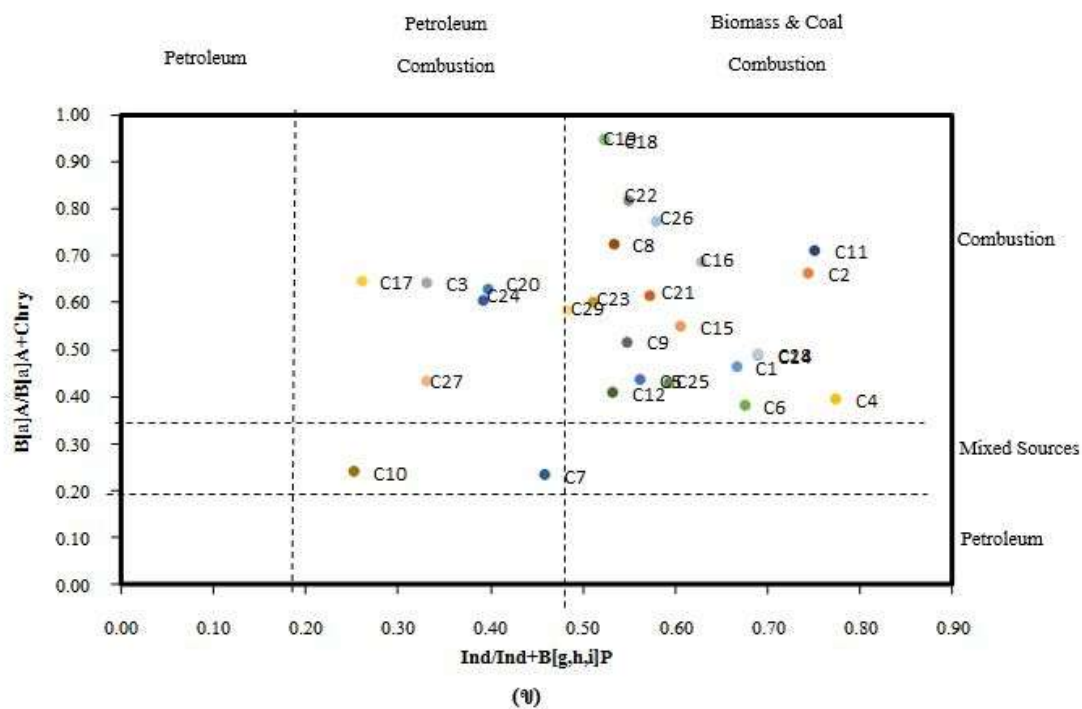
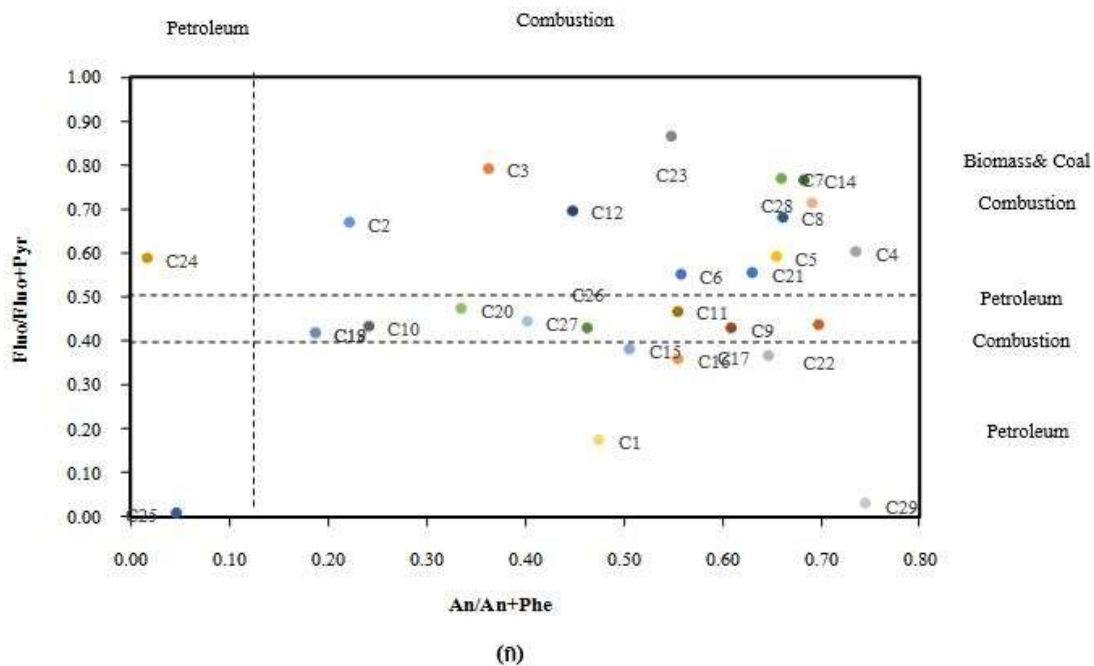
4.6 การประเมินแหล่งกำเนิดของสาร PAHs

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs แบ่งตามกระบวนการเกิดออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) (Page, *et al.*, 1999) PAHs ที่มาจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่ มีมวลโมเลกุลต่ำ มีจำนวนวงแหวน 2-3 วง เช่น Nap, Acy, Ace, Fl, Phe และ An ส่วนสาร PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมัน ถ่านหิน หญ้าหรือไม้ จะมีมวลโมเลกุลสูง มีจำนวนวงแหวน 4-6 วง เช่น Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P (Budzinski, *et al.*, 1997)

การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยใช้ Diagnostic Ratio ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัดส่วนไอโซเมอร์ (isomer ratio) ของสาร PAHs แต่ละชนิด เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม (Baumard, *et al.*, 1998; Budzinski, *et al.*, 1997; Yunker, *et al.*, 2002) การศึกษาครั้งนี้ได้นำสัดส่วนของไอโซเมอร์ 4 แบบ และสัดส่วนมวลโมเลกุล (molecular ratio) 1 แบบ คือ 1) An/(An+Phe) (Baumard, *et al.*, 1998; Qiao, *et al.*, 2006) 2) Fluo/(Fluo+Pyr) (Budzinski, *et al.*, 1997; Yunker, *et al.*, 2002) 3) B[a]A/(B[a]A+Chry) (Yunker, *et al.*, 2002) 4) Ind/(Ind+B[g,h,i]P) (Budzinski, *et al.*, 1997; Yunker, *et al.*, 2002) 5) $\sum \text{PAHs (2-3 วง)} / \sum \text{PAHs (4-6 วง)}$ (Budzinski, *et al.*, 1997; De Luca, *et al.*, 2005) โดยหาความสัมพันธ์กันเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ว่ามีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic หรือ pyrogenic ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการบ่งชี้ประเภทของแหล่งกำเนิดแต่ละสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนโมเลกุล แสดงดังตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 ผลการคำนวณค่าสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนโมเลกุลของแต่ละสถานีของอ่าวคลอง แสดงดังตารางที่ 4.5 และอ่าวภูเก็ต แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง

สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/Ind+B[g,h,i]P	\sum LPAHs/ \sum HPAHs
C1	2.26	4.59	4.56	20.47	0
C2	24.61	6.49	15.72	3.39	85
C3	4.34	2.98	7.66	3.70	3140
C4	3.36	4.41	3.71	5.31	796
C5	3.91	9.13	23.03	5.94	1859
C6	5.05	7.90	17.45	13.07	2501
C7	7.44	4.57	27.04	11.34	4791
C8	7.18	6.34	14.89	3.29	246
C9	3.85	4.73	7.96	8.40	4
C10	6.19	7.64	11.90	28.33	702
C11	3.85	7.42	6.19	1.02	545
C12	2.81	3.48	3.78	3.33	30
C14	3.10	3.62	4.60	5.96	9664
C15	1.02	1.04	1.05	3.41	1639
C16	1.01	1.02	1.02	1.01	6105
C17	2.25	3.47	7.98	4.57	451
C18	2.69	2.04	4.14	1.01	25
C19	2.69	2.04	4.14	1.01	25
C20	1.01	1.01	1.06	1.04	1006
C21	1.02	1.01	1.08	1.02	5511
C22	1.02	1.06	1.04	3.79	56
C23	1.07	1.03	1.11	1.10	86
C24	1.73	1.72	1.08	1.03	313
C25	1.30	1.73	1.02	1.02	18
C26	1.03	1.06	1.02	1.02	2019
C27	1.07	7.41	1.15	1.21	144
C28	1.05	1.03	1.04	4.97	46
C29	1.03	2.87	1.11	1.05	48831



รูปที่ 4.16 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo / (Fluo+Pyr)$ และ (ข) $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ ในตะกอนดินอำพลอง

เมื่อนำสัดส่วนไอโซเมอร์ หรือ diagnostic ratio ในตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์จับคู่หาความสัมพันธ์ระหว่าง $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ และระหว่าง $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$

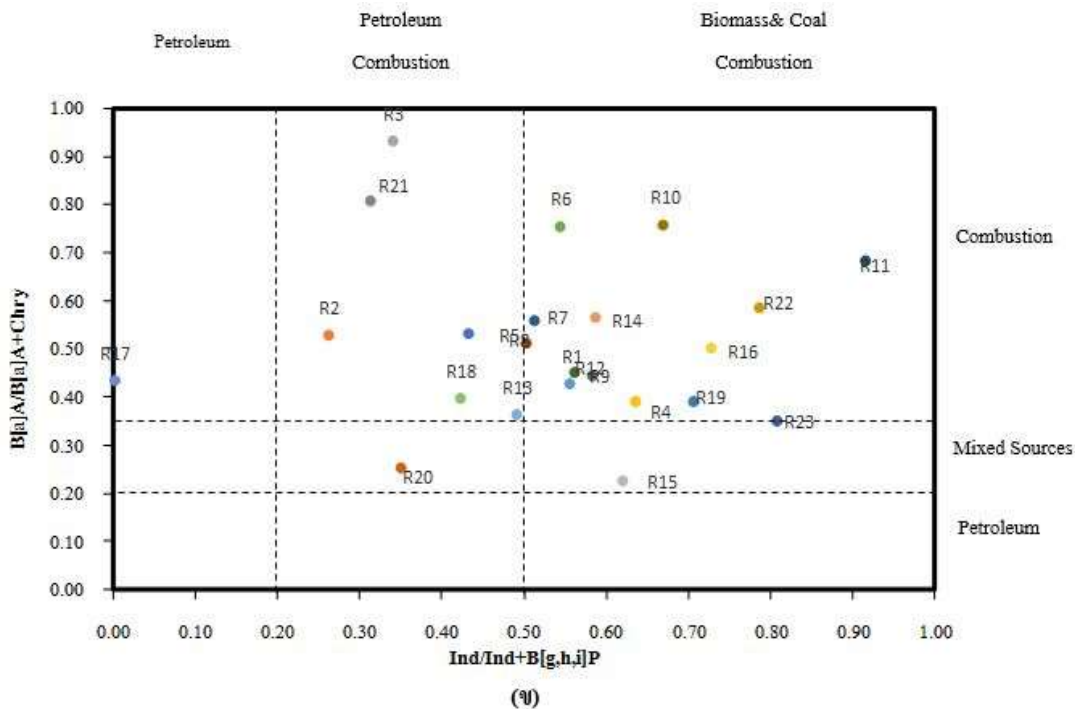
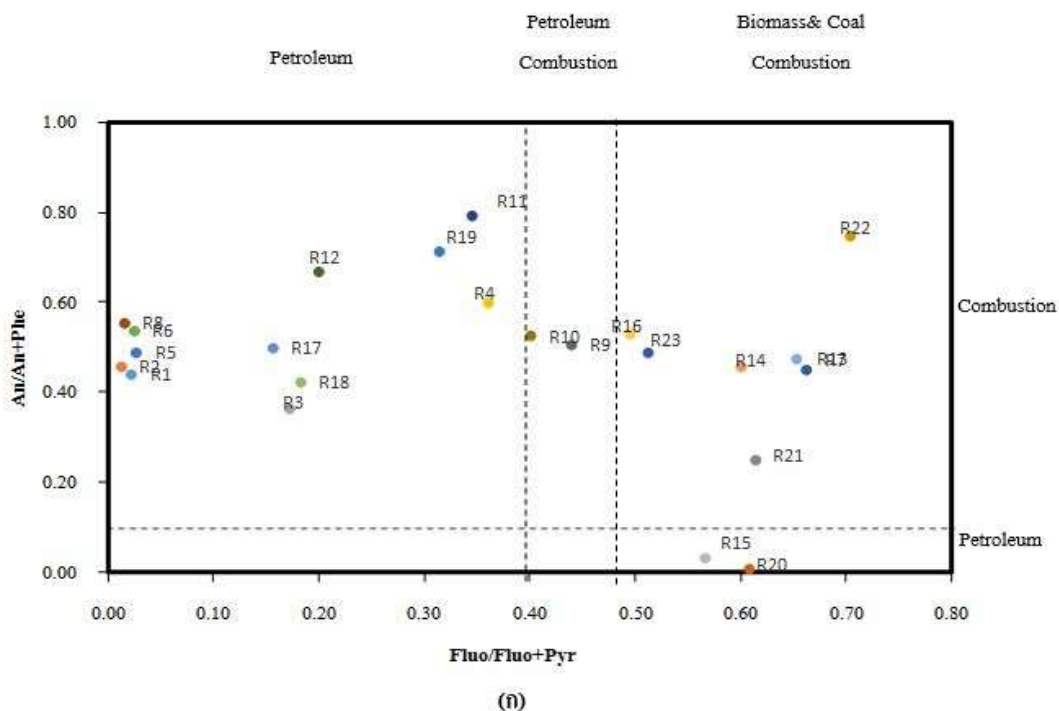
ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่ $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ ในตะกอนดินอ่าวคลอง แสดงดังรูป 4.16 (ก) เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน $An/(An+Phe)$ ก่อน จะเห็นว่าสาร PAHs ในตะกอนดินอ่าวคลอง มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เป็นสาเหตุหลัก ขณะที่สัดส่วน $Fluo/(Fluo+Pry)$ บ่งชี้ได้ว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ ในตะกอนดินอ่าวคลอง แสดงดังรูป 4.16 (ข) เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ ก่อน จะเห็นได้ว่าสาร PAHs ในตะกอนดินอ่าวคลอง มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ขณะที่สัดส่วน $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ บ่งชี้ได้ว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวลเป็นสาเหตุหลัก และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่สัดส่วนไอโซเมอร์ทั้งสองคู่ เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดให้ผลเช่นเดียวกัน คือ สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในตะกอนดินอ่าวคลอง มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

ตารางที่ 4.6 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/Ind+B[g,h,i]P	\sum LPAHs/ \sum HPAHs
R1	3.52	18.00	10.19	8.12	44
R2	3.99	13.56	13.54	1.05	15
R3	1.27	1.51	1.87	1.07	21
R4	1.10	4.15	1.27	11.67	5
R5	2.54	3.80	1.13	1.04	59
R6	2.55	4.18	4.11	1.01	3
R7	1.03	4.43	1.17	1.10	34
R8	1.45	2.35	1.10	1.05	449
R9	1.04	2.03	1.02	1.05	46
R10	3.13	144.86	6.50	1.01	0
R11	1.06	1.03	1.03	1.89	590
R12	1.10	1.08	1.10	1.07	231
R13	4.31	253.03	14.39	1.04	0
R14	1.09	1.04	1.09	2.41	15
R15	1.02	2.48	1.06	1.09	256
R16	1.05	1.06	1.10	1.04	249
R17	7.47	46.29	8.69	7.20	0
R18	6.15	31.01	9.72	3.92	5
R19	1.02	1.03	1.04	1.03	407
R20	1.01	3.23	1.13	1.04	46
R21	1.02	1.05	1.11	1.01	3023
R22	1.01	1.03	1.07	1.03	505
R23	1.03	1.03	1.03	1.06	865



รูปที่ 4.17 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ และ (ข) $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$ ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่ $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต แสดงดังรูป 4.17 (ก) เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน $An/(An+Phe)$ ก่อน จะเห็นได้ว่า สาร PAHs ในตะกอนดินทำเทียบเรือประมงรัชฎา มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นสาเหตุหลัก ขณะที่สัดส่วน $Fluo / (Fluo+Pry)$ บ่งชี้ได้ว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของปิโตรเลียมและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ แสดงดังรูป 4.17 (ข) เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ ก่อน จะเห็นได้ว่าสาร PAHs ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของสารชีวมวลและการเผาไหม้ของปิโตรเลียม ขณะที่สัดส่วน $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ บ่งชี้ได้ว่าสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

จากความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่สัดส่วนไอโซเมอร์ทั้งสองคู่ เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ สาร PAHs ที่ปนเปื้อนในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต มีแหล่งกำเนิดมาจากระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

จากการใช้ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ และ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด พบว่าทั้งตะกอนดินอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียมเป็นสาเหตุหลัก ซึ่งเป็นการยากที่จะระบุให้ชัดเจนว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ของแต่ละสถานีในแต่ละพื้นที่มีแหล่งกำเนิดมาจากที่ใด เพราะในพื้นที่อ่าวทั้งสองมีกิจกรรมต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมขนส่งทางเรือ และการถ่ายเทหรือการรั่วไหลของน้ำมัน ล้วนเป็นแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ทั้งสิ้น

4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร

การวิเคราะห์ข้อมูลของสาร PAHs ในตะกอนดินอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค PCA และ HCA โดยจะใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของสาร PAHs ส่วนเทคนิค HCA เป็นวิธี

แบ่งกลุ่มสถานที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของสาร PAHs ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 17.0

4.7.1 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs อ่าวฉลอง

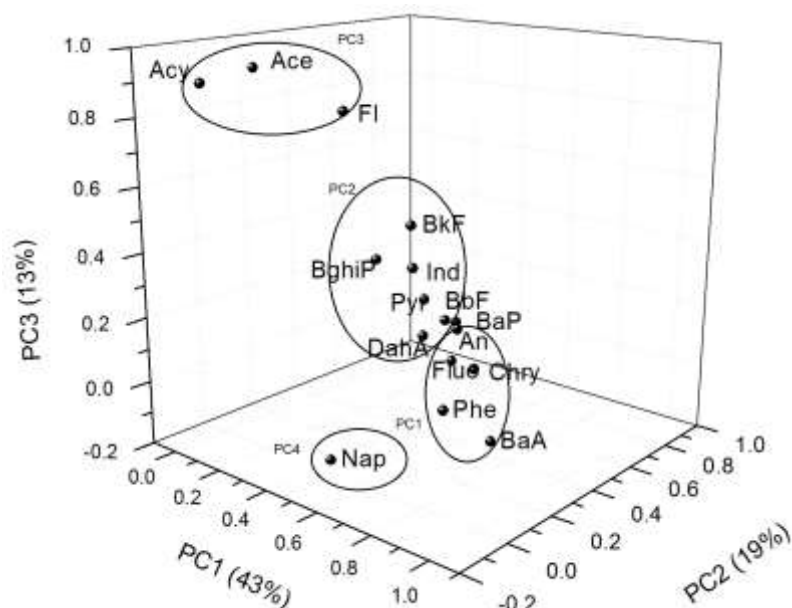
จากการวิเคราะห์ข้อมูลตะกอนดินจากท่าเทียบเรืออ่าวฉลองตามชนิดของสาร PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue > 1 ด้วยวิธีหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 4 มิติ ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.7 การจับกลุ่มข้อมูลสาร PAHs แต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่า PAHs ที่มีค่า Rotated Component matrix ในแต่ละชนิด > 0.6 มีการแบ่งกลุ่ม ดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า Variance 43.0% ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr และ B[a]A เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3-4 วง มีที่มาจากการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997)
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า Variance 19.1% ได้แก่ B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 5-6 วง มีที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Wang, *et al.*, 1995; Budzinski, *et al.*, 1997; Zeng and Vista, 1997)
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า Variance 13.2% ได้แก่ Acy, Ace และ Fl ซึ่ง เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3 วง มีที่มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Yunker, *et al.*, 1996)

องค์ประกอบที่ 4 ให้ค่า Variance 6.5% ได้แก่ Nap, Chry และ B[k]F เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวงแหวน 2 และ 4-5 วง มีที่มาจากปิโตรเลียม และการเผาไหม้ของน้ำมันและถ่านหิน (Fang, *et al.*, 2006; Larsen and Baker, 2003)

ตารางที่ 4.7 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดจากอ่าวฉลอง

PAHs	Component			
	1	2	3	4
Nap	0.45	0.01	-0.16	0.74
Acy	0.03	-0.06	0.89	0.12
Ace	0.20	-0.02	0.95	0.02
Fl	0.38	0.15	0.82	-0.13
Phe	0.79	0.10	0.05	-0.13
An	0.81	0.13	0.28	0.20
Fluo	0.88	0.03	0.24	0.28
Pyr	0.66	0.17	0.32	0.24
BaA	0.93	0.14	-0.01	0.06
Chry	0.82	0.20	0.15	0.37
BbF	0.14	0.90	-0.03	-0.01
BkF	0.30	0.53	0.40	0.56
BaP	0.19	0.89	-0.03	0.14
Ind	0.05	0.83	0.15	0.22
DahA	0.10	0.83	-0.08	-0.10
BghiP	0.05	0.64	0.22	0.60
Variance (%)	43.0%	19.1%	13.2%	6.5%
Cumulative (%)	43.0%	62.1%	75.4%	81.9%



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในตะกอนดินอ่าวฉลอง ด้วยเทคนิค PCA ที่ค่า Rotated Component Matrix แต่ละชนิด > 0.6

เมื่อใช้เทคนิค PCA จัดกลุ่มตามชนิดของสาร PAHs จากองค์ประกอบทั้ง 4 สามารถบ่งชี้ชนิด และแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ที่พบในตะกอนดินอ่าวฉลอง มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ที่ของปิโตรเลียม ซึ่งสอดคล้องกับการใช้สัดส่วนไอโซเมอร์ หัวข้อที่ 4.6

4.7.2 การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิดของสาร PAHs อ่าวภูเก็ต

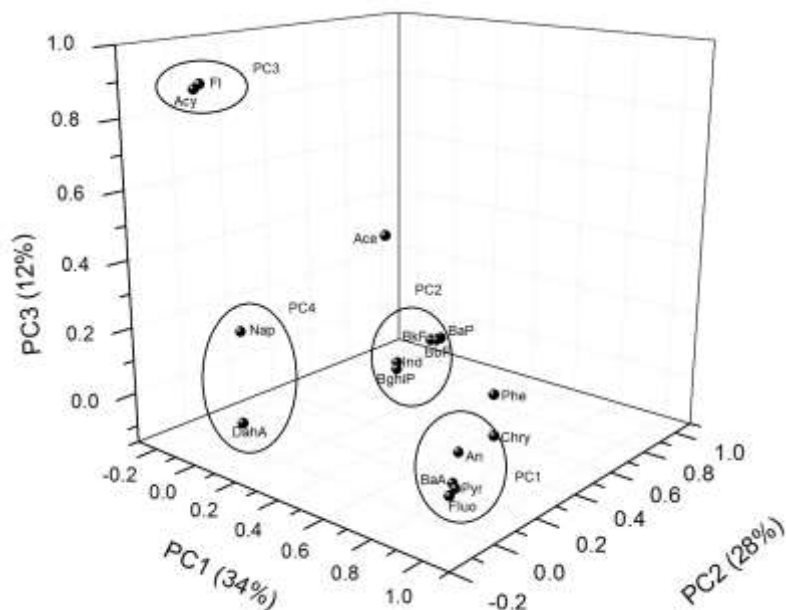
จากการวิเคราะห์ข้อมูลตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ตตามชนิดของสาร PAHs โดยใช้ องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue > 1 ด้วยวิธีหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 4 มิติ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 การจัดกลุ่มข้อมูลสาร PAHs แต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 4.19 พบว่า PAHs ที่มีค่า Rotated Component matrix ในแต่ละชนิด > 0.6 มีการแบ่งกลุ่มดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า Variance 34.9% ได้แก่ An, Fluo, Pyr, B[a]A และ Chry เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3-4 วง มีที่มาจาก การเผาไหม้ และเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997)

- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า Variance 28.1% ได้แก่ Phe, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind และ B[g,h,i]P เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3 วง และ 5-6 วง มีที่มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997; Zeng and Vista, 1997)
- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า Variance 12.6% ได้แก่ Acy, Ace และ Fl เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3 วง มีที่มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Yunker, *et al.*, 1996)
- องค์ประกอบที่ 4 ให้ค่า Variance 9.1% ได้แก่ Nap, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P เป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 2 และ 5 วง มีที่มาจากปิโตรเลียมและการเผาไหม้ของน้ำมันและถ่านหิน (Larsen and Baker, 2003; Fang, *et al.*, 2006)

ตารางที่ 4.8 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดจากอ่าวภูเก็ต

PAHs	Component			
	1	2	3	4
Nap	-0.02	0.02	0.18	0.53
Acy	-0.06	-0.08	0.88	0.02
Ace	0.73	-0.06	0.59	0.12
Fl	-0.03	-0.09	0.90	-0.01
Phe	0.49	0.74	-0.09	-0.34
An	0.93	0.02	0.04	-0.05
Fluo	0.95	-0.02	-0.04	-0.06
Pyr	0.97	-0.02	-0.02	-0.06
BaA	0.86	0.08	-0.07	0.02
Chry	0.75	0.42	-0.07	-0.20
BbF	0.02	0.97	-0.06	-0.05
BkF	0.01	0.94	-0.05	0.25
BaP	0.03	0.98	-0.05	0.02
Ind	0.00	0.76	-0.09	0.59
DahA	-0.13	0.11	-0.14	0.85
BghiP	.015	0.74	-0.10	0.54
Variance (%)	34.9%	28.1%	12.6%	9.1%
Cumulative (%)	34.9%	63.1%	75.8%	84.9%



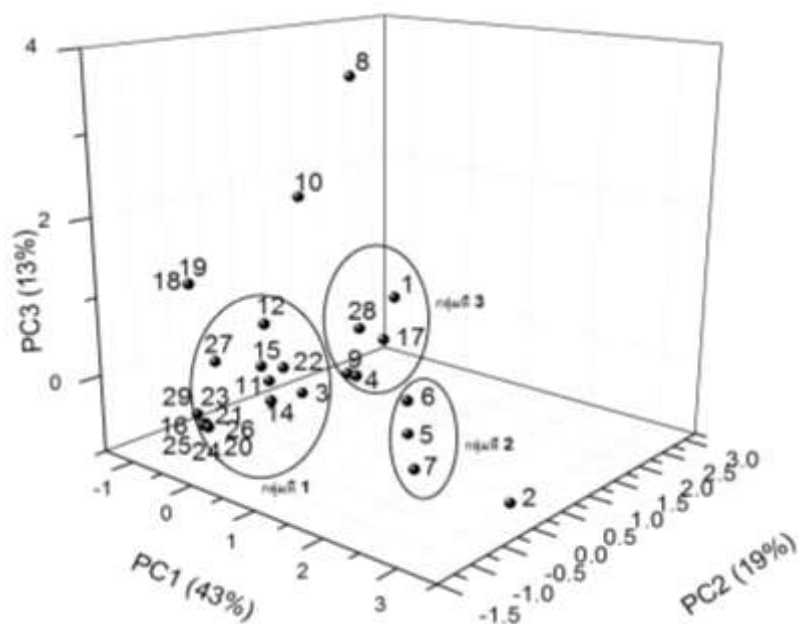
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค PCA ที่ค่า Rotated Component Matrix แต่ละชนิด > 0.6

เมื่อใช้เทคนิค PCA แบ่งกลุ่มตามชนิดของสาร PAHs จากองค์ประกอบทั้ง 3 สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ชนิดที่พบในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล และการเผาไหม้ของปิโตรเลียม ซึ่งสอดคล้องกับการใช้สัดส่วนไอโซเมอร์ หัวข้อที่ 4.6

4.7.3 วิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลของสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

1) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA

การจัดกลุ่มสถานีตามการปนเปื้อนของ PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue > 1 ด้วยวิธีหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 3 มิติ ผลการแบ่งกลุ่มสถานี อ่าวฉลอง มีองค์ประกอบที่ 1 (PC1) ให้ค่า Variance 43% องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ให้ค่า Variance 19% และองค์ประกอบที่ 3 (PC3) ให้ค่า Variance 13% แสดงดังรูปที่ 4.20 สามารถแบ่งกลุ่มสถานีได้ 3 กลุ่มใหญ่ และอ่าวภูเก็ต มีองค์ประกอบที่ 1 (PC1) ให้ค่า Variance 34% องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ให้ค่า Variance 28% และองค์ประกอบที่ 3 (PC3) ให้ค่า Variance 12% แสดงดังรูปที่ 4.21 ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มสถานีได้ 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

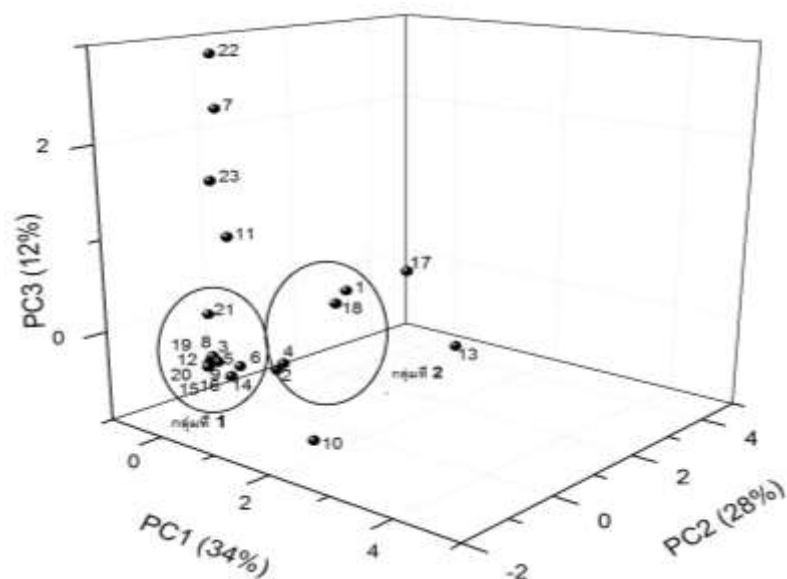


รูปที่ 4.20 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดิน
อ่าวฉลอง ด้วยเทคนิค PCA

กลุ่มที่ 1 มี 14 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่กลางอ่าวฉลอง เป็นการรวมกลุ่ม
ของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

กลุ่มที่ 2 มี 3 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง เป็นการรวมกลุ่มของ
สถานีที่มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

กลุ่มที่ 3 มี 5 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง และกลางอ่าว ซึ่งเป็นการ
รวมกลุ่มของสถานีที่มีความหลากหลายของแหล่งกำเนิด ทั้งการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล



รูปที่ 4.21 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดิน อ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค PCA

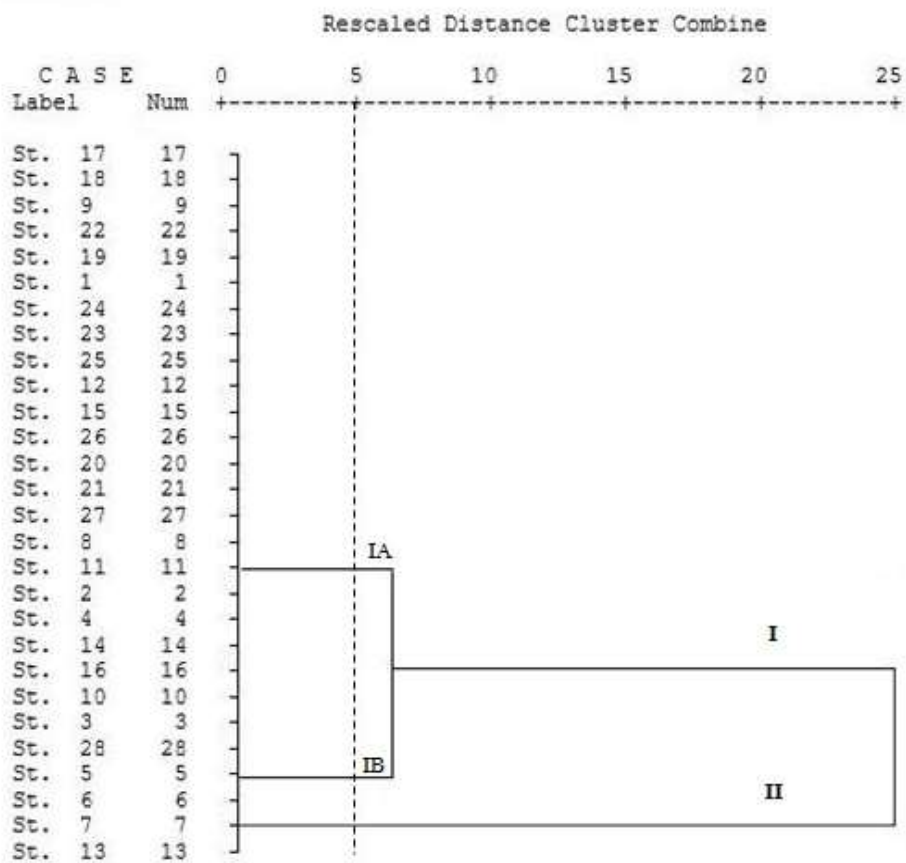
กลุ่มที่ 1 มี 12 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่กลางอ่าวภูเก็ต เป็นการรวมกลุ่มของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

กลุ่มที่ 2 มี 4 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่กลางคลองรัชฎา และปากคลองรัชฎา เป็นการรวมกลุ่มของสถานีที่มีความหลากหลายของแหล่งกำเนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

2) การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HCA

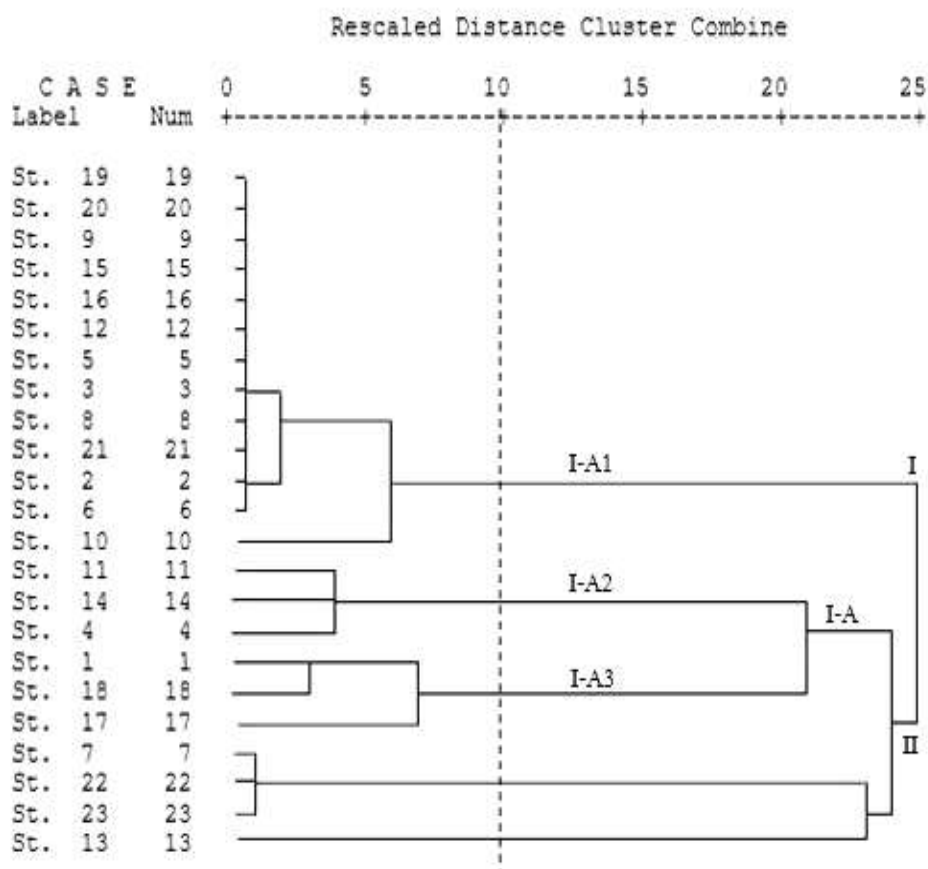
การแบ่งกลุ่มตามสถานีด้วยเทคนิค HCA เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสาร PAHs โดยเลือกใช้ Square Euclidean distance วัดระยะห่างระหว่าง case แต่ละคู่ และเลือกใช้ Ward's method เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสาร PAHs ในแต่ละชนิดในแต่ละสถานี ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานี แสดงโดย Dendrogram อ่าวฉลอง แสดงดังรูปที่ 4.22 โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.9 และอ่าวภูเก็ต แสดงดังรูปที่ 4.23 โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ 4 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.10

Dendrogram using Ward Method



รูปที่ 4.22 Dendrogram การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง ด้วยเทคนิค HCA

Dendrogram using Ward Method



รูปที่ 4.23 Dendrogram การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต ด้วยเทคนิค HCA

จากการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างอ่าวคลอง ด้วยเทคนิค HCA สามารถแยกองค์ประกอบของสาร PAHs แต่ละชนิดที่พบบริเวณอ่าวคลองได้ 3 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.9 และอ่าวภูเก็ตได้ 4 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.10 ซึ่งแต่ละกลุ่มพบการปนเปื้อนของสาร PAHs ที่หลากหลาย ซึ่งแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ทั้งอ่าวคลอง และอ่าวภูเก็ต ส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ตารางที่ 4.9 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลักของสาร PAHs อ่าวฉลอง

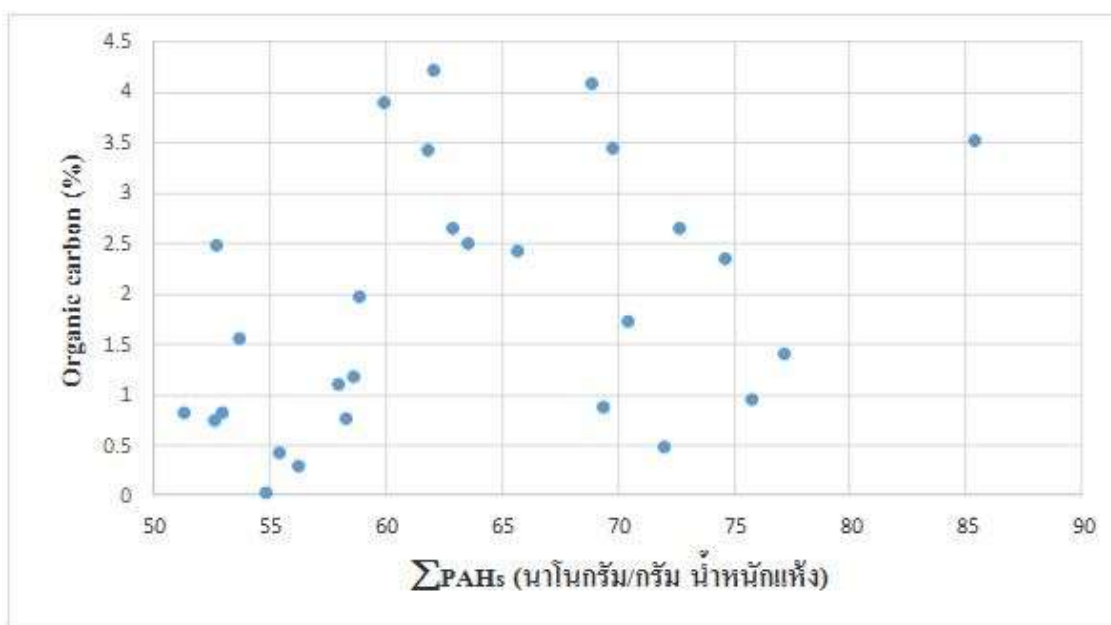
กลุ่ม	จำนวน	สถานี	ลักษณะทั่วไป	จำนวนวงแหวนในแต่ละกลุ่ม
IA	17	1, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 และ 27	มีความหลากหลายของชนิดสาร PAHs ส่วนใหญ่มี B[a]P, B[b]F และ Chry	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวงแหวน 4-5 วง มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (Larsen and Baker, 2003)
IB	8	2, 3, 4, 5, 10, 14, 16 และ 18	มี Pyr เป็นหลัก	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวงแหวน 4 วง ซึ่งพบว่าเป็นสถานีใกล้ชายฝั่ง มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Mai, <i>et al.</i> , 2002; Wang, <i>et al.</i> , 1995; Zeng and Vista, 1997)
II	3	6, 7 และ 13	มีความหลากหลายของชนิดสาร PAHs ส่วนใหญ่พบ An และ Fluo	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3-4 วง มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมและการเผาไหม้ของน้ำมัน และถ่านหิน (Fang, <i>et al.</i> , 2006; Larsen and Baker, 2003)

ตารางที่ 4.10 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลัก
ของสาร PAHs อ่าวภูเก็ต

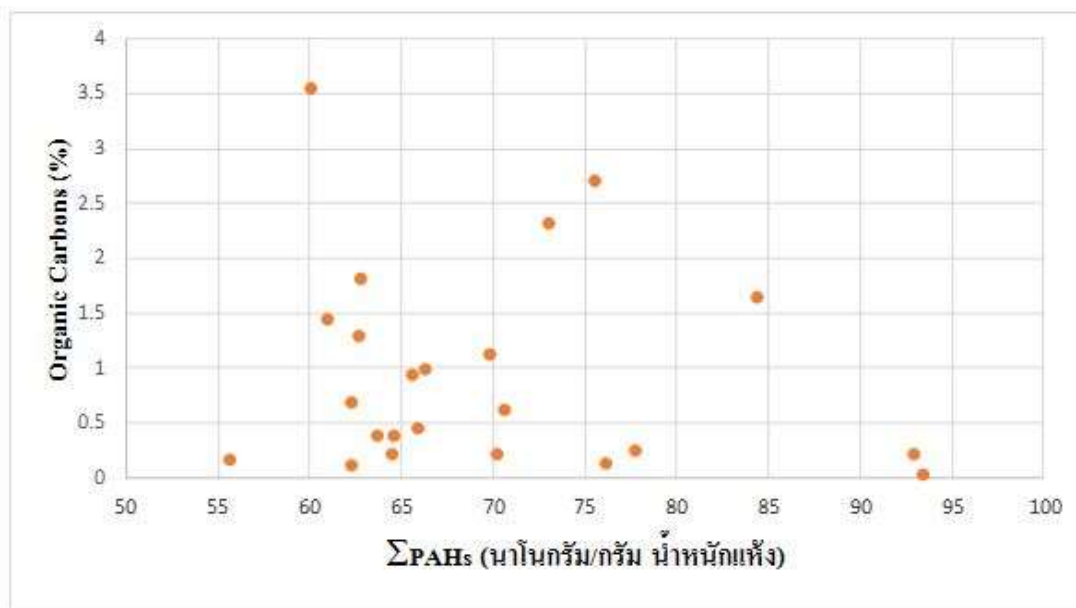
กลุ่ม	จำนวน	สถานี	ลักษณะทั่วไป	จำนวนวงแหวนในแต่ละกลุ่ม
I-A1	13	2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 19, 20 และ 21	มี Chry และ Ind เป็น หลัก	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวง แหวน 5 วง มีแหล่งกำเนิดมา จากปิโตรเลียม และการเผา ไหม้ของน้ำมัน และถ่านหิน (Fang, <i>et al.</i> , 2006; Larsen and Baker, 2003)
I-A2	3	4, 11 และ 14	มี D[a,h]A เป็นหลัก	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวง แหวน 5 วง ซึ่งเป็นสถานีที่ อยู่กลางอ่าว มีแหล่งกำเนิด จาก น้ำมันเบนซิน (Liu, <i>et al.</i> , 2009; Massci, <i>et al.</i> , 2007)
I-A3	3	1, 17 และ 18	มีความหลากหลายของ ชนิดสาร PAHs ส่วน ใหญ่ พบ Chry, Ind, B[a]A และ B[g,h,i]P	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวง แหวน 4-6 วง มีแหล่งกำเนิด จากการเผาไหม้น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล (Liu, <i>et al.</i> , 2009; Massci, <i>et al.</i> , 2007)
II	4	7, 13, 22 และ 23	ค่อนข้างที่จะมีความ หลากหลายของชนิด สาร PAHs ได้แก่ Acy, Ace, Fl, An, Fluo, B[a]A และ Chry	เป็นกลุ่มสาร PAHs ที่มีวง แหวน 3-4 วง มีแหล่งกำเนิด จากปิโตรเลียม และการเผา ไหม้ของน้ำมัน และถ่านหิน (Fang, <i>et al.</i> , 2006; Larsen and Baker, 2003)

.8 การวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbons

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbons) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matters) ที่อยู่ในดิน เพื่อบ่งบอกถึงคุณสมบัติ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลการวิเคราะห์ปริมาณ Organic Carbons ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.24 และอ่าวภูเก็ต แสดงดังตารางที่ 4.25



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ Σ PAHs ในตะกอนดินอ่าวทดลอง



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ Σ PAHs ในตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสาร Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ Σ PAHs ในตะกอนดินอ่าวคลอง และอ่าวภูเก็ต พบว่าพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของสาร Organic Carbons สูง Σ PAHs ก็จะสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs อยู่ค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งที่มีท่าเทียบเรือ อุตุเรือ น้ำเสียจากชุมชน และการเปลี่ยนถ่ายหรือการรั่วไหลของน้ำมัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้น และการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณอ่าวคลอง จำนวน 28 สถานี พบการปนเปื้อนของสาร \sum PAHs₁₅ มีระดับความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วง 0.39-138.49 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.20 ± 9.30 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบมีการปนเปื้อนของสาร PAHs มากที่สุดในสถานี C8 รองลงมา คือ สถานี C2, C6 และ C7 ตามลำดับ โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Nap, Ace, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P และ Ind

ส่วนการวิเคราะห์ความเข้มข้น และการปนเปื้อนของสาร \sum PAHs₁₅ ในตะกอนดินบริเวณอ่าวภูเก็ต จำนวน 23 สถานี พบการปนเปื้อนของสาร PAHs มีระดับความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วง 0.64-526.59 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.42 ± 13.43 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบการปนเปื้อนของสาร PAHs มากที่สุดในสถานี R11 รองลงมา คือ สถานี R13, R10, R9, R(A) และ R(B) ตามลำดับ โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Nap, Phe, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, D[a,h]A และ B[g,h,i]P

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตะกอนดินจากทั้งสองพื้นที่ พบการปนเปื้อนของสาร PAHs ทั้ง 16 ชนิดในทุกตัวอย่าง และเมื่อลองเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นของสาร PAHs พบว่าอ่าวคลอง มีค่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs สูงกว่าตะกอนดินจากอ่าวภูเก็ต เนื่องจากอ่าวคลองมีแหล่งกำเนิดสาร PAHs หนาแน่นกว่า ทั้งกิจกรรมการท่องเที่ยว การคมนาคมขนส่งทางเรือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากเขม่าควันรถ เขม่าควันเรือ การเปลี่ยนถ่ายหรือการรั่วไหลของน้ำมัน และน้ำทิ้งจากชุมชน

จากการวิเคราะห์สัดส่วนไอโซเมอร์ 4 แบบ คือ An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pyr), Ind/(Ind+B[g,h,i]P) และ B[a]A/(B[a]A+Chry) มาวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs พบว่าใน

ตะกอนดินจากอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดโดยใช้สถิติแบบหลายตัวแปร Principle Component Analysis (PCA) ที่พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เป็นหลัก

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง Organic Carbons กับระดับความเข้มข้นของ Σ PAHs ในตะกอนดินอ่าวฉลอง และอ่าวภูเก็ต พบว่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในบางสถานี กับปริมาณสาร Organic Carbons เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs สูง ปริมาณ Organic Carbons ก็จะสูงเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาแค่ระดับผิวหน้า (surface sediment) ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจะบ่งบอกได้เพียงการปนเปื้อนของสาร PAHs ในปัจจุบันหรือในช่วงเวลาที่ไม่ยาวนานนัก หากต้องการเปรียบเทียบระดับของสาร PAHs ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนดินตามระดับความลึก (core sediment) จะทำให้เห็นแนวโน้มการสะสมตัวของสาร PAHs จากอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของการปนเปื้อนสาร PAHs กับแหล่งกำเนิดที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ชัดเจนขึ้น
- 2) หากมีการศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดินตามระดับความลึก ควรศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs เช่น อิทธิพลจากกระแสน้ำ อุณหภูมิ และลักษณะของตะกอนดิน เนื่องจากจะอธิบายการสะสมของสาร PAHs ได้ดี
- 3) จากผลการศึกษาสามารถนำไปประกอบการพิจารณาการประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ และบริเวณใกล้เคียง หรือใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการป้องกัน และฟื้นฟูระบบนิเวศน์ชายฝั่งทะเล
- 4) จากผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของสาร PAHs ส่วนใหญ่บริเวณชายฝั่ง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งการจะฟื้นฟูดินบริเวณที่ปนเปื้อนได้นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาสารมลพิษอื่นร่วมด้วย โดยเฉพาะโลหะหนัก เพื่อให้การฟื้นฟูเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ขาวด่อน, สุริยัน ัญญกิจจานุกิจ และวีระยุทธ รักษาศักดิ์. (2552). “การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2543). “พีเอเอช (โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน).” กองการจัดการของเสียอันตรายและกากของเสีย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 43-49.
- กรมเจ้าท่า. (2554). “เขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำไทย.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.mkh.in.th/index.php/2010-03-22-18-05-34/2011-08-24-04-53-01> (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557).
- กรมเจ้าท่า. (2556). “รายละเอียดทำเทียบเรือ ที่กรมเจ้าท่าดำเนินการก่อสร้าง ประจำปีงบประมาณ 2556.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.md.go.th/md/index.php/2014-01-19-05-02-28/2014-01-19-05-20-44/-16/763--2556-35/file> (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557).
- กองเวชกรรมป้องกัน กรมแพทยทหารเรือ. (2556). “น้ำมันดิบกับผลกระทบต่อสุขภาพสภาพแวดล้อมและห่วงโซ่อาหาร.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.nmd.go.th/kmnmd/Document/pdf/oily.pdf> (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557).
- จรรยา สารินทร์. (2537). “การกระจายตัวของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิราณีชัย ไชยบุรีวงศ์. (2544). “การสะสมสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณแอสทรีแม่น้ำท่าจีน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธัญภัตสร ทองเย็น. (2552). “การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- นฤมล บัวงาม. (2554). “การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนและแหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทวรรณ มานพ. (2552). “การดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำใต้ดินสังเคราะห์บนเขม่า: เปรียบเทียบระหว่างเขม่าจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล. (2556). “รายงานการสำรวจการปนเปื้อนน้ำมันบริเวณแหล่งประมงพื้นบ้านแนวหิน จังหวัดระยอง กรณีน้ำมันรั่วปนท. ปีพ.ศ. 2556.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มีทนา ศรีหัตถกรรม. (2544). “ประโยชน์และโทษของเนฟทาลิน.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id_L1=27&id_L2=15858&id_L3=1673 (วันที่ 17 พฤศจิกายน 2559).
- ยุทธ ไกยวรรณ. (2556). “การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย.” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณช ดีละมัน. (2552). “การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลาและตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วรรณช ดีละมัน. (2555). “สีนามิกับสารก่อมะเร็ง.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/tsunami-and-earthquake/item/115-สีนามิกับสารก่อมะเร็ง> (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2557).
- วารภรณ์ ศรีมูล. (2544). “การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี.” โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วาสนา รองพล. (2555). “กระบวนการสิ่งแวดล้อมศึกษาเพื่อการป้องกันและควบคุมคราบน้ำมันปิโตรเลียมบริเวณท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

- วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์และวารภรณ์ นุชฉาย. (2554). “การใช้ประโยชน์เชื้อราทางด้านการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ.” *วารสารวิชาการวิจัย*, 2, 164-172.
- วรัญญา วิรุพหผล. (2533). “การสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา.” โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมภพ รุ่งสุภา. (2553). “การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลตะกอนดินและสัตว์ทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง.” *เอกสารการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล, โรงแรม ซิตี้โฮเทล ภูเก็ต: 28-30 มิถุนายน 2553.*
- องค์การส่วนบริหารจังหวัดภูเก็ต. (2557). “ท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.phuketcity.org/pr/ChalongHarbour140656.pdf> (วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2557).
- องค์การสะพานปลา. (2557). “ท่าเทียบเรือประมง ภูเก็ต.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ www.fishmarket.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=328&Itemid=128 (วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2557)
- Abdollahi, S., Raoufi, Z., Faghiri, I., Savari, A., Nikpour, Y., and Mansouri, A. (2013). “Contamination levels and spatial distributions of heavy metals and PAHs in surface sediment of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran.” *Mar Pollut Bull*, 71, 336-345.
- Barakat, A. O., Mostafa, A., Wada, T. L., Sweet, S. T., and El Sayed, N. B. (2011). “Distribution and characteristic of PAHs in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt.” *Mar Pollut Bull*, 62, 1969-1978.
- 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 hydrocarbons in sediment of Haihe River, Tianjin, China.” *Environ Sci*, 19, 306-311.
- Blumer, M. (1976). “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in nature.” *Sci Am*, 234, 34-45.
- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., and Togo, A.a T., H. (2006). “Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine and marine sediment in Thailand.” *Mar Pollut Bull*, 52, 942-956.

- Breedveld, G.D., and Karlson, D.A. (2000). "Estimating the availability of polycyclic aromatic hydrocarbons for bioremediation of creosote contaminated soils." *Appl Microbiol Biotechnol*, 54, 255-261.
- Budzinski, H., Jones, J., Bellocq, J., Pierard, C., and Garriques, P. (1997). "Evaluation of Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary." *Mar Chem*, 58, 581.
- Chouycha, W. (2011). "Distribution and Phytotoxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons." *RMUTP Research Journal*, 5, 140-152.
- Fang, G.C., Wu, Y.S., Chen, J.C., Chang, C.N., and Ho, T.T. (2006). "Characteristic of polycyclic aromatic hydrocarbons concentration and source identification for fine and coarse particulates at Taichung Harbor near Taiwan Strait during 2004-2005." *Sci Total Environ*, 366, 729-738.
- Gan, S., Lau, E.V., and Ng, H. K. (2009). "Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)." *Hazard Mater*, 172, 532-549.
- Gary, M.R., and Sam, R.P. (1985). *Fundamental of Aquatic toxicology*. Marcel dekker, Inc, New York, 666.
- 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, Pathumthani, Thailand*.
- He, x., Pang, Y., Song, X., Chen, B., Feng, Z., and Ma, Y. (2014). "Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Guan River Estuary, China." *Mar Pollut Bull*, 80, 52-58.
- Hites, R.A., Laflamme, R.E., and Farrington, j.W. (1997). "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in recent sediment." *Sci*, 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 water." *Environ Sci Technol*, 18, 580-587.

- Hong, H. S., Yin, H. L., Wang, X. H., and Ye, C. X. (2007). "Seasonal variation of PM10 bound PAHs in the atmosphere of Xiamen, China." *Atmos Res*, 85, 429-441.
- Jackson, T.J., Wade, T.L., McDonald, T.J., Wilkinson, D.L., and Brooks, J. M. (1994). "Polynuclear aromatic hydrocarbon contaminants in oysters from the Gulf of Mexico (1986-1990)." *Environ Pollut*, 83, 291-298.
- Jacob, J., Lee C., Fang, M., and Liu, J.T. (2009). "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons as environmental carcinogens." *Pure Appl Chem*, 68(2), 301-308.
- Kim, G.B., Maruya, K.A., Lee, R. F., Lee, J., Koh C., and Tanabe, S. (1999). "Distribution and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Kyeonggi Bay, Korea." *Mar Pollut Bull*, 38(1), 7-15.
- Ko, F. C., Baker, J., Fang, M.D., and Lee, C .L. (2007). "Composition and distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the surface sediments from the Susquehanna River." *Chemosphere*, 66, 277-285.
- Larsen, R. K., and Baker, J. E. (2003). "Source apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods." *Environ Sci Technol*, 37, 1873-1881.
- Li, P., Xue, R., Wang, Y., and Zhang, G. (2015). "Influence of anthropogenic activities on PAHs in sediments in a significant gulf of low-latitude developing regions, the Beibu Gulf, South China Sea: Distribution, sources, inventory and probability risk." *Mar Pollut Bull*, 90, 218-226.
- Lin, J. Q., Wang, X. H., Hong, H. S., Chen, W.Q., Liu, R. X., and Huang, Z. Q. (2003). "PAHs' distribution and source analysis in surface sediments of the Meizhou Bay." *J Xiamen University (Natural Science)*, 42 633-638.
- Liu, X., Jia, H., Wang, L., Qi, H., Ma, W., Hong, W., Guo, J., Yang, M., Sun, Y., and Li, Y. (2013). "Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in concurrently monitored surface seawater and sediment along Dalian coast after oil spill." *Ecotox Environ Safe*, 90, 151-156.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., and Calder, F.D. (1995). "Incidence of adverse biological effects with ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments." *Environ Manage*, 19, 81-97.

- Long, E.R., L.J., Field., and D.D. MacDonald. (1998). "Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines." *Environ Toxicol Chem*, 17, 714–727.
- Mabey, W. R., Smith, J. H., Podoll, R. T., Johnson, H. L., Mill, T., Chou, T.W., Gates, J., Jaber, H., and Vandenberg, D. (1982). "Aquatic fate process data for organic priority pollutants." *Environ Prot Agen*, 440, 481-498.
- Mai, B., Fu, J., Sheng, G., Kang, Y., Lin Z., Zhange, G., Min, Y., and Zeng, E.Y. (2002). "Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China." *Environ Pollut*, 117, 457-474.
- Netto, A. D. P., Dias, J. C. M., Arbilla G., Oliverira, L.F., and Berek, J. (2000). "Avaliacao da contaminacao humana por Hidrocarbonetos Policiclicos Aromaticos e seus derivados nitrates: Uma revisao metodologica." *Quim Nova*, 23(6), 765-773.
- Nigam, P., Banat, I.M., and Marchant, R. (1998). "Degradation of naphthalene by bacterial cultures." *Environ Pollut*, 24(5/6), 671-677.
- Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Burn, W.A., and Mankiewicz, P.J. (1999). "Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment record past human activity: A case study in Prince William Sound, Alaska." *Mar Pollut. Bull*, 4, 247-260.
- Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., Muprasit, J., Feldens, P., and Schwarzer, K. (2013). "Risk assessment of the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal areas of Thailand affected by the 2004 tsunami." *Mar Pollut. Bull*, 76, 370–378.
- 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.
- Rodrigo, O. M., Antonio, A., Marcia, d. S. P., Joao, P. M. T., and Olaf, M. (2008). "Polycyclic aromatic hydrocarbon assessment in sediment of national parks in southeast Brazil." *Chemistry*, 73, 180-185.
- 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.

- Soliman, Y.S., Al Ansari, E.M.S. and Wade, T.L. (2014). "Concentration, composition and sources of PAHs in the coastal sediments of the exclusive economic zone (EEZ) of Qatar, Arabian Gulf." *Mar Pollut Bull*, 85,542–548.
- Somtrakoon, K., Suanjit, S., Pokethitiyook, P., Kruatrachue, M., Cassidy, M.B., Trevors, J. T., Lee, H., and Upatham, S. (2009). "Comparing phenanthrene degradation byalginate-encapsulated and free *Pseudomonasp.* UG14Lr cells in heavy metal contaminated soils." *Chem Technol Biotech*, 84, 1660 – 1668.
- Swartz, R.C. (1999). "Consensus sediment quality guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures." *Environ Toxicol Chem*, 18, 780-787.
- Tipamane, D., Deelaman, W., Pongpiachan, S., Schwarzer, K., and Sompongchaiyakul. (2012). "Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) as a chemical proxy to indicate Tsunami 2004 backwash in Khao Lak coastal area, Thailand." *Nat Hazard Earth Sys*, 12, 1441-1451.
- Wang, M., Wang, C., Hu, X., Zhang, H., He, S., and Lv, S. (2015). "Distributions and sources of petroleum, aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Bohai Bay and its adjacent river, China." *Mar Pollut Bull*, 90, 88-94.
- Wang, Z., and Fringas, M. (1995). "Differentiation of source of spilled oil and monitoring of the oil weathering process using gas chromatography-mass spectrometry." *J Chromatogr A*, 712, 321-343.
- Xu, S.Y., Chen, Y.X., Lin, K.F., Chen, X.C., Lin, Q., Li, F., and Wang, Z.W. (2009). "Removal of pyrene from contaminated soils by white clover." *Pedosphere*, 19, 265-272.
- Yan, W., Chi, J. S., Wang, Z. Y., Huang, W. X., and Zhang, G. (2009). "Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Daya Bay, South China." *Environ Pollut* 157, 1823-1830.
- Yang, W., Lang, Y., Bai, J., and Li, Z. (2014). "Quantitative evaluation of carcinogenic and non-carcinogenic potential for PAHs in coastal wetland soils of China." *Ecol Eng*, 74, 117–124.

- Ying, L., Ling, C., Qing-hui, H., Wei-Ying, L., Yin-jian, T., and Jian-fu, Z. (2009). "Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediment of Huangpu River, Shanghai, China." *Sci Total Environ*, 407(8), 2931–2938.
- 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*, 67, 1265-1274.
- Yunker, M.B., Snowdon, L. R., Macdonald, R. W., Smith, J. N., Fowler, M. G., Skibo, D. N., McLaughlin, F. A., Danyushevskaya, A. I., Petrova, V. I., and Ivanov, G. I. (1996). "Polycyclic aromatic hydrocarbons composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas." *Environ Sci Technol*, 30, 1310-1320.

ภาคผนวก

วัสดุและสารเคมี

- 1) ซิลิกาเจล (silica gel)
- 2) ไยแก้ว
- 3) ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane: DCM)
- 4) Internal Standard (ประกอบด้วย Deuterated-Acenaphthene, Deuterated-Fluorene และ Deuterated-Perylene)
- 5) เฮกเซน (hexane : C_6H_{14})
- 6) โทลูอีน (toluene : $C_6H_5CH_3$)
- 7) ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane : C_6H_{12})
- 8) กรดไนตริก (nitric acid : HNO_3)
- 9) กรดโครมิก (chromic acid : H_2CrO_4)
- 10) เมทานอล (methanol : CH_3OH)
- 11) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid : HCl)
- 12) ผงทองแดง (copper powder)
- 13) Standard reference marine (SRM) 1941b Organic in Marine Sediment

เครื่องมือและอุปกรณ์

ก. เครื่องมือ

- 1) van Veen grab Sample
- 2) Freeze dryer ยี่ห้อ Christ รุ่น Delta 2-24 LSC
- 3) เครื่องชั่งแบบความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ mettler toledo รุ่น MS 204s
- 4) ชุดสกัด Soxhlet extraction
- 5) เครื่อง Rotary evaporator ยี่ห้อ BUCHI
- 6) เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
- 7) เตาเผา Isotemp Programmable muffle Furnace อุณหภูมิ 450 °C
- 8) ตู้อบความร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 60 °C และ 220 °C ยี่ห้อ memmert

- 9) เครื่อง Gas Chromatograph Time of flight Mass Spectrometry (GC/TOMS) ยี่ห้อ Leco รุ่น Pegasus III
- 10) เครื่อง CHN Elemental Analyzer รุ่น 2400

ข. อุปกรณ์

- 1) ถาดสแตนเลส จำนวน 1-2 ใบ ซ้อนสแตนเลส
- 2) แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)
- 3) ถูงซีปี้ล็ค
- 4) ขวดแก้วสีชาแบบมีฝาปิด ขนาด 30 ml
- 5) ขวดแก้ว duran 100 ml
- 6) ขวด Vial (Amber) 2 ml
- 7) เซลลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร
- 8) ตะแกรงร่อน (Test sieve) ขนาด) 0.15 ไมครอน
- 9) Microliter Syringes
- 10) Disposable Glass Pasteur Pipettes ขนาด 230 มิลลิเมตร

ตารางภาคผนวกที่ 1 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง

Stations	Sampling date	Location (UTM)		Bottom Depth
		X	Y	
C1	23/9/1958	07.83179	098.37557	0.9
C2	23/9/1958	07.83449	098.37112	1
C3	23/9/1958	07.83072	098.36568	3.4
C4	23/9/1958	07.82276	098.3574	4.7
C5	22/9/1958	07.81724	098.34932	2.7
C6	22/9/1958	07.80466	098.34505	1.9
C7	22/9/1958	07.79355	098.34367	3.6
C8	22/9/1958	07.77777	098.33948	7.3
C9	22/9/1958	07.77709	098.34850	9.5
C10	22/9/1958	07.78291	098.35411	8
C11	22/9/1958	07.79010	098.34628	10.4
C12	22/9/1958	07.79539	098.34872	9.6
C14	22/9/1958	07.79951	098.36319	6.8
C15	22/9/1958	07.79981	098.35925	5.5
C16	22/9/1958	07.80007	098.35191	10.4
C17	23/9/1958	07.81475	098.35896	5.7
C18	23/9/1958	07.81475	098.36688	7.1
C19	22/9/1958	07.80114	098.36836	4
C20	22/9/1958	07.80171	098.37251	5
C21	23/9/1958	07.81024	098.37662	6.3

หมายเหตุ จุดเก็บตัวอย่าง C13 ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ เนื่องจากบริเวณบริเวณนั้นเป็นแนวหินโสโครก

ตารางภาคผนวกที่ 1 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)

Stations	Sampling date	Location (UTM)		Bottom Depth
		X	Y	
C22	23/9/1958	07.82961	098.37309	1.9
C23	23/9/1958	07.82147	098.37965	4.4
C24	23/9/1958	07.81465	098.38354	6.2
C25	22/9/1958	07.79519	098.38316	4.7
C26	22/9/1958	07.78061	098.39201	9.1
C27	22/9/1958	07.80138	098.40546	8.3
C28	23/9/1958	07.80647	098.39516	5.5
C29	22/9/1958	07.79653	098.39275	5.1

ตารางภาคผนวกที่ 2 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

Stations	Sampling date	Location (UTM)		Bottom Depth
		X	Y	
R1	24/9/1958	07.87683	098.41631	3.8
R2	24/9/1958	07.87087	098.41515	2.8
R 3	24/9/1958	07.86204	098.41309	1.6
R4	24/9/1958	07.85523	098.41306	4.4
R5	24/9/1958	07.84917	098.41267	3.5
R6	24/9/1958	07.84053	098.41393	6.1
R7	24/9/1958	07.84510	098.41718	7.1
R8	24/9/1958	07.85359	098.41991	3.2
R9	24/9/1958	07.86858	098.42661	2.3
R10	24/9/1958	07.86379	098.42386	3.9
R11	24/9/1958	07.8502	098.42658	4.2

ตารางภาคผนวกที่ 2 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)

Stations	Sampling date	Location (UTM)		Bottom Depth
		X	Y	
R12	24/9/1958	07.84314	098.42185	4.0
R13	24/9/1958	07.83783	098.42223	4.0
R14	24/9/1958	07.83989	098.42616	4.8
R15	24/9/1958	07.84682	098.43111	5.7
R16	24/9/1958	07.86375	098.44129	15.5
R(A)	24/9/1958	07.88438	098.41386	1.4
R(B)	24/9/1958	07.88087	098.41648	3.7
R(G)	24/9/1958	07.86742	098.41341	0.7
R(H)	24/9/1958	07.86598	098.41174	0.6
R(J)	24/9/1958	07.85829	098.40835	0.9
R(K)	24/9/1958	07.85617	098.40763	0.9
R(L)	24/9/1958	07.85246	098.4076	1.2

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณ Σ PAHs ของตะกอนดินอ่าวคลอง

สถานี	Organic carbon (%)	Σ PAHs (ng/g) dry weight
C1	1.98	58.9
C2	0.83	51.28
C3	0.77	58.28
C4	0.29	56.27
C5	2.42	65.66
C6	1.41	77.14
C7	2.66	62.86
C8	3.42	61.85
C9	4.09	68.89
C10	2.51	63.54
C11	3.45	69.81
C12	3.52	85.39
C14	1.73	70.4
C15	0.03	54.81
C16	2.35	74.63
C17	2.49	52.71

ตารางภาคผนวกที่ 3 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณ Σ PAHs ของตะกอนดินอ่าวคลอง (ต่อ)

สถานี	Organic carbon (%)	Σ PAHs (ng/g) dry weight
C18	0.87	69.37
C19	0.49	71.99
C20	1.18	58.6
C22	2.65	72.67
C23	1.56	53.71
C24	0.74	52.62
C25	0.82	52.98
C26	0.95	75.78
C27	4.22	62.05
C28	1.11	57.93
C29	3.89	59.96

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณ Σ PAHs ของตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

สถานี	Organic carbon (%)	Σ PAHs (ng/g) dry weight
R1	0.21	70.22
R2	1.29	62.64
R3	1.44	60.98
R4	0.61	70.62
R5	3.55	60.12
R6	0.99	66.29
R7	0.38	63.71
R8	0.03	93.45

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และปริมาณ Σ PAHs ของตะกอนดินอ่าวภูเก็ต (ต่อ)

สถานี	Organic carbon (%)	Σ PAHs (ng/g) dry weight
R9	0.68	62.32
R11	0.94	65.56
R12	0.24	77.8
R13	0.45	65.92
R14	0.22	92.94
R15	2.7	75.53
R16	0.16	55.64
R(A)	2.32	73.02
R(B)	0.11	62.27
R(G)	0.38	64.58
R(H)	1.13	69.87
R(J)	0.12	76.12
R(K)	0.22	64.48
R(L)	1.82	62.83

ตารางภาคผนวกที่ 5 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินอำพลอง

สถานี	An/ An+Phe	Fluo/ Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A +Chry	Ind/Ind+ B[g,h,i]P	\sum LPAHs/ \sum HPAHs	แหล่งกำเนิด
C1	X	X	X	X	X	pyrogenic
C2	X	X	X	X	O	pyrogenic
C3	X	X	O	X	O	pyrogenic
C4	X	X	X	X	O	pyrogenic
C5	X	X	X	X	O	pyrogenic
C6	X	X	X	X	O	pyrogenic
C7	X	X	X	X	O	pyrogenic
C8	X	X	X	X	O	pyrogenic
C9	X	X	X	X	O	pyrogenic
C10	X	X	O	X	O	pyrogenic
C11	X	X	X	X	O	pyrogenic
C12	X	X	X	X	O	pyrogenic
C14	X	X	X	X	O	pyrogenic
C15	X	O	X	X	O	pyrogenic
C16	X	O	X	X	O	pyrogenic
C17	X	O	O	X	O	petrogenic
C18	X	X	X	X	O	pyrogenic

ตารางภาคผนวกที่ 5 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินอำพลอง (ต่อ)

สถานี	An/ An+Phe	Fluo/ Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A +Chry	Ind/Ind+ B[g,h,i]P	\sum LPAHs/ \sum HPAHs	แหล่งกำเนิด
C19	X	X	X	X	O	pyrogenic
C20	X	X	X	X	O	pyrogenic
C21	X	X	X	X	O	pyrogenic
C22	X	X	X	X	O	pyrogenic
C23	X	X	X	X	O	pyrogenic
C24	O	X	X	X	O	pyrogenic
C25	O	O	X	X	O	petrogenic
C26	X	X	X	X	O	pyrogenic
C27	X	X	O	X	O	pyrogenic
C28	X	X	X	X	O	pyrogenic
C29	X	O	X	X	O	pyrogenic

หมายเหตุ: X = pyrogenic, O = petrogenic

ตารางภาคผนวกที่ 6 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวภูเก็ต

สถานี	An/ An+Phe	Fluo/ Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A +Chry	Ind/Ind+ B[g,h,i]P	\sum LPAHs/ \sum HPAHs	แหล่งกำเนิด
R1	O	X	X	X	O	pyrogenic
R2	O	X	O	X	O	petrogenic
R3	X	O	O	X	O	pyrogenic
R4	X	X	X	X	O	pyrogenic
R5	O	X	X	X	O	pyrogenic
R6	O	X	X	X	O	pyrogenic
R7	X	X	X	X	O	pyrogenic
R8	O	X	X	X	O	pyrogenic
R9	X	X	X	X	O	pyrogenic
R10	X	X	X	X	X	pyrogenic
R11	X	X	X	X	O	pyrogenic
R12	X	X	X	X	O	pyrogenic
R13	X	X	X	X	X	pyrogenic
R14	X	X	X	X	O	pyrogenic
R15	X	O	X	X	O	pyrogenic
R16	X	X	X	X	O	pyrogenic
R(A)	X	X	O	X	X	pyrogenic
R(B)	X	X	X	X	O	pyrogenic
R(G)	X	X	X	X	O	pyrogenic
R(H)	X	O	X	X	O	pyrogenic
R(J)	X	X	O	X	O	pyrogenic
R(K)	X	X	X	X	O	pyrogenic
R(L)	X	X	X	X	O	pyrogenic

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวณดา ปัจฉิม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5730220011

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2556

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ณดา ปัจฉิม, คณัย ทิพย์มณี และ เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. (2559). “การบ่งชี้ผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่ออากาศของ จังหวัดภูเก็ต โดยใช้สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) เป็นตัวชี้วัด.” การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 40, ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา: 20-21 ตุลาคม 2559.