

การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนและแหล่งที่มาของพอลิไซคลิก  
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย



นางสาวนฤมล บัวงาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SPATIAL DISTRIBUTION OF PETROLEUM HYDROCARBONS AND  
SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS  
IN SURFACE SEDIMENTS OF THE GULF OF THAILAND

Miss Narumol Bua-ngam



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science  
(Interdisciplinary Program)  
Graduate School  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2014  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน  
และแหล่งที่มาของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน  
ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

โดย

นางสาวนฤมล บัวงาม

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ชูตินทรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล)

.....กรรมการ

(ดร.ทรรศนีย์ พุกกาสิทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์)

นฤมล บัวงาม : การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนและแหล่งที่มาของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย (SPATIAL DISTRIBUTION OF PETROLEUM HYDROCARBONS AND SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SURFACE SEDIMENTS OF THE GULF OF THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, 145 หน้า.

เก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยจำนวน 144 สถานี วิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs) โดยใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโคปี และวิเคราะห์พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) 16 ชนิด ในดินตะกอนจาก 62 สถานี ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) ใช้ diagnostic ratios และ principle component analysis (PCA) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอน ผลการศึกษาพบว่า ระดับ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้ามีค่าอยู่ในช่วง 0.027 ถึง 0.664 และเฉลี่ยเท่ากับ  $0.259 \pm 0.112$  ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในรูปสมมูลโครซิน ระดับ PAHs อยู่ในช่วง 21.6 ถึง 216 และเฉลี่ยเท่ากับ  $75.5 \pm 48.5$  นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง บริเวณนอกชายฝั่งจังหวัดระยอง ชุมพร และนครศรีธรรมราช มีค่า PHCs และ PAHs สูง จากการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนโดยใช้ diagnostic ratios ที่เลือก บ่งชี้ว่ามีแหล่งกำเนิดผสมกันหลากหลาย แต่แหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (83.9%) ส่วนที่เหลือมาจากปิโตรเลียมที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (16.1%) จากการวิเคราะห์โดยใช้ PCA พบว่ามีแหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน (24.6%) ดีเซล (19.0%) เบนซิน-ดีเซล (14.7%) และจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (11.8%) จากการแบ่งกลุ่มสถานีด้วย hierarchical cluster analysis (HCA) พบว่า PAHs ที่พบสูงในสถานีใกล้ชายฝั่งส่วนใหญ่และสถานีที่ใกล้แหล่งจุดเจาะปิโตรเลียม จะเป็นพวกที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (2-3 วง) ขณะที่ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง (4-6 วง) จะพบมากในสถานีชายฝั่งบางสถานี และสถานีกลางอ่าวที่ห่างจากแท่นจุดเจาะปิโตรเลียม ค่าสูงสุดของ benzo[a]pyrene พบที่สถานีนอกชายฝั่งจังหวัดระยอง มีค่าเท่ากับ 86.4 ng/g dry weight อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวยังไม่เกินเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผล (ERL) ซึ่งเท่ากับ 430 ng/g

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....



# # 5487149020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS / PETROLEUM HYDROCARBONS  
/ GULF OF THAILAND / SEDIMENT

NARUMOL BUA-NGAM: SPATIAL DISTRIBUTION OF PETROLEUM  
HYDROCARBONS AND SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC  
HYDROCARBONS IN SURFACE SEDIMENTS OF THE GULF OF THAILAND.  
ADVISOR: ASST. PROF.PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, Ph.D., 145 pp.

One hundred and forty four surface sediment samples in the Gulf of Thailand (GoT) were collected and analysis for petroleum hydrocarbons (PHCs) using Fluorescence Spectroscopy. Sediment from selected 62 stations was examined for 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). Sources of PAHs were apportioned using diagnostic ratios and principle component analysis (PCA). The results reveal that PHC levels in sediments ranged from 0.027 to 0.664, with an average of  $0.259 \pm 0.112$   $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene. The PAHs levels were ranged from 21.2 to 216, with an average of  $75.5 \pm 48.5$  ng/g dry weight. High PHCs and PAHs were found offshore of Rayong, Chumphon and Nakhon Si Thammarat provinces. Selected diagnostic ratios indicated that PAH sources in surface sediments seemed to be mixed sources dominated by pyrogenic source (83.9%) with the rest from petrogenic source (16.1%). PCA analysis suggested that main contribution sources of PAHs originated from petroleum and coal combustion (24.6% %), diesel combustion (19.0%), benzene-diesel combustion (14.7%) and petrogenic source (11.8%). According to hierarchical cluster analysis (HCA). High percentage of low molecular weight PAHs (2-3 rings) were found mostly in coastal stations and near petroleum rigs, while high molecular weight PAHs were high in some coastal stations and in the middle of the GoT where far from petroleum rigs. Highest concentration of benzo[a]pyrene was found at off Rayong province (86.4 ng/g dry weight), but not yet exceed Effect Range Low (ERL) value of 430 ng/g.

Field of Study: Environmental Science      Student's Signature .....

Academic Year: 2014      Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำการวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสีทธิ์ และ ดร. สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ ที่ให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” และทุนอุดหนุนงานวิจัยบัณฑิตศึกษา จากสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสนับสนุนการเก็บตัวอย่างในอ่าวไทยภายใต้โครงการวิจัยร่วม (PMBC-CU-FIO) เรื่อง Vulnerability of Coastal Zones ขอขอบคุณ คุณณฤมล กรคณิตนันท์ และนักวิชาการเจ้าหน้าที่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน และขอขอบคุณนักวิชาการและเจ้าหน้าที่ เรือ SEAFDEC กับ SEAFDEC 2 ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง ขอขอบพระคุณ ผอ. ศิริพร สิงห์ทอง และเจ้าหน้าที่ศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่ให้คำแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง GC-MS

ขอขอบคุณ ดร.दनัย ทิพย์มณี ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และค้อยให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูล และขอขอบคุณ ดร.อัศมน ลิ้มสกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และคุณวรพงศ์ ฤกษ์เกลี้ยง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำแผนที่เก็บตัวอย่าง และการแสดงผลข้อมูลบนแผนที่

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณปรีชา เสนิสีทธิ์ ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนมาตลอดการศึกษา

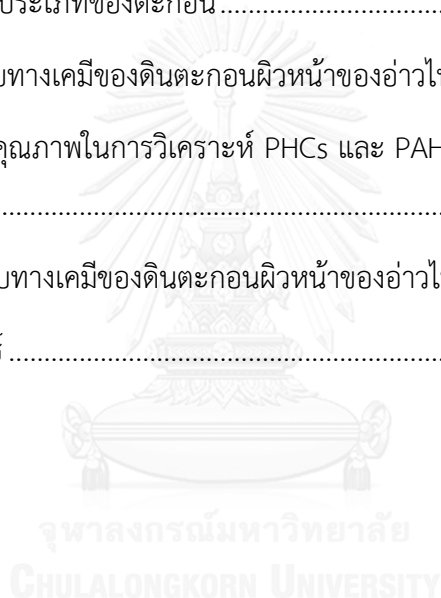
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย .....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs).....	4
2.1.1 ประเภทของปีโตรเลียม .....	4
2.1.2 แหล่งกำเนิดของการปนเปื้อน PHCs ในอ่าวไทย .....	6
2.1.3 สถิติการรั่วไหลน้ำมันลงสู่อ่าวไทย .....	12
2.1.4 พฤติกรรมของน้ำมันในดินตะกอนหลังปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ.....	13
2.1.5 ผลกระทบของการปนเปื้อนน้ำมันในทะเล.....	14
2.2 สารกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน .....	15
2.2.1 สารกลุ่ม PAHs ที่จัดเป็นสารมลพิษพืงระวัง .....	16
2.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs .....	16

2.2.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม .....	18
2.2.4 ความเป็นพิษของ PAHs .....	20
2.2.5 ประโยชน์ของการนำ PAHs มาใช้ในทางอุตสาหกรรม .....	21
2.2.6 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่ร่างกาย.....	23
2.2.7 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม .....	24
2.2.8 การปนเปื้อน PAHs ในดินตะกอน .....	25
2.2.9 ผลกระทบของ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ.....	27
2.2.10 การสลายตัวของ PAHs .....	27
2.3 พื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทย.....	28
2.3.1 สภาพทั่วไป .....	28
2.3.2 สภาพภูมิอากาศและกระแสน้ำ.....	30
2.3.3 สภาพแวดล้อมทางด้านเศรษฐกิจของอ่าวไทย .....	31
2.3.4 การปนเปื้อนของ PHCs และ PAHs ในอ่าวไทย .....	33
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร.....	36
2.4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis .....	36
2.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis .....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย .....	37
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดินตะกอน .....	37
3.3 การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน .....	37
3.4 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่าง .....	40
3.4.1 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ PHCs .....	40
3.4.2 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs .....	40

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณ PHCs ในดินตะกอน.....	41
3.6 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในดินตะกอน.....	44
3.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์.....	47
3.7.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PHCs.....	47
3.7.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs.....	48
3.8 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย.....	49
3.9 การวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบขนาดอนุภาคดินตะกอน.....	49
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	50
3.10.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา.....	50
3.10.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร.....	50
3.11 แหล่งกำเนิดของ PAHs.....	51
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	52
4.1 ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนองค์ประกอบขนาดอนุภาคของดินตะกอน.....	52
4.2 คาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย.....	53
4.3 บีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs) ในดินตะกอน.....	58
4.3.1 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์ PHCs.....	58
4.3.2 ปริมาณ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวน้ำอ่าวไทย.....	58
4.3.3 ผลการวิเคราะห์สถิติของปริมาณ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอน.....	64
4.4 พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในดินตะกอน.....	65
4.4.1 สภาวะเครื่อง GC/MS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ PAHs.....	65
4.4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs.....	70
4.4.3 ปริมาณ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวน้ำอ่าวไทย.....	71
4.4.4 ระดับความเข้มข้นของ PAHs เชิงพื้นที่ ในตัวอย่างดินตะกอนผิวน้ำอ่าวไทย.....	72

4.4.5 สัดส่วนของ PAHs แต่ละชนิด ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย .....	80
4.4.6 การประเมินแหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย.....	84
รายการอ้างอิง .....	105
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก พิกัด จุดเก็บตัวอย่าง .....	115
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์.....	120
ภาคผนวก ค สัดส่วนและประเภทของตะกอน.....	127
ภาคผนวก ง องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย.....	132
ภาคผนวก จ การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PHCs และ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้า ของ อ่าวไทย.....	141
ภาคผนวก ฉ องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย .....	143
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	145



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 จำนวนหลุมเจาะผลิตปิโตรเลียมจากแท่นหลุมผลิตในแหล่งต่างๆ .....	11
ตารางที่ 2-2 สถิติเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลปริมาณมาก ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2556 .....	12
ตารางที่ 2-3 PAHs 16 ชนิด ที่ US-EPA กำหนดเป็นสารพิษอันตราย .....	17
ตารางที่ 2-4 สมบัติทางกายภาพเคมีของ PAHs .....	18
ตารางที่ 2-5 แหล่งกำเนิดหลักของแต่ละประเภทของ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ .....	19
ตารางที่ 2-6 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on cancer (IARC) .....	22
ตารางที่ 2-7 การนำ PAHs มาใช้ในทางอุตสาหกรรม .....	22
ตารางที่ 2-8 ปริมาณนำเข้า naphthalene ของประเทศไทย จากสถิตินำเข้ารายปีของสารก่อมะเร็ง .....	23
ตารางที่ 2-9 ปริมาณ PAHs ในดินตะกอน (ng/g dry weight) .....	26
ตารางที่ 2-10 ผลการตรวจวัดปริมาณ PAHs (ng/g dry weight) ในดินตะกอนพื้นที่ต่างๆ .....	27
ตารางที่ 2-11 ปริมาณ PHCs ในน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำพื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย .....	34
ตารางที่ 2-12 ผลการตรวจวัดปริมาณ PAHs ในดินตะกอนพื้นที่ต่างๆในประเทศไทย .....	35
ตารางที่ 3-1 สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion-Trap (Agilent Technologies 5975C) ในการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของ PAHs .....	45
ตารางที่ 3-2 สัดส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด .....	51
ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของเนื้อดินตะกอน และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอ่าวไทย .....	53
ตารางที่ 4-2 ปริมาณ PHCs ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนอ่าวไทย ( $\mu\text{g/g}$ dry weight as chrysene). .....	59
ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างปริมาณปิโตรเลียมในรูปสมมูลโครซีน (PHCs) กับขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand, %silt และ %clay) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย .....	64

ตารางที่ 4-4 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard.....	65
ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment.....	70
ตารางที่ 4-6 ระดับความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับค่า ERL และ ERM (ng/g).....	81
ตารางที่ 4-7 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างดินตะกอนฝิวหน้าอ่าวไทย.....	85
ตารางที่ 4-8 Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดของดินตะกอนฝิวหน้าอ่าวไทย .....	91
ตารางที่ 4-9 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลักของ PAHs ในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ด้วยการพล็อตสัดส่วนจำนวนวงแหวน 2-3, 4 และ 5-6 วง ในแต่ละสถานีของแต่ละกลุ่ม ด้วย Triangular diagram .....	98
ตารางที่ 4-10 ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ( $\Sigma$ PAHs) ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในรูปสมมูลโครซีน (PHCs) ขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand, %silt และ %clay) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในตัวอย่างดินตะกอนฝิวหน้าอ่าวไทย .....	100
ตารางที่ ก-1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่าง ความลึก วันที่ในการเก็บตัวอย่าง ความเป็นกรด-ด่าง และค่าต่างศักย์-ไฟฟ้าของดินตะกอนฝิวหน้าบริเวณอ่าวไทย .....	115
ตารางที่ ค-1 สัดส่วนขนาดตะกอนของตะกอนดินฝิวหน้าอ่าวไทยและประเภทของตะกอน .....	127
ตารางที่ ง-1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ปริมาณ PHCs และปริมาณ $\Sigma$ PAHs ของดินตะกอน.....	132
ตารางที่ ง-2 ปริมาณ PAHs (ng/g dry weight) แต่ละชนิด ในดินตะกอนฝิวหน้า.....	136
ตารางที่ ง-3 สัดส่วน PAHs (%) แต่ละโครงสร้างในดินตะกอนฝิวหน้าอ่าวไทย .....	139
ตารางที่ จ-1 ผลการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ ในการวิเคราะห์ PHCs .....	141
ตารางที่ จ-2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%recovery) เพื่อทดสอบความถูกต้อง .....	141
ตารางที่ จ-3 ผลการวัด blank 10 ซ้ำ.....	142
ตารางที่ จ-4 ผลการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ ในการวิเคราะห์ PAHs .....	142
ตารางที่ ฉ-1 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินฝิวหน้าอ่าวไทย.....	143



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 เขตความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันในน่านน้ำไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2554).....	7
รูปที่ 2-2 แหล่งปิโตรเลียม และพื้นที่ผลิตปิโตรเลียมและแนวท่อส่งก๊าซในอ่าวไทย .....	10
รูปที่ 2-3 พฤติกรรมของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงในทะเล .....	14
รูปที่ 2-4 แหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายและการปนเปื้อน PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	25
รูปที่ 2-5 แอ่งก๊าซธรรมชาติและปิโตรเลียมในอ่าวไทย .....	32
รูปที่ 3-1 จุดเก็บตัวอย่างดินตะกอนในอ่าวไทย (เขตน่านน้ำไทย).....	38
รูปที่ 3-2 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บดินตะกอน (Box Corer).....	39
รูปที่ 3-3 การเก็บตัวอย่างดินตะกอน .....	39
รูปที่ 3-4 อุปกรณ์และขั้นตอนในการสกัด PHCs และ PAHs ในดินตะกอน .....	42
รูปที่ 3-5 เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer .....	43
รูปที่ 3-6 กราฟมาตรฐาน chrysene .....	43
รูปที่ 3-7 เครื่อง GC/MS-Ion-Trap Agilent Technologies 5975C.....	45
รูปที่ 4-1 สัดส่วนขององค์ประกอบของขนาดดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย .....	52
รูปที่ 4-2 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดทราย (sand) ในอ่าวไทย.....	54
รูปที่ 4-3 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดทรายแป้ง (silt) ในอ่าวไทย.....	55
รูปที่ 4-4 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดดินเหนียว (clay) ในอ่าวไทย.....	56
รูปที่ 4-5 คาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%) ในอ่าวไทย.....	57
รูปที่ 4-6 แผนภูมิกล่อง (box plot) เปรียบเทียบ PHCs ( $\mu\text{g/g}$ dry weight as chrysene) ใน ดินตะกอนผิวหน้าระหว่างอ่าวไทยตอนกลางกับตอนล่าง [เส้นบนกล่อง = เปอร์เซ็นไทล์ที่ 75; เส้นกลางกล่อง = ค่ากลาง; เส้นล่างกล่อง = เปอร์เซ็นไทล์ที่ 25; * = ค่าที่อยู่นอกช่วงปกติ].....	59
รูปที่ 4-7 ระดับการปนเปื้อนของ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยทั้ง 144 สถานี.....	60
รูปที่ 4-8 รูปซ้าย – รูปแบบการแพร่กระจายของ PHCs ( $\mu\text{g/g}$ dry weight as chrysene) ใน ดินตะกอนอ่าวไทย .....	61

รูปที่ 4-9 กราฟระดับการปนเปื้อน PHCs ( $\mu\text{g/g}$ dry weight as chrysene) ในดินตะกอน ผิวหน้าจากพื้นที่ต่างๆ .....	63
รูปที่ 4-10 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด ณ สภาวะเครื่องที่เหมาะสม (1. Nap; 2. Acy; 3. Ace; 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]A และ 16. B[g,h,i]P) .....	66
รูปที่ 4-11 โครมาโทแกรมของสาร Internal standard PAHs (1. D <sub>10</sub> -Ace; 2. D <sub>10</sub> -Phe; 3. D <sub>12</sub> -Chry และ 4. D <sub>12</sub> -Per).....	67
รูปที่ 4-12 โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment.....	68
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินสถานี 3 .....	69
รูปที่ 4-14 ระดับความเข้มข้นของ $\Sigma\text{PAHs}$ ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย .....	72
รูปที่ 4-15 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs รวม ( $\Sigma\text{PAHs}$ ) ในตะกอนดินผิวหน้าอ่าวไทย.....	74
รูปที่ 4-16 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของ PAHs แต่ละโครงสร้างตามจำนวนวงแหวน ในดิน ตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย.....	75
รูปที่ 4-17 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของ PAHs ที่มี 2-3 วง กับ 4-6 วง ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าว ไทย .....	77
รูปที่ 4-18 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของโครงสร้าง PAHs ขนาดเล็ก (2-3 วง) และขนาดใหญ่ (4-6 วง) ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย (ก) สถานีใกล้ชายฝั่ง (ข) สถานีใกล้แท่น (ค) สถานีกลางอ่าว.....	79
รูปที่ 4-19 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs แต่ละชนิด ในดิน ตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย .....	80
รูปที่ 4-20 กราฟระดับความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}$ ( $\text{ng/g}$ dry weight) ในดินตะกอนผิวหน้า ของ พื้นที่ต่างๆ.....	83
รูปที่ 4-21 แผนภาพแสดงแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าแต่ละสถานีในอ่าว ไทย .....	87

รูปที่ 4-22 สัดส่วนของdiagnostic ratio ระหว่าง ก)  $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$  และ  $B[a]A/(B[a]A+Chry)$  และ ข)  $An/(An+Phe)$  และ  $Fluo/(Fluo+Pry)$  ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย ..... 89

รูปที่ 4-23 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) ที่ค่า Rotated Component Matrix ในแต่ละชนิด > 0.6..... 92

รูปที่ 4-24 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA)..... 93

รูปที่ 4-25 แผนภาพการจัดกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนอ่าวไทยด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA)..... 94

รูปที่ 4-26 แผนภาพแสดงกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวไทยที่มีความคล้ายคลึงกันของ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย ..... 95

รูปที่ 4-27 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนชนิดและปริมาณ PAHs ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยของแต่ละกลุ่มของการจำแนกโดย Hierarchical Cluster Analysis (HCA) ตามสถานี..... 96

รูปที่ 4-28 Triangular diagram แสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วน PAHs ที่มีโครงสร้างวงแหวน 2-3, 4 และ 5-6 วง เปรียบเทียบกับกลุ่มสถานีตามการแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิค HCA..... 97

รูปที่ ข-1 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแสดงลักษณะเนื้อดิน..... 126

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (petroleum hydrocarbons) หรือ “PHCs” ถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานหลักที่สนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีของประเทศ ดังนั้น PHCs จึงเป็นหนึ่งในปัญหามลพิษที่สำคัญ ทั้งประเภทที่ระบุแหล่งกำเนิดได้ (point source) และประเภทที่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ (non-point source) ก่อมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตทั้งทางตรงและทางอ้อมสาเหตุหลักของการปนเปื้อน PHCs ในทะเล ส่วนใหญ่มาจากการรั่วไหลของน้ำมันจากการคมนาคมขนส่งทางทะเล การขนถ่ายน้ำมันกลางทะเล ท่าเทียบเรือ การชะล้างคราบน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำทั้งจากพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน โรงกลั่นน้ำมัน กิจกรรมสำรวจและขุดเจาะน้ำมันในทะเล และอุบัติเหตุ โดยเฉพาะอุบัติเหตุจากเรือบรรทุกน้ำมัน รวมถึงน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ PHCs ที่ปนเปื้อนลงสู่ทะเล ส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายอยู่ในน้ำทะเล แต่เนื่องจาก PHCs ละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วนใหญ่จึงรวมตัวกับอนุภาคตะกอนแขวนลอยและตกสะสมอยู่ในดินตะกอน

อีกหนึ่งมลพิษสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ PHCs คือ พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon) หรือ “PAHs” เนื่องจาก PAHs หลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง จึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ PAHs ส่วนหนึ่งมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น การรั่วซึมของน้ำมัน (oil seepage) จากพื้นทะเลบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำมัน และจากไฟฟ้า (Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) อีกส่วนหนึ่งมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงและสารอินทรีย์ต่างๆ ควันบุหรี่ และน้ำเสีย เป็นต้น (Nadal et al., 2004)

PAHs ที่แพร่กระจายไปในอากาศ ดิน และแหล่งน้ำต่างๆ เป็นมลพิษที่มีความคงทนอยู่ในธรรมชาติสูง (persistent organic pollutants; POPs) (Rodrigo et al., 2008) จึงตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อม องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency; US-EPA) กำหนดให้ PAHs 16 ชนิด เป็นสารพิษพียงระวัง (priority pollutants) ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Ace), Fluorene (Flu), Anthracene (An), Phenanthrene (Phe), Fluoranthene (Fluo), Pyrene (Pyr),

Chrysene (Chry), Benzo[a]anthracene (B[a]A), 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), Benzo[g,h,i]perylene (B[g,h,i]P) และ Dibenzo[a,h]anthracene (D[a,h]A)

PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลได้หลายทาง เช่น จากแม่น้ำ จากการชะล้างของน้ำฝน ลงมาจากชั้นบรรยากาศ หรือจากน้ำเสียและไอเสียจากการเดินเรือ (Maher and Aislabie, 1992) เมื่อ PAHs เข้าสู่แหล่งน้ำจะรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอย และท้ายที่สุดก็ตกสะสมอยู่ในดินตะกอน เนื่องจาก PAHs ละลายน้ำได้น้อยมากและยากต่อการสลายตัว จึงคงสภาพอยู่กับดินตะกอนได้นาน การที่ดินตะกอนเป็นแหล่งที่อยู่และแหล่งอาหารของสัตว์หน้าดิน การสะสมของ PAHs ในดินตะกอน จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมถึงมนุษย์ที่เป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย

อ่าวไทยเป็นแหล่งทรัพยากรสำคัญของประเทศไทย มีกิจกรรมการขนส่งทางทะเล การประมง และการขุดเจาะและผลิต รวมถึงการขนถ่ายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน พื้นที่อ่าวไทยของอ่าวไทยมีลักษณะเป็นแอ่ง และมีแนวสันเขาใต้น้ำบริเวณปากอ่าวไทย ทำให้การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยและการแลกเปลี่ยนมวลน้ำกับทะเลจีนใต้มีจำกัด มลพิษที่รวมตัวกับตะกอนแขวนลอยและตกค้างอยู่ในดินตะกอน ส่วนใหญ่จึงสะสมอยู่ในอ่าวไทยมากกว่าจะถูกถ่ายเทออกสู่ทะเลจีนใต้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณตกค้างของ PHCs ในดินตะกอนอ่าวไทย ในรูป chrysene equivalent ซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายและเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยกว่าการวิเคราะห์เพื่อจำแนกชนิดและปริมาณของ PAHs โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะใช้เป็นค่าพื้นฐาน (baseline values) ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียมในอ่าวไทย ซึ่งทวีจำนวนมากขึ้น และเลือกตัวอย่างดินตะกอนจำนวน 62 สถานี จากพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง พื้นที่ใกล้แท่นขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียม และพื้นที่กลางอ่าว มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs 16 ชนิด ที่ US-EPA กำหนดให้เป็นสารพิษพืงระวัง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินสถานการณ์ปนเปื้อน และการแพร่กระจายของ PHCs ที่สะสมในดินตะกอนอ่าวไทย
2. เพื่อประเมินสถานการณ์ปนเปื้อน และแหล่งที่มาของ PAHs ที่สะสมในดินตะกอนอ่าวไทย

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. พบ PHCs ปนเปื้อนสูงบริเวณใกล้แหล่งขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียม
2. แหล่งที่มาหลักของ PAHs ที่สะสมในดินตะกอนอ่าวไทยส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) มากกว่ามาจากปิโตรเลียมโดยตรง (petrogenic source)

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ศึกษา PHCs ในรูป chrysene equivalent โดยใช้เทคนิค spectrofluorometry ในดินตะกอนผิวหน้า (ระดับ 0-10 เซนติเมตร) จำนวน 144 สถานี ที่เก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 7 พฤศจิกายน 2554 ถึง วันที่ 3 มิถุนายน 2555 และศึกษาชนิดและปริมาณ PAHs จำนวน 62 สถานี (จาก 144 สถานี) ด้วยเทคนิค gas chromatography – mass spectrometry (GC–MS) เพื่อประเมินแหล่งที่มาของ PAHs

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสถานการณ์การปนเปื้อนของ PHCs และ PAHs ในดินตะกอนอ่าวไทย และเป็นค่าพื้นฐาน (baseline) เพื่อใช้อ้างอิงสำหรับประเมินการปนเปื้อนที่ลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล
2. ประเภทแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในอ่าวไทยที่จำแนกโดยใช้ Diagnostic Ratio และ Principle Component Analysis (PCA) สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา กำหนดแนวทางควบคุม ป้องกัน และแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนอ่าวไทย

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs)

ปิโตรเลียม (petroleum) เกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมกันภายใต้พื้นพิภพเป็นเวลานานหลายล้านปี จนกลายเป็นชั้นหินภายใต้ความกดดันและอุณหภูมิสูง อันเกิดจากการเคลื่อนตัวและหดตัวของชั้นหินใต้พิภพ ส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอน รองลงมาเป็นไฮโดรเจน ส่วนองค์ประกอบที่เหลือเป็นออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และโลหะต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างช้าๆ จนแปรสภาพเป็นก๊าซและน้ำมันดิบสะสมและซึมผ่านชั้นหินที่เป็นรูพรุน เช่น ชั้นหินทรายและชั้นหินปูนไปสู่แอ่งหินที่ต่ำกว่า จากนั้นค่อยๆ สะสมตัวอยู่ระหว่างชั้นหินที่หนาแน่น ซึ่งไม่สามารถซึมผ่านไปได้ อีก โดยปกติปริมาณการสะสมตัวของปิโตรเลียมจะมีประมาณ 5.25 % ของปริมาตรหิน เนื่องจากปิโตรเลียมที่ถูกบีบอัดด้วยชั้นหินต่างๆ จะพยายามแทรกตัวขึ้นมายังผิวโลกตามรอยแตกของชั้นหิน เว้นแต่จะถูกปิดกั้นด้วยชั้นหินเนื้อแน่น ซึ่งทำให้มันถูกกักไว้ใต้ผิวโลก

##### 2.1.1 ประเภทของปิโตรเลียม

ปิโตรเลียม จำแนกได้ตามลักษณะองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน และตามสถานะของสารปิโตรเลียมนั้น (จรรยา สารินทร์, 2537)

- 1) การจำแนกตามลักษณะองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน แบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่
  - อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons)
  - อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างอะตอมต่อกันเป็นสายตรง อาจมีหรือไม่มีวงแหวนแตกกิ่ง แบ่งเป็นแบบที่อิ่มตัว ซึ่งจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดพันธะเดี่ยว และแบบที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดพันธะคู่หรือพันธะสาม

- อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและมีวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งรวมถึงสารกลุ่ม PAHs
- 2) การจำแนกตามสถานะ แบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดิบ (crude oil) และก๊าซธรรมชาติ (natural gases)
- น้ำมันดิบ จะมีองค์ประกอบของคาร์บอนตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 35 ( $C_1$  ถึง  $> C_{35}$ ) แบ่งตามคุณสมบัติและชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ 3 แบบ คือ น้ำมันดิบฐานพาราฟิน น้ำมันดิบฐานแอสฟัลท์ และน้ำมันดิบฐานผสม น้ำมันดิบทั้ง 3 แบบ เมื่อนำไปกลั่น จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันในสัดส่วนที่ต่างกัน น้ำมันดิบที่ขุดมาจากแหล่งต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบที่แตกต่างกัน
  - ก๊าซธรรมชาติ เป็นปิโตรเลียมที่อยู่ในรูปของก๊าซ ณ อุณหภูมิและความกดดันที่ผิวโลก ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก อาจมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 95 ส่วนที่เหลือ ได้แก่ ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ บางครั้งจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ปะปนอยู่ด้วย ไฮโดรคาร์บอนในก๊าซธรรมชาติจัดอยู่ในอนุกรมพาราฟิน มีสภาพอิ่มตัวในบรรยากาศ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีใดๆ ส่วนใหญ่ก๊าซธรรมชาติจะพบคาร์บอนเป็นองค์ประกอบตั้งแต่ 1 ถึง 4 ตัว ( $C_1$  ถึง  $C_4$ ) ในสภาวะปกติไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักเบาที่สุดและจุดเดือดต่ำที่สุด คือ มีเทน (methane;  $CH_4$ ) ซึ่งในก๊าซธรรมชาติจะมี  $CH_4$  อยู่มากที่สุด ถึงร้อยละ 70 ขึ้นไป โดยก๊าซธรรมชาตินี้ จะหมายรวมถึง ก๊าซธรรมชาติเหลวซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มเดียวกันกับก๊าซธรรมชาติ แต่มีปริมาณคาร์บอนอะตอมในโครงสร้างโมเลกุลมากกว่าก๊าซธรรมชาติ เมื่ออยู่ในแหล่งกักเก็บใต้ผิวโลกซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะมีสภาพเป็นก๊าซ และจะกลายเป็นของเหลวเมื่อขึ้นมาสู่พื้นผิว จึงเรียกว่าก๊าซธรรมชาติเหลว



## 2.1.2 แหล่งกำเนิดของการปนเปื้อน PHCs ในอ่าวไทย

### 2.1.2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (natural source)

- 1) จากกระบวนการทางชีวภาพ (biogenic process) โดยการสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ เช่น แพลงก์ตอนพืช พีชชั้นสูงบางชนิด หรือแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์สารนอร์มัลอัลเคน (normal alkane) ได้
- 2) จากกระบวนการทางธรณีวิทยา (geochemical process) ได้แก่ การซึมผ่านตามธรรมชาติของน้ำมันดิบจากใต้ผิวดิน (seepage)

### 2.1.2.2 จากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic Source)

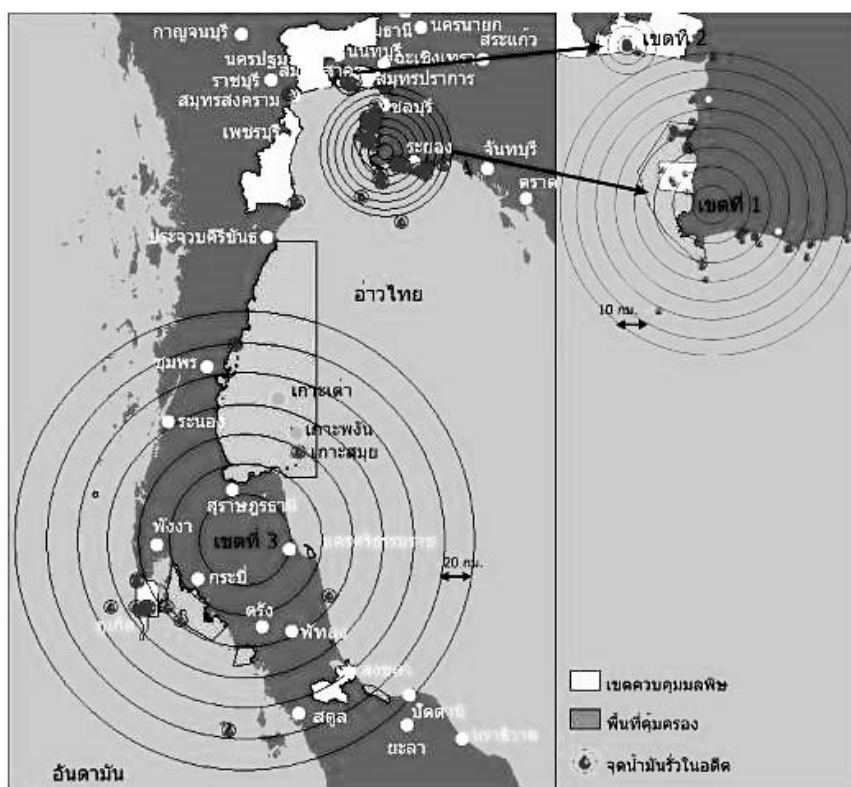
- 1) น้ำทิ้งชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งที่สำคัญของการปนเปื้อน PHCs จากกิจกรรมต่างๆ ที่ระบายออกมากับน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ และลงสู่อ่าวไทยในที่สุด

- 2) การคมนาคมขนส่งทางเรือ

การขนส่งทางน้ำทั้งในแม่น้ำและทะเลมีแนวโน้มขยายตัวในอัตราสูง โดยเฉพาะการขนส่งน้ำมัน และสินค้าอื่น เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด ประเทศไทยมีการขนส่งน้ำมันจากโรงกลั่นหรือคลังน้ำมันไปยังคลังน้ำมันย่อยจำนวนมากตามแนวชายฝั่งทะเล โดยพบมากบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างและบริเวณชายฝั่งศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งทั้ง 2 บริเวณนี้ จัดเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง

กรมควบคุมมลพิษได้จำแนกและจัดทำแผนที่เขตความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันออกเป็น 4 เขต (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 เขตความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันในน่านน้ำไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

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

การรั่วไหลของน้ำมันสู่แหล่งน้ำ มักจะมาจากอับปางของเรือจากอุบัติเหตุชนกันเองหรือชนหินโสโครก จากไฟไหม้เรือ และจากการลักลอบทิ้ง เช่น การลักลอบถ่ายน้ำชะล้างน้ำมันชนิดเดิมก่อนบรรจุน้ำมันชนิดใหม่ หรือการปล่อยน้ำเสียจากห้องน้ำ การถ่ายน้ำอับเฉาที่ถ่วงท้องเรือซึ่งปนเปื้อนคราบน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ การสูบน้ำมันกลางทะเลจากเรือขนาดใหญ่ลงเรือขนาดเล็ก รวมถึงการปนเปื้อนในบริเวณที่เป็นท่าเทียบเรือและอู่ต่อเรือ (Azevedo et al., 2002; Mostafa et al., 2009)

### 3) โรงกลั่นน้ำมัน

โรงกลั่นน้ำมันเป็นแหล่งหนึ่งที่เป็นสาเหตุของการปนเปื้อนน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ โดยจะปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งแล้วถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งการปนเปื้อนจากอุบัติเหตุระหว่างการขนส่งน้ำมันบริเวณโรงกลั่นน้ำมัน ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงกลั่นน้ำมันดิบเชิงพาณิชย์ทั้งสิ้น 6 โรง คือ โรงกลั่นน้ำมันเอสโซ่ โรงกลั่นน้ำมันไทยออยล์ โรงกลั่นน้ำมันบางจาก โรงกลั่นน้ำมันระยอง โรงกลั่นน้ำมันสตาร์ปิโตรเลียม และโรงกลั่นน้ำมันทีพีโอ ซึ่งมีกำลังการผลิตโดยรวมประมาณ 960,000 บาร์เรลต่อวัน สามารถกลั่นน้ำมันดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดต่างๆ ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเบนซิน น้ำมันอากาศยาน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ยางมะตอย และยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น จาระบี รวมทั้งเคมีภัณฑ์ต่างๆ เช่น พาราไซลีน (paraxylene) เบนซีน (benzene) และโทลูอีน (toluene) เป็นต้น

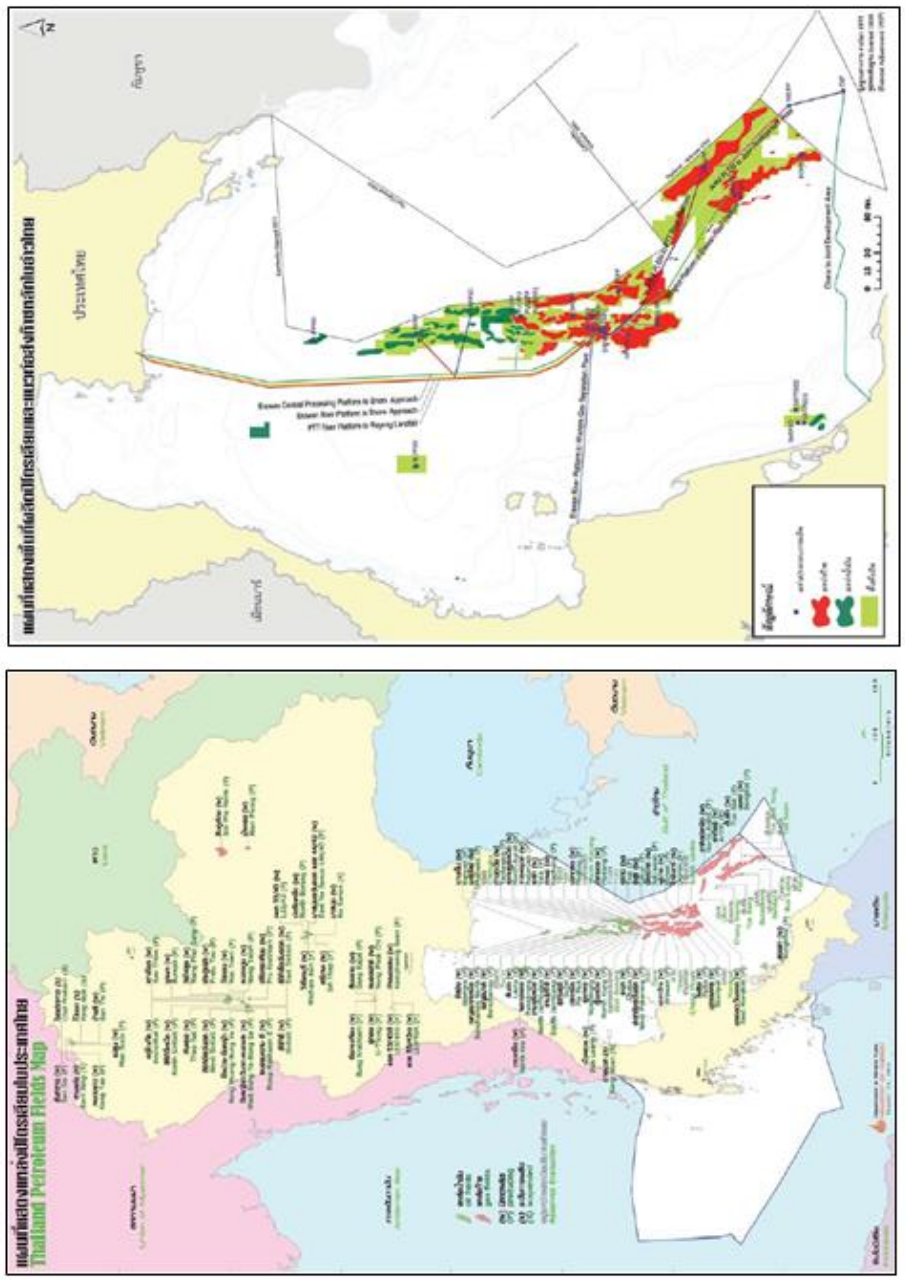
### 4) กิจกรรมในพื้นที่ใต้ท้องทะเล

กิจกรรมการสำรวจและแสวงหาผลประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติใต้ทะเลที่มีอยู่ในอ่าวไทย เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ แร่ธาตุต่างๆ ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งก่อสร้างเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่นำเข้าไปปฏิบัติงาน เช่น เรือ หรือแท่นขุดเจาะ บ่อน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่กำลังปฏิบัติงาน จะปล่อยของเสีย ได้แก่ น้ำผสมน้ำมัน หรือสารเคมีจากกรรมวิธีการผลิต ของเสียจากการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของน้ำทะเลด้อยลง มีโคลนตะกอนและคราบน้ำมันกระจายอยู่โดยรอบ นอกจากนี้อุบัติเหตุในระหว่างการปฏิบัติงาน เช่น จากการขนส่งน้ำมันทำให้น้ำมันหกหล่น ท่อน้ำมันฉีกขาด แท่นขุดเจาะน้ำมันระเบิด ก่อความเสียหายแก่สิ่งแวดล้อมทางทะเล

ปัจจุบันในอ่าวไทยมีแท่นผลิตปิโตรเลียมอยู่มากมาย ตารางที่ 2-1 แสดงจำนวนหลุมเจาะผลิตปิโตรเลียมจากแท่นหลุมผลิตในแหล่งต่างๆ ที่รายงานไว้ในรายงานประจำปี 2554 ของกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ รูปที่ 2-2 แสดงแหล่งและพื้นที่ผลิตปิโตรเลียม และแนวท่อส่งก๊าซในอ่าวไทย (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2554)

แหล่งพลังงานเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในประเทศไทยมาจากปิโตรเลียมถึงร้อยละ 80 (จากก๊าซธรรมชาติร้อยละ 44 และจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมร้อยละ 36) ที่เหลือมาจากถ่านหิน (ร้อยละ 17) และพลังงานน้ำ (ร้อยละ 3) (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2554) ดังนั้นปิโตรเลียมจึงมีโอกาที่จะปนเปื้อนของสู่สิ่งแวดล้อมสูง





รูปที่ 2-2 แผนที่โรงกลั่นปิโตรเลียม และพื้นที่ผลิตปิโตรเลียมและแนวท่อส่งก๊าซในอ่าวไทย

ตารางที่ 2-1 จำนวนหลุมเจาะผลิตปิโตรเลียมจากแท่นหลุมผลิตในแหล่งต่างๆ

ผู้ดำเนินงาน	แหล่งผลิตปิโตรเลียม	หลุมผลิต	สถานะหลุม
เพิร์ล ออย (ประเทศไทย)	จัสมิน	7	น้ำมันดิบ
	บานเย็น	4	น้ำมันดิบ
ซาลามานเดอร์ (บัวหลวง)	บัวหลวง	5	น้ำมันดิบ
ซีอีซี อินเตอร์ฯ	สงขลา	22	น้ำมันดิบ
ปตท. สผ.	บงกช	63	ก๊าซธรรมชาติ
	อาทิตย์	41	ก๊าซธรรมชาติ
เซฟรอน ประเทศไทย	ปลาหมึก	3	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ปลาทอง	24	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ปลาทองใต้	16	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ปลาทองตะวันตกเฉียงใต้	24	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ปลาแดง	6	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ปะการัง	46	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	เอราวัณ	25	ก๊าซธรรมชาติ
	จักรวาล	20	ก๊าซธรรมชาติ
	สตูล	14	ก๊าซธรรมชาติ
	พูนาน	12	ก๊าซธรรมชาติ
	โกมินทร์ใต้	9	ก๊าซธรรมชาติ
	บรรพตใต้	10	ก๊าซธรรมชาติ
	ไพลิน	6	ก๊าซธรรมชาติ
	มรกต	19	น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ
	ไพลินเหนือ	25	ก๊าซธรรมชาติ

ที่มา : (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2554)

### 2.1.3 สถิติการรั่วไหลน้ำมันลงสู่อ่าวไทย

จากสถิติของกรมเจ้าท่า พบว่าการรั่วไหลของน้ำมันในปริมาณมากที่เกิดในทะเลและชายฝั่ง ส่วนมากเกิดขึ้นบริเวณท่าเทียบเรือจากอุบัติเหตุระหว่างการขนถ่ายน้ำมัน และจากอุบัติเหตุต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 สถิติเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลปริมาณมาก ระหว่างปี พ.ศ. 2540 – 2556

วัน เดือน ปี	ชนิดน้ำมัน	สถานที่เกิด	สาเหตุ	ปริมาณ
22 พ.ค. 44	น้ำมันดิบ	ท่าขนถ่ายน้ำมันกลางทะเล บริษัท อัลลายแอนซ์ รีไฟน์นิ่ง จำกัด ท่าเรือมาบตาพุด ระยอง	Brakeaway Coupling ที่กำลังขนถ่ายจากเรือ Tokachi หลุดออกจากรันทำให้น้ำมันรั่วไหล	30 ตัน
15 ม.ค. 45	น้ำมันเตา	หินฉลาม เกาะจวง นอกฝั่ง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี	เรือ Eastern Fortitude สัญชาติปานามา ชนหินฉลาม	234 ตัน
17 ธ.ค. 45	น้ำมันเตา	ทางเข้าท่าเรือแหลมฉบัง ด้านใต้ของเกาะสีชัง ชลบุรี	เรือ Kota Wijaya ชนกับเรือ Sky Ace ทำให้น้ำมันเตารั่วไหล	210 ตัน
20 พ.ย. 48	น้ำมันดิบ	บริเวณท่าเรือ SBM ของบริษัทไทยออยล์ จำกัด อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	ท่อเชื่อมต่อหลุดขณะส่งถ่ายน้ำมัน เนื่องจากคลื่นลมแรง	20 ตัน
4 พ.ค. 49	น้ำมันเตา	บริเวณหน้าท่าเทียบเรือ บริษัท อัลลายแอนซ์ รีไฟน์นิ่ง จำกัด อ.มาบตาพุด จ.ระยอง	รั่วไหลจากรอยรั่วที่ระวางหมายเลข 2 ของเรือบรรทุกน้ำมัน CP 34	20 ตัน
6 ต.ค. 50	Saraline 185V	บริเวณแท่น Trident-16 ของบริษัท Chevron	รั่วไหลจาก Storage Tank	220 บาร์เรล
9 ธ.ค. 50	ดีเซล น้ำมันเตา	ในทะเลห่างชายฝั่ง อ.สติงพระ จ.สงขลา ประมาณ 6 ไมล์ทะเล	เรือบรรทุกแก๊สของบริษัท เวิร์ลไวด์ ทรานสปอร์ต จำกัด อับปาง	20,000 ลิตร
15 มิ.ย. 51	น้ำมันเตา	อู่เรือบริษัท เอเชียนมารีน เซอร์วิส จำกัด อ.พระสมุทรเจดีย์ สมุทรปราการ	รั่วไหลจากเรือสินค้า Chol Han Vong Chong Nyon Ho สัญชาติเกาหลีเหนือ	มากกว่า 40,000 ลิตร
4 ก.ย. 54	ดีเซล (B5)	ห่างจากเกาะราชาใหญ่ ทางด้านตะวันออก ประมาณ 4 ไมล์ จ.ภูเก็ต	เรือบรรทุกน้ำมัน ส.โชคดาว 6 จม เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเลวร้าย และมีคลื่นลมแรง	40,000 ลิตร
27 ก.ค. 56	น้ำมันดิบ	กลางทะเลบริเวณ จ.ระยอง	ท่อรับน้ำมันดิบของ บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล รั่วกลางทะเล	50,000 ลิตร

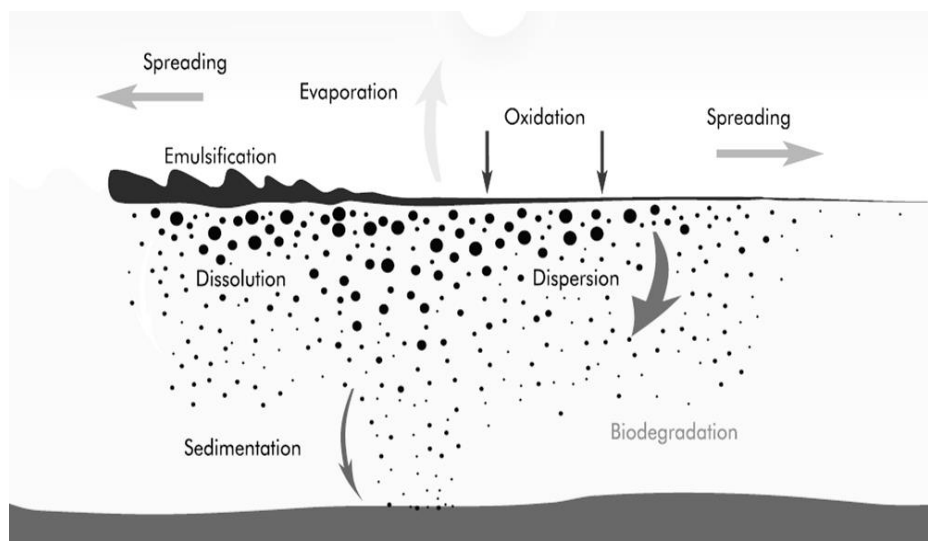
ที่มา: (กรมเจ้าท่า, 2556)

#### 2.1.4 พฤติกรรมของน้ำมันในดินตะกอนหลังปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ

หลังจากที่น้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ ไม่ว่าจะมากับน้ำเสียหรือเกิดการรั่วไหลจากการขนส่งทางน้ำ น้ำมันจะแผ่กระจายไปตามผิวน้ำ ส่วนประกอบที่ระเหยได้ก็จะระเหยไปในอากาศ บางส่วนก็จะละลายน้ำ ส่วนที่เคลือบผิวน้ำจะกีดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างน้ำกับบรรยากาศ และกีดกันการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นความหนืดของน้ำมันยังทำให้น้ำมันเกาะติดเป็นคราบกับของแข็งแขวนลอย และถูกพาไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิดหรือเข้าสู่ฝั่ง บางครั้งติดกับปีกขนหรือร่างกายของนกที่อาศัยอยู่บนผิวน้ำ รวมทั้งสัตว์น้ำอื่น

ภายหลังจากที่น้ำมันปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ระเหย ละลาย และผ่านกระบวนการอื่นข้างต้นแล้ว จะเหลือสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งหรือน้ำมันดิน (tar) ลอยอยู่บนผิวน้ำ น้ำมันดินเหล่านี้จะแตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ด้วยอิทธิพลของสภาพทะเลและจมลงสู่พื้นท้องน้ำ ส่วนอนุภาคของน้ำมันที่ยังกระจายอยู่ในน้ำจะดูดซับกับสารแขวนลอยและตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ (รูปที่ 2-3) ซึ่งตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดจะดูดซับไฮโดรคาร์บอนไว้ได้ดี โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว (clay) ซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ส่วนตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ นอกจากน้ำมันจะซึมผ่านได้ดีแล้วยังมีอัตราการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้สูง เพราะตะกอนขนาดใหญ่จะมีช่องว่างให้ธาตุอาหารและอากาศไหลเวียนได้ดี โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคงสภาพของน้ำมันในชั้นตะกอน คือ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยที่บริเวณผิวน้ำของชั้นตะกอนจะเกิดการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนได้เร็วกว่าชั้นที่ลึกลงไปซึ่งอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนทำให้เกิดการย่อยสลายได้ช้า จึงพบการปนเปื้อนของน้ำมันในชั้นที่ลึกลงไปคงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานาน (จรรยา สารินทร์, 2537)





รูปที่ 2-3 พฤติกรรมของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงในทะเล

### 2.1.5 ผลกระทบของการปนเปื้อนน้ำมันในทะเล

หลังจากที่น้ำมันปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ องค์ประกอบของน้ำมันที่ระเหยได้ก็จะระเหยไปในอากาศไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล ส่วนน้ำมันส่วนหนึ่งที่ละลายน้ำ ซึ่งแม้ว่าจะน้อยมาก แต่อาจจะเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ทั้งแบบเฉียบพลัน (acute effect) และแบบเรื้อรัง (chronic effect) นอกจากนี้คราบน้ำมันที่เคลือบอยู่กับร่างกายสิ่งมีชีวิตเป็นเวลานาน สารไฮโดรคาร์บอนจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์ เกิดการรบกวนต่อระบบเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต บางครั้งคราบน้ำมันที่เคลือบปกคลุมร่างกายของสัตว์ จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาท การหายใจ และเคลื่อนไหวของร่างกาย แต่สัตว์ทะเลจำพวกที่มีเปลือกแข็งปกคลุม จะทนต่อความเข้มข้นของน้ำมันได้มากกว่าสัตว์จำพวก กุ้ง ปู เพราะสามารถปิดฝา เพื่อลดการสัมผัสสารพิษได้

ส่วนองค์ประกอบของน้ำมันที่เหลือยังคงเคลือบปกคลุมผิวหนัง จะกีดขวางการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างน้ำกับบรรยากาศ กีดกันการส่องผ่านของแสงอาทิตย์ และยังทำลายทัศนียภาพที่สวยงามของทะเล เนื่องจากคราบของน้ำมันที่ถูกพัดพาเข้าสู่ชายฝั่งจะไปเกาะติดอยู่กับผิวของแข็ง เช่น หินและทราย ทำให้เกิดคราบสีดำตามแนวชายหาด

นอกจากนี้ในน้ำมันยังมีองค์ประกอบที่เป็น PAHs ซึ่งหลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็งที่สามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร และมาสู่มนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายได้ในที่สุด

## 2.2 สารกลุ่มพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มสารมลพิษอินทรีย์ที่มีความคงทน (Persistent Organic pollutants : POPs) ต่อกระบวนการย่อยสลายทางธรรมชาติ (Rodrigo et al., 2008) เนื่องจาก PAHs มีความคงทนในธรรมชาติสูง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาตกค้างสะสมในสิ่งแวดล้อม (Ying et al., 2009)

PAHs เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน ที่มีมากกว่า 200 ชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะและความเป็นพิษแตกต่างกัน PAHs ยังจัดเป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษค่อนข้างรุนแรง ส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดกลายพันธุ์และมะเร็งในสิ่งมีชีวิต (Grariviat, 1999) คุณสมบัติที่สำคัญของสารในกลุ่มนี้ คือ ละลายน้ำได้น้อย ละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นเมื่อ PAHs เข้าสู่ร่างกายจึงมีแนวโน้มที่จะสะสมอยู่ที่เนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิต และสามารถถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหารได้

PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งทางน้ำ อากาศ และดิน ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมมนุษย์ ทั้งบนฝั่งและในทะเล เช่น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การรั่วไหลของน้ำมัน การสำรวจและขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซ และอินทรีย์สาร (Gary and Sam, 1985) นอกจากนี้ PAHs ยังอาจเกิดจากธรรมชาติ ได้แก่ การสลายตัวของดินตะกอน ภูเขาไฟระเบิด การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง จะมีจุดเดือดสูง และความดันไอต่ำ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีจึงเกิดขึ้นได้ยากกว่า PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ทำให้ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมรวมถึงดินตะกอนได้นาน โดยทะเลจะเป็นแหล่งที่รองรับ PAHs ในลำดับสุดท้าย PAHs ที่สะสมในดินตะกอน อาจส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดิน อีกทั้งยังสามารถส่งผ่านห่วงโซ่อาหารไปยังสัตว์น้ำและมนุษย์

### 2.2.1 สารกลุ่ม PAHs ที่จัดเป็นสารมลพิษพิษร้าย




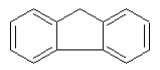
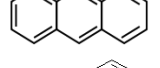
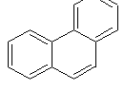
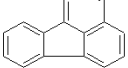
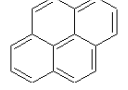
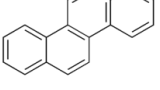
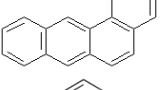
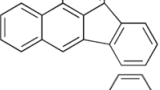
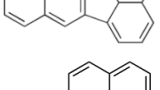
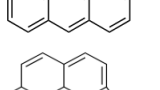
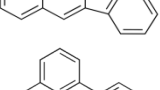
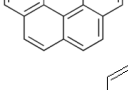
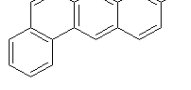
องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมในสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency หรือ US-EPA) ได้กำหนดให้ PAHs 16 ชนิด เป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสนใจเป็นอันดับต้น ๆ ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Ace), Fluorene (FU), Anthracene (An), Phenanthrene (Phe), Fluoranthene (Fluo), Pyrene (Pyr), Chrysene (Chry), Benzo[a]anthracene (B[a]A), 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), Benzo[g,h,i]perylene (B[g,h,i]P) และ Dibenzo[a,h]anthracene (D[a,h]A) (Grariviat, 1999) (ตารางที่ 2-3) โดย PAHs หลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ได้แก่ Benzo[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene (Hong et al., 2007)

### 2.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs

PAHs เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของ C และ H เท่านั้น ที่ต่อกันในลักษณะเป็นวงแหวน 5 เหลี่ยม (furan) หรือ 6 เหลี่ยม (benzene) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป อาจมีลักษณะที่เป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือรวมกันเป็นกลุ่ม (Blumer, 1976; Netto et al., 2000) เป็นกลุ่มสารที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียว มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง โดย PAHs 16 ชนิดที่ US-EPA กำหนดให้เป็นสารพิษพิษร้าย มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวในช่วง 218 ถึง 536 และ 80 ถึง 278 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2-4)

ในธรรมชาติ จะไม่พบ PAHs อยู่เดี่ยวๆ มักพบปะปนอยู่กับสารอื่นเสมอ เนื่องจาก PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (non-polar) จึงละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ดีในชั้นไขมัน เมื่อปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำจะรวมตัวกันหรือเกาะกับคอลลอยด์ดินตะกอนสะสมอยู่ในดินตะกอน และมักพบว่าปริมาณ PAHs ในดินตะกอนจะมีสะสมอยู่สูงกว่าในน้ำหลายเท่า (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการละลายของ PAHs จะลดลงตามมวลโมเลกุลหรือจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2-4 แสดงสมบัติทางกายภาพเคมีบางประการของ PAHs

ตารางที่ 2-3 PAHs 16 ชนิด ที่ US-EPA กำหนดเป็นสารพิษอันตราย

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

ตารางที่ 2-4 สมบัติทางกายภาพเคมีของ PAHs

PAHs	จำนวนวงแหวน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความสามารถในการละลาย (mg/l)	ความดันไอ (torr at 20°C)
Naphthalene	2	80	218	31.5	$4.9 \times 10^{-2}$
Acenaphthylene	3	92	265	3.93	$2.9 \times 10^{-2}$
Acenaphthene	3	96	279	3.47	$2.0 \times 10^{-2}$
Fluorene	3	116	293	1.98	$1.3 \times 10^{-2}$
Phenanthrene	3	101	340	1.29	$6.9 \times 10^{-4}$
Anthracene	3	216	340	0.07	$1.9 \times 10^{-7}$
Fluoranthene	4	111	375	0.26	$6.0 \times 10^{-6}$
Pyrene	4	149	360	0.14	$6.9 \times 10^{-7}$
Benzo[a]anthracene	4	158	400	0.014	$5.0 \times 10^{-9}$
Chrysene	4	255	448	0.002	$6.3 \times 10^{-7}$
Benzo[b]fluoranthene	5	168	481	$1.2 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-7}$
Benzo[k]fluoranthene	5	217	480	$5.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-7}$
Benzo[a]pyrene	5	179	496	$3.8 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-7}$
Inden[1,2,3-cd]pyrene	6	163	536	0.062	$1.0 \times 10^{-10}$
Benzo[g,h,i]perylene	6	278	500	$2.6 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-10}$
Dibenzo[a,h]anthracene	5	267	524	$5.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-10}$

ที่มา : (Mabey et al., 1982)

### 2.2.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดของ PAHs จำแนกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

#### 1) แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (natural source)

แหล่งกำเนิด PAHs ตามธรรมชาติ ได้แก่ ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด จากการสังเคราะห์ของแบคทีเรียบางชนิด จากพืชชั้นสูงที่มี triterpenoid หรือจากการย่อยสลาย triterpenoid หรือ steroid ในดินตะกอนที่ทับถมกัน โดยที่ triterpenoid มีสารตั้งต้นเป็นกลุ่ม aliphatic isopenoid

ที่เรียกว่า squalene ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมี PAHs เป็นองค์ประกอบ (Budzinski et al., 1997)

## 2) แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (anthropogenic source)

กิจกรรมหลายประเภทของมนุษย์ที่ก่อให้เกิด PAHs ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง (เช่น ก๊าซโซลีน ถ่านหิน น้ำมันดีเซล) คาร์บอนเสียจากยานพาหนะ คาร์บอนหรี การเผาขยะ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ เผาทุ่งหญ้า การประกอบอาหารในครัวเรือน เป็นต้น (ตารางที่ 2-5)

ตารางที่ 2-5 แหล่งกำเนิดหลักของแต่ละประเภทของ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์

แหล่งกำเนิด	ชนิด PAHs ที่พบ
การเผาไหม้ถ่านหิน	An, Phe , Fluo
เตาเผาขยะ	Phe , Fl ,Pyr
การเผาไหม้น้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรม	Fl , Pyr , Chry
การเผาไหม้เบนซินและดีเซลในยานพาหนะ	Pyr , B[b]F ,B[k]F,Ind

ที่มา : (Kulkarni and Venkataraman, 2000)

ส่วนใหญ่ของ PAHs ที่พบทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มาจากการรั่วไหลหรือการหกของน้ำมันจากถังเรือบรรทุกน้ำมัน การรั่วจากแท่นขุดเจาะน้ำมัน และการปล่อยของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของ PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ตามกระบวนการเกิดออกเป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และ PAHs ที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ (pyrogenic source) (Page et al., 1999)

- ก) PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) คือ PAHs ที่ปนเปื้อนมาจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วยวงแหวน 2-3 วง เช่น naphthalene, phenanthrene และ fluorene
- ข) PAHs ที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ (pyrogenic source) เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันหรือถ่านหิน ส่วนใหญ่จะเป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงที่ประกอบด้วยวงแหวน 4-6 วง เช่น fluoranthene, pyrene และ benzo[a]pyrene

## 2.2.4 ความเป็นพิษของ PAHs

U.S. Department of Health and Human Services (DHHS) ระบุว่า PAHs หลายตัว เป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งในสิ่งมีชีวิต เช่น Benzo[a]anthracene, Chrysene, Benzo[a]pyrene, Benzo[b]fluoranthene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene เป็นต้น (Gravitt, 1999) จากการทดสอบกับสัตว์ทดลอง พบว่า เมื่อสัตว์ได้รับ PAHs ผ่านทางการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และหายใจเอาอากาศที่มี PAHs ปนเปื้อนอยู่เข้าไปในร่างกายเป็นระยะเวลาสั้น จะส่งผลให้เกิดเนื้องอก สำหรับมนุษย์หากสูดดมหรือสัมผัสกับ PAHs ทางผิวหนังเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมะเร็ง เกิดการกลายพันธุ์ ก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบการสืบพันธุ์ มีผลต่อระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) ทำให้ผลิตฮอร์โมนในร่างกายผิดปกติ (mutation) (Hoffman et al., 1984)

มีรายงานระบุว่า PAHs บางชนิด ก่อให้เกิดความผิดปกติต่อระบบต่างๆ ของร่างกายแตกต่างกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) เช่น

- Naphthalene ทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กทารกได้ เช่น อาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลง มีติชานในสมอง (kernicterus) อาการเหล่านี้อาจเกิดจากการขาดออกซิเจนในสมอง ซึ่งเป็นผลของภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแดงแตก
- Pyrene ทำให้เกิดอาการแพ้แสงของผิวหนังได้อย่างรุนแรงในหนูตะเภา จากการทดสอบโดยป้ายสารนี้ลงบนผิวหนังของหนูตะเภา พบว่าเกิดอาการอักเสบวมแดงของผิวหนัง
- Benzo[a]pyrene ทำให้เกิดการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อบุทางเดินหายใจ คนที่ได้รับสารนี้โดยการหายใจ จะมีอาการไอ หลอดลมอักเสบ แต่ถ้าได้รับสัมผัสทางผิวหนัง จะเกิดอาการผิดปกติของผิวหนัง เป็นหูด มีอาการแสบร้อน และมีตุ่มหนองเกิดขึ้น และพบว่าเกิดการพัฒนาที่ผิดปกติของตัวอ่อนและระบบสืบพันธุ์ในหนูตะเภาที่ตั้งท้อง
- Benzo[a]anthracene ทำให้เกิดการระคายเคืองของเยื่อบุทางเดินหายใจของมนุษย์ และสัตว์ทดลอง

- Acenaphthene ทำให้น้ำหนักของรังไข่ของหนูเพศเมียลดลง ตลอดจนการทำงานของรังไข่และมดลูกก็ลดลงด้วย ขณะที่ไม่พบความผิดปกติใดๆ ของระบบสืบพันธุ์ในหนูเพศผู้
- Anthracene ทำให้เกิดอาการอักเสบเฉียบพลันของผิวหนังเมื่อได้รับสัมผัส เช่น บวมแดง แสบร้อน และคัน นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการระคายเคืองของดวงตา เยื่อบุตาอักเสบ ตาแดง หนังตาบวม น้ำตาไหล แพ้แสง รวมทั้งมีอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจตอนต้นร่วมด้วย แต่ถ้าหากได้รับเป็นระยะเวลาานาน ผิวหนังส่วนที่ได้รับสัมผัสจะมีสีเข้มขึ้น ส่วนบนของผิวหนังหน้าและด้าน มีการพองตัวของเส้นโลหิตฝอยในบริเวณนั้น

PAHs สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความสามารถที่ก่อให้เกิดมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน โดยการจัดกลุ่มดังกล่าวใช้ข้อมูลของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง (ตารางที่ 2-6)

### 2.2.5 ประโยชน์ของการนำ PAHs มาใช้ในทางอุตสาหกรรม

ในทางอุตสาหกรรม PAHs สามารถผลิตได้จากการสกัดแยกจากน้ำมันดิน (coal tar) โดยไม่ใช้การสังเคราะห์ทางเคมี ขั้นตอนการผลิตจะประกอบด้วย การกลั่นลำดับส่วน (fraction distillation) และการตกผลึก (crystallization) ในตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ PAHs แต่ละชนิดที่บริสุทธิ์ PAHs หลายชนิดมีความสำคัญในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จึงถือว่าเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการแพร่กระจายของ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 2-7



ตารางที่ 2-6 การจัดกลุ่ม PAHs โดย International Agency for Research on cancer (IARC)

Group 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน (probably carcinogenic to humans) มี 3 สาร	
	Benz[a]anthracene	Benzo[a]pyrene
	Dibenz[a,h]anthracene	
Group 2B	สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (possibly carcinogenic to humans) มี 11 สาร	
	Benzo[b]fluoranthene	Benzo[j]fluoranthene
	Benzo[k]fluoranthene	Dibenzo[a,e]pyrene
	Dibenzo[a,h]pyrene	Dibenzo[a,i]pyrene
	Dibenzo[a,l]pyrene	Dibenzo[a,j]acridine
	Dibenzo[a,h]acridine	Indeno[1,2,3-cd]pyrene
	Naphthalene	
Group 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน (unclassifiable as to carcinogenic to humans) มี 23 สาร	
	Anthracene	Benzo[a]acridine
	Benzo[c]acridine	Benzo[g,h,i]fluoranthene
	Benzo[a]fluorene	Benzo[b]fluorene
	Benzo[c]fluorene	Benzo[g,h,i]perylene
	Benzo[c]phenanthrene	Benzo[e]pyrene
	Chrysene	Coronene
	Cyclopenta[c,d]pyrene	Dibenz[a,c]anthracene
	Dibenzo[a,j]anthracene	Dibenzo[a,e]fluoranthene
	Dibenzo[h,r,s,t]pentaphene	Fluoranthene
	Fluorene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene
	Triphenylene	

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ตารางที่ 2-7 การนำ PAHs มาใช้ในทางอุตสาหกรรม

ชนิด PAHs	การนำมาใช้
acenaphthene	ใช้ผลิตสี สารเคมี เรซิน
anthracene	ใช้เป็นสารตรวจวัดสารกำมะถันในถ่านหิน ผลิตสี
fluoranthene	ใช้ผลิตสีชนิดเรืองแสง
Naphthalene	ใช้ผลิตสี สารกำจัดและไล่แมลง (ลูกเหม็น)
Pyrene	ใช้ผลิตสีชนิด perinon pigment
Fluorine	ใช้ผลิต fluorenone สารออกซิไดส์อย่างอ่อน

ที่มา : (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

น้ำมันดิบ (crude oil) จากแหล่งธรรมชาติแต่ละแหล่งมีความแตกต่างในองค์ประกอบ และปริมาณของ PAHs แต่ละชนิด ในการผลิต PAHs บริสุทธิ์ชนิดใดจากน้ำมันดิบ จึงต้องเลือก แหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบที่ให้ปริมาณ PAHs ชนิดที่ต้องการมากที่สุด PAHs ที่มีอัตราการผลิตสูง ที่สุด คือ naphthalene (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) และเป็น PAHs เพียงชนิดเดียวที่มีข้อมูลการ นำเข้าจากต่างประเทศ จากตารางที่ 2-8 จะเห็นว่าตั้งแต่ปี 2545 ถึงปี 2553 ประเทศไทยมีแนวโน้ม ในการนำเข้า naphthalene เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ตารางที่ 2-8 ปริมาณนำเข้า naphthalene ของประเทศไทย จากสถิตินำเข้ารายปีของสารก่อมะเร็ง

ปี	ปริมาณ(ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ลำดับที่ตามมูลค่า
2545	3,363.8	65.46	51
2546	4,358.0	120.87	39
2547	4,883.2	127.60	44
2548	6,193.8	148.15	39
2549	5,763.0	139.59	36
2550	6,698.9	177.66	34
2551	6,921.0	202.25	36
2552	4,938.4	129.72	38
2553	6,724.1	194.78	36

ที่มา : (ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย, 2553)

## 2.2.6 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่ร่างกาย

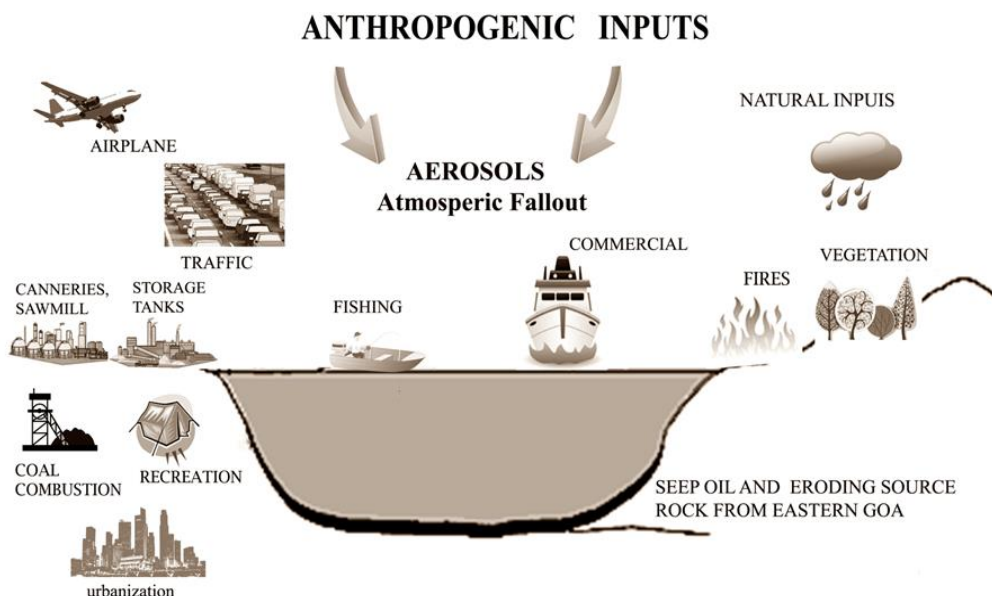
PAHs เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้หลายทาง ได้แก่ จากการหายใจเอาอากาศที่มี PAHs ปนเปื้อนเข้าไป จากการบริโภค เช่น การดื่มน้ำ การกินอาหารที่มี PAHs ปนเปื้อน จากการสัมผัสผ่าน ผิวหนัง เช่น สัมผัสดินหรือฝุ่นละอองที่มี PAHs ปนเปื้อน นอกจากนี้ PAHs ยังเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย และรวดเร็วทุกทิศทาง เมื่อ PAHs เข้าสู่ร่างกายแล้วจะสะสมที่ชั้นไขมัน ตับ ไต เป็นส่วนใหญ่ (Jacob et al., 2009) แต่บางส่วนก็สะสมในร่างกายได้ไม่นานก็จะถูกขับถ่ายออกโดยทางปัสสาวะ และอุจจาระ มนุษย์ได้รับ PAHs ที่แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมจากแหล่งต่างๆ เช่น ไอเสียจากรถยนต์ ถนนลาดยางมะตอย ถ่านหิน ไฟป่า การเผาพืชพรรณทางการเกษตร การเผาขยะอันตราย (Kim et al., 2003)

### 2.2.7 การแพร่กระจาย PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายของ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมีได้ทั้งจากธรรมชาติ เช่น การแทรกซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ผิวดิน ทำให้มีการปนเปื้อนของ PAHs ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติและดิน ไฟป่า และจากภูเขาไฟระเบิด ส่วน PAHs ที่มาจากการกระทำของมนุษย์ ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะเกิดในสถานะที่มีออกซิเจนจำกัด ทำให้สารประกอบอินทรีย์คาร์บอนไม่สามารถออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด เช่น การเผาไหม้ของยานพาหนะ การเผาขยะ การสูบบุหรี่ การเผาทุ่งหญ้า การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ กระบวนการแปรรูปและปรุงอาหาร ล้วนทำให้มีการแพร่กระจายของ PAHs สู่บรรยากาศ

PAHs ในบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคของฝุ่นและแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศ (Simcik et al., 1999) จากกระบวนการควบแน่นหรือการดูดซับ ทำให้เกิด PAHs ใน 2 สถานะ คือ สถานะก๊าซ และสถานะที่ดูดซับอยู่บนอนุภาคแขวนลอย ซึ่งจะอยู่ในสถานะใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับความดันไอของ PAHs จำนวนอนุภาคหรือพื้นที่ผิวที่ PAHs เกาะติดอยู่ และความคงตัวของ PAHs (ัญญัสสร ทงเย็น, 2552) และ PAHs บางชนิดสามารถระเหยจากดินหรือผิวน้ำสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว และเมื่ออนุภาคในชั้นบรรยากาศที่มี PAHs ปนเปื้อนร่วมอยู่ตกลงสู่พื้นดิน รวมกับ PAHs จากการจัดการของเสีย จากการใช้ปุ๋ย จากการเกิดอุบัติเหตุ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการปนเปื้อนของ PAHs ในดิน

สุดท้ายจากกระบวนการชะล้างตามธรรมชาติแล้วทำให้ PAHs ทั้งที่อยู่ในชั้นบรรยากาศและพื้นดิน ถูกชะล้างหรือพัดพาอนุภาคต่างๆ เหล่านี้ที่มี PAHs รวมอยู่ ลงมาปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ นอกจากนี้ PAHs ยังเข้าสู่แหล่งน้ำได้โดยตรงจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ และไหลมารวมกันที่ทะเลซึ่งเป็นแหล่งรองรับลำดับสุดท้าย ซึ่ง PAHs ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะรวมตัวกันหรือเกาะกับอนุภาคแขวนลอย และท้ายที่สุดก็ตกลงสะสมอยู่ในดินตะกอน (รูปที่ 2-4)



รูปที่ 2-4 แหล่งกำเนิดของการแพร่กระจายและการปนเปื้อน PAHs ในสิ่งแวดล้อม

## 2.2.8 การปนเปื้อน PAHs ในดินตะกอน

แหล่งกำเนิดของ PAHs ที่สะสมในดินตะกอนตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากการกระทำของมนุษย์ การปนเปื้อนของ PAHs ในแหล่งน้ำจะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ รวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ และสะสมที่ดินตะกอน จึงพบความเข้มข้นของ PAHs ในดินตะกอนสูงกว่าในน้ำ ดังนั้นดินตะกอนจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของ PAHs ได้ดีกว่าน้ำ (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) และเป็นตัวชี้วัดที่แปรผันตามเวลาน้อยกว่าน้ำ

PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) รวมตัวกับดินได้ดี ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของดิน (soil adsorption coefficient;  $K_{oc}$ ) Naphthalene เป็น PAHs ที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างดีกว่าตัวอื่น คือ ประมาณ 30 mg/l จึงรวมตัวกับดินได้น้อยกว่า PAHs ตัวอื่นๆ

สำหรับขนาดอนุภาคของดินตะกอนและปริมาณอินทรีย์สาร เป็นปัจจัยที่อาจแสดงถึงปริมาณการปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนทางอ้อม โดยกรณีที่มีการปนเปื้อนพอกัน ดินตะกอนที่มีอนุภาคละเอียดมากจะสะสมอินทรีย์สารมากกว่า รวมถึงสะสม PAHs ได้มากกว่าดินตะกอนที่มีขนาดอนุภาคหยาบกว่า (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) ในการศึกษาของ (Huang et al., 2012) พบว่า

การกระจายเชิงพื้นที่ของ PAHs มีความเฉพาะเจาะจงตามแต่ละพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับขนาดของดินตะกอน

จากการตรวจสอบและประเมินสภาพการปนเปื้อนโดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่ใน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง คลังน้ำมันและท่าเรือ โรงกลั่นน้ำมันศรีราชา ปากแม่น้ำเจ้าพระยา และปากแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง (เมษายน) และฤดูฝน (มิถุนายน-กรกฎาคม) ในปี 2541 พบว่า ปากแม่น้ำเจ้าพระยามีค่า PAHs สูงที่สุดในเขตนิคมอุตสาหกรรมจะมีช่วงการปนเปื้อนของ PAHs กว้างกว่าในฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสูงสุดจะสูงกว่าในฤดูแล้งมาก และบริเวณที่ใกล้นิคมอุตสาหกรรมจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ไกลนิคมอุตสาหกรรมออกไป (ตารางที่ 2-9) (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่, 2548)

เมื่อเปรียบเทียบระดับการปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนประเทศไทยกับต่างประเทศ พบว่าบริเวณ Kaohsiung Harbor ซึ่งเป็นท่าเรือน้ำลึกทางใต้ของประเทศไต้หวันมีค่า PAHs อยู่ในช่วง 472 – 16,201 ng/g dry weight (Chen and Chen, 2011) ซึ่งสูงกว่าประเทศอื่นรองลงมา คือ ปากแม่น้ำ Lenga ในประเทศชิลี (Pozo et al., 2011) (ตารางที่ 2-10)

ตารางที่ 2-9 ปริมาณ PAHs ในดินตะกอน (ng/g dry weight)

สถานี/พารามิเตอร์	PAHs
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ฤดูแล้ง)	1,860 – 7,380
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ฤดูฝน)	<1,850 – 12,200
นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง (ฤดูแล้ง)	3,230 – 7,090
นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง (ฤดูฝน)	1,910 – 12,450
โรงกลั่นน้ำมันศรีราชา (ฤดูฝน)	11,060 – 15,710
ปากแม่น้ำเจ้าพระยา (ฤดูแล้ง)	6,440 – 49,270
ปากแม่น้ำบางปะกง (ฤดูแล้ง)	290 – 11,830

ที่มา : (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่, 2548)

ตารางที่ 2-10 ผลการตรวจวัดปริมาณ PAHs (ng/g dry weight) ในดินตะกอนพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	อ้างอิง
Gulf of Mexico (Mexico)	ND – 1,033	140	(Wade et al., 2008)
mariculture (Hong Kong)	123 – 947	45	(Wang et al., 2010)
Lenga Estuary (central Chile)	290 – 6,118	2,025	(Pozo et al., 2011)
Mediterranean coastal (Egypt)	3.00 – 14,100	787	(Barakat et al., 2011)
Kaohsiung Harbor (Taiwan)	472 – 16,201	5,763	(Chen andChen, 2011)
Yangtze Estuary (China)	90.1 – 502	221	(Li et al., 2012)
Zhanjiang Bay (South China)	42.0 – 934	316	(Huang et al., 2012)
Leizhou Bay (South China)	22.0 – 320	104	(Huang et al., 2012)

### 2.2.9 ผลกระทบของ PAHs ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่า PAHs บางชนิดมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้นกับสัตว์น้ำหลายชนิด เมื่อทำการทดลองภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต คือ Anthracene, Fluoranthene และ Pyreneanthracene โดยพบว่าผลกระทบต่อน้ำจืด เช่น กุ้ง mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*) และหอยสองฝา (*Mulinia laterlis*) แต่ไม่มีผลต่อปลาปลุกิล (*Lepomis macrochirus*) (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547)

ส่วนผลกระทบที่มีต่อจุลินทรีย์ในดินนั้น พบว่าในดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันจะมีโครงสร้างจุลินทรีย์ต่างไปจากดินที่ไม่มีน้ำมันปนเปื้อน โดยทำให้มีแบคทีเรียแกรมลบมากขึ้น ส่วนในปลาพบว่า PAHs จะไปรบกวนระบบต่อมไร้ท่อ และมีผลกระทบต่อสเตอรอยด์ฮอร์โมนในกลุ่มอาร์โทรพอด และมีผลต่อการลอกคราบของปูคริสต์เตียนหลายชนิดที่สัมผัสกับน้ำมันมักมีการลอกคราบที่ผิดปกติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

### 2.2.10 การสลายตัวของ PAHs

1) การสลายตัวเนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet : UV)

PAHs มีความไวต่อการออกซิไดซ์โดยแสง (photo-oxidation) ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวโดยแสง (photodegradation) ของ PAHs คือ อุณหภูมิ ความเค็ม และชนิดของ PAHs

## 2) การย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์

เชื้อราที่ย่อยสลาย PAHs มีหลายกลุ่ม ได้แก่ ไฮโกไมซีท (เช่น *Cunninghamella elegans*) แอสโคไมซีท (เช่น *Aspergillus niger*) บาสิดิโอไมซีทแบบ white rot (เช่น *Phanerochaete chrysosporium*) และบาสิดิโอไมซีทแบบ brown rot (เช่น *Lentinus lepideus*) โดยทั่วไปเชื้อราไม่ได้ใช้ PAHs เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน เพียงแต่เปลี่ยนรูป (transformation) PAHs แต่ไม่ได้ย่อยสลาย PAHs อย่างสมบูรณ์ จนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ บาสิดิโอไมซีท แบบ white rot บางชนิดสามารถตัดวงอะโรมาติกและย่อยสลาย PAHs ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ แต่การย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำของราไม่ได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับแบคทีเรีย (วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์ and วราภรณ์ ฉุยฉาย, 2554)

## 3) กระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง

กระบวนการเมตาบอลิซึมของ PAHs เกิดขึ้นได้ในอวัยวะหลายชนิด ได้แก่ ตับ ปอด เยื่อหุ้มทางเดินหายใจ เยื่อหุ้มทางเดินอาหาร และผิวหนัง ส่วนใหญ่เมตาบอลิซึมของ PAHs จะเกิดขึ้นในตับ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องและมีความจำเพาะต่อเมตาบอลิซึมของ PAHs คือ aromatic hydrocarbon hydroxylase (AHH) ซึ่งจะเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ AHH จนได้ epoxide

## 2.3 พื้นที่ศึกษาบริเวณอ่าวไทย

### 2.3.1 สภาพทั่วไป

อ่าวไทยเป็นอ่าวที่อยู่ในทะเลจีนใต้ (มหาสมุทรแปซิฟิก) ล้อมรอบด้วยประเทศไทย มาเลเซีย กัมพูชา และเวียดนาม อ่าวไทยมีพื้นที่ 350,000 ตารางกิโลเมตร ชายฝั่งอ่าวไทยมีความยาว 1,840 กิโลเมตร มีความลึกเฉลี่ย 55 เมตร และลึกที่สุดเพียงประมาณ 85 เมตร บริเวณปากอ่าวไทยมีสันเขาใต้น้ำ ทำให้อ่าวไทยมีลักษณะกึ่งปิด การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำในอ่าวไทยกับน้ำในทะเลจีนใต้เป็นไปอย่างช้า น้ำจืดจำนวนมากจากแม่น้ำต่างๆ ที่ไหลลงอ่าวไทย ทำให้น้ำทะเลในอ่าวไทยมีระดับความเค็มต่ำ และมีตะกอนสูง

แนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยครอบคลุมพื้นที่ 17 จังหวัด ตั้งแต่ตำบลหาดเล็ก อำเภอกลองใหญ่ จังหวัดตราด จนถึงตำบลเจ๊ะเห อำเภอดงไถ่ จังหวัดนราธิวาส จังหวัดทั้ง 17 จังหวัด ประกอบด้วย ตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพฯ สมุทรสาคร

สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และ  
นราธิวาส แม่น้ำสายใหญ่ที่ไหลลงสู่อ่าวไทย ได้แก่

- แม่น้ำตราด จังหวัดตราด
- แม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี
- แม่น้ำระยอง จังหวัดระยอง
- แม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา
- แม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ
- แม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร
- แม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม
- แม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี
- แม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- แม่น้ำชุมพร จังหวัดชุมพร
- แม่น้ำปากพนัง ที่ไหลลงสู่อ่าวปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช
- แม่น้ำตาปี ที่ไหลลงสู่อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- ทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา
- แม่น้ำปัตตานี ที่ไหลลงสู่อ่าวปัตตานี จังหวัดปัตตานี
- แม่น้ำโกลก ที่กั้นชายแดนไทยและมาเลเซีย

ส่วนชายฝั่งทะเลอ่าวไทย มีลักษณะชายฝั่งที่แตกต่างกัน มีชุมชนตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก  
และมีการพัฒนาพื้นที่หลากหลายรูปแบบ ประกอบกับเป็นเขตชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลาย  
ด้านทั้งน้ำขึ้นน้ำลง กระแสน้ำ กระแสลมจากลมประจำถิ่นและลมมรสุมประจำปี ลักษณะภูมิประเทศ  
ที่ให้ตะกอนชายฝั่งแตกต่างกันออกไป โดยมีแม่น้ำขนาดใหญ่หลายสายเป็นตัวพัดพาตะกอนเหล่านั้น  
มาสู่ทะเล ลักษณะของชายฝั่งทะเลอ่าวไทยที่พบจึงมีทั้งหาดทรายและหาดเลน โดยบางพื้นที่ที่เป็น  
ช่วงรอยต่อก็จะพบหาดทรายปนเลน (ปริทัศน์ เจริญสิทธิ์, 2551)



### 2.3.2 สภาพภูมิอากาศและกระแสน้ำ

ลักษณะอากาศของอ่าวไทย ถูกกำหนดด้วยอิทธิพลของ 2 ลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest monsoon) และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast monsoon) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) เริ่มต้นประมาณปลายเดือนเมษายนหรือต้น พฤษภาคม จนกระทั่งอ่อนแรงลงในช่วงปลายเดือนกันยายน ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) จะเริ่มจากประมาณปลายเดือนตุลาคมจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ในช่วงระหว่างการเปลี่ยนแปลงของลมมรสุมทั้งสองหรือที่เรียกว่าช่วงรอยต่อลมมรสุม (Transition Period) จะมี 2 ช่วง คือ ช่วงระหว่างเดือนมีนาคมและเมษายน กับช่วงตุลาคม ในช่วงเวลาดังกล่าวลักษณะอากาศจะมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง อาจมีพายุฝนฟ้าคะนองหรือมีอากาศร้อนจัดได้

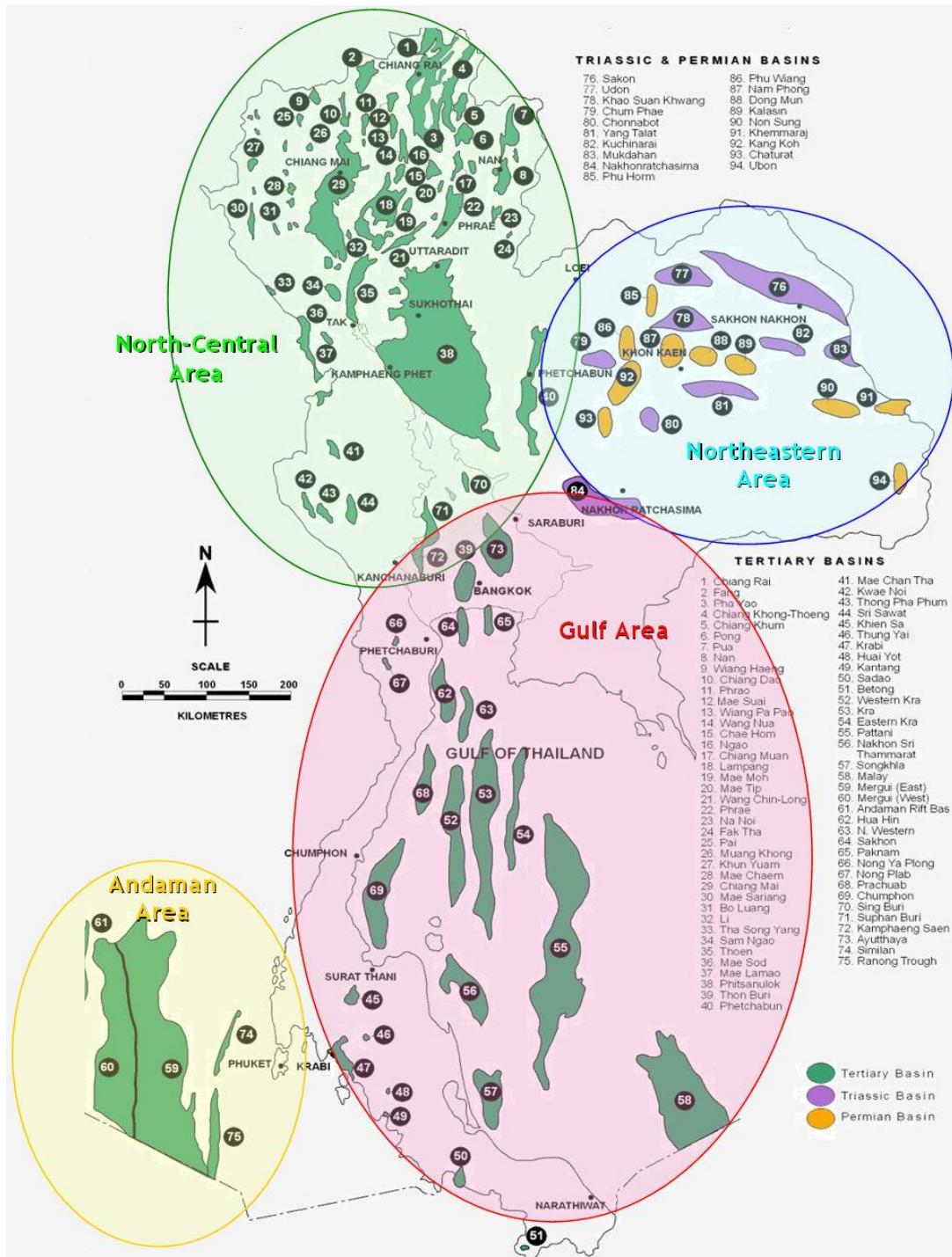
บริเวณอ่าวไทยตอนบนนับตั้งแต่แนวเส้นตรงที่ลากต่อระหว่างอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ กับเกาะเสม็ดสาร จังหวัดชลบุรี ขึ้นไปจนถึงบริเวณก้นอ่าว ซึ่งก็คือบริเวณชายฝั่งทะเลระหว่างปากแม่น้ำแม่กลองจนถึงปากแม่น้ำบางปะกง กระแสน้ำในบริเวณนี้มีลักษณะเป็นแบบกระแสน้ำขึ้นน้ำลง คือเวลาน้ำขึ้น กระแสน้ำมีทิศทางอยู่ในทิศเหนือและในเวลาน้ำลงกระแสน้ำมีทิศทางอยู่ทางทิศใต้ การหมุนเวียนของน้ำถูกควบคุมโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำ ในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือกระแสน้ำในบริเวณนี้จะวนเป็นวงตามเข็มนาฬิกา และในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำในบริเวณนี้จะวนเป็นวงทวนเข็มนาฬิกา โดยอิทธิพลของลมมรสุมทำให้น้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีการไหลเวียนอยู่ภายใน การถ่ายเทออกสู่ทะเลเปิดของอ่าวอาจเกิดขึ้นเฉพาะที่มวนน้ำระดับลึกบริเวณปากอ่าวตอนใต้เท่านั้น

สำหรับอ่าวไทยตอนล่าง ลักษณะการไหลเวียนของน้ำในอ่าวพบความสัมพันธ์กับลักษณะของลมมรสุม โดยในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าของกระแสน้ำผิวหน้าสูง และค่าของการไหลเวียนของน้ำจะมีลักษณะทวนเข็มนาฬิกา ส่วนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่าของกระแสน้ำผิวหน้าสูงจะต่ำ และการไหลเวียนน้ำจะมีลักษณะตามเข็มนาฬิกา (ปราโมทย์ โศจิศุภกร et al., 2546)

### 2.3.3 สภาพแวดล้อมทางด้านเศรษฐกิจของอ่าวไทย

พื้นที่ชายฝั่งและทะเลอ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างมาก ทั้งการเพาะเลี้ยง อุตสาหกรรมชายฝั่ง เกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง เป็นแหล่งขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากอ่าวไทยเป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางด้านทรัพยากรทางทะเล มีความหลากหลายทางชีวภาพ มีแนวป่าชายเลนที่เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำหลายชนิดที่เป็นอาหารของคนไทยแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่ง และมีแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญมากมาย

จากการสำรวจหาแหล่งปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย พบว่าลักษณะภูมิประเทศของท้องทะเลอ่าวไทยไม่ราบเรียบ แต่มีสัน (ridges) และแอ่ง (basins) มากมาย สันและแอ่งเหล่านี้วางตัวขนานกันไปในทางแนวเหนือ-ใต้ และจังหวัดนราธิวาสเป็นแนวแบ่งท้องทะเลอ่าวไทยออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านตะวันออก และด้านตะวันตก โดยด้านตะวันออกประกอบด้วยแอ่งที่สำคัญ 2 แอ่ง คือ แอ่งปัตตานี และแอ่งมาเลย์ ซึ่งตะกอนที่สะสมตัวในสองแอ่งนี้มีความหนาประมาณ 4 กิโลเมตร แอ่งในบริเวณนี้ ส่วนใหญ่เป็นแหล่งก๊าซธรรมชาติ (gas field) ที่สำคัญของประเทศ เช่น แหล่งบงกช แหล่งจักรวาล แหล่งพูนัน เป็นต้น ส่วนด้านตะวันตกของท้องทะเลอ่าวไทยประกอบด้วยแอ่งขนาดเล็กประมาณ 10 แอ่ง มีตะกอนที่สะสมตัวนั้นอยู่ในระดับตื้น มีความหนาประมาณ 300 เมตร แอ่งที่สำคัญและพบแหล่งปิโตรเลียม ได้แก่ แอ่งชุมพรและแอ่งสงขลา เป็นต้น สำหรับแอ่งอื่นๆ ได้แก่ แอ่งหัวหิน แอ่งประจวบคีรีขันธ์ แอ่งกระดำนตะวันตก และแอ่งกระดำนตะวันออก (รูปที่ 2-5) (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



ที่มา: <http://www2.dmf.go.th/bid20/images/001.jpg>

รูปที่ 2-5 แอ่งก้ำขรรรรมชาติและปิโตรเลียมในอ่าวไทย

### 2.3.4 การปนเปื้อนของ PHCs และ PAHs ในอ่าวไทย

การศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของ PAHs ในทะเลไทยมีไม่มากนัก เนื่องจากการเก็บตัวอย่างกลางอ่าวไทยมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก แต่ช่วง 20 กว่าปี ที่ผ่านมา แหล่งที่มาของปิโตรเลียมที่ปนเปื้อนลงสู่อ่าวไทยมีเพิ่มมากขึ้น ทั้งกิจกรรมสำรวจและขุดเจาะก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน หรือแม้แต่การขนส่งสินค้าทางทะเล แม้ว่าบริษัทน้ำมันที่รับสัมปทานในอ่าวไทยมีหน้าที่ติดตามตรวจสอบและรายงานผลคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามข้อกำหนดตามกฎหมาย แต่การศึกษายังจำกัดอยู่เฉพาะรอบแท่นขุดเจาะปิโตรเลียม และค่าปิโตรเลียมที่รายงานอยู่ในหน่วย chrysene equivalent ซึ่งมีค่าใช้จ่ายและเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยกว่าการวิเคราะห์แบบจำแนกชนิดและปริมาณของ PAHs แต่ละชนิด ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษาเหล่านี้มักไม่เปิดเผย

การศึกษาการปนเปื้อนของ PHCs ในอ่าวไทย เริ่มมีขึ้นประมาณปี พ.ศ. 2520 ซึ่งในช่วงแรกยังเป็นการหาปริมาณ PHCs และรายงานในรูป chrysene equivalent ซึ่งตรวจวัดด้วยวิธี fluorescence โดยพบว่าการปนเปื้อนของ PHCs ในน้ำทะเลอ่าวไทยมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในเกือบทุกพื้นที่ศึกษา ยกเว้นบริเวณปากทะเลสาบสงขลาในเดือนสิงหาคม 2547 ที่พบช่วงการปนเปื้อน PHCs ค่อนข้างสูง และรองลงมาเป็นบริเวณชายฝั่งระยอง (ตารางที่ 2-11(ก)) เช่นเดียวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนในดินตะกอนก็พบค่า PHCs สูงสุดบริเวณชายฝั่งระยอง และปากทะเลสาบสงขลา (ตารางที่ 2-11(ข)) ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของ PHCs เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นเส้นทางของเรือประมง และมีการคมนาคมขนส่งทางทะเลหนาแน่น จากการศึกษาการสะสมของ PHCs ผ่านห่วงโซ่อาหารมาสู่สิ่งมีชีวิตในทะเล พบว่าการปนเปื้อนของ PHCs ในสัตว์ทะเลจำพวกหอยที่เลี้ยงบริเวณชายฝั่งชลบุรี แถบ อำเภอสัตหีบ และเกาะสีชัง มีการปนเปื้อนที่ค่อนข้างสูง (ตารางที่ 2-11(ค))

สำหรับการศึกษาการปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนจากพื้นที่ต่างๆ ของอ่าวไทยนั้น พบว่ามีการปนเปื้อนในระดับที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันเกือบทุกพื้นที่และมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลา (ตารางที่ 2-12) แต่มีบางพื้นที่พบการปนเปื้อนที่สูงกว่าพื้นที่อื่นมาก ได้แก่ ดินตะกอนจากคลองในกรุงเทพฯ ซึ่งมี PAHs ปนเปื้อนสูงกว่าดินตะกอนจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาและจากชายฝั่ง ทั้งนี้การปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนลดลงตามลำน้ำเมื่อออกสู่อ่าวไทย เนื่องจากคลองในกรุงเทพฯ เป็นแหล่งชุมชน มีเรือหางยาวและเรือโดยสารต่างๆ หนาแน่น (Boonyatumanond et

al., 2006) นอกจากนี้ ยังพบว่าดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างจากบริเวณเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี มีการปนเปื้อนของ PAHs ที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณหน้าเกาะสีชังซึ่งเป็นท่าเทียบเรือขนาดใหญ่ และพบการปนเปื้อนของ PAHs ชนิดที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ (วงแหวน 4-6 วง) มากกว่า PAHs โครงสร้างขนาดเล็ก (วงแหวน 2-3 วง) ในทุกสถานี ซึ่งบ่งชี้ว่าแหล่งที่มาของ PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Wattayakorn and Boonperm, 2014)

ตารางที่ 2-11 ปริมาณ PHCs ในน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำพื้นที่ต่างๆ ในประเทศไทย  
(ก) น้ำทะเล

พื้นที่	µg/L Chrysene equivalent		อ้างอิง
	เฉลี่ย	ต่ำสุด - สูงสุด	
อ่าวไทย		0.37 - 1.42	(มนูวดี หังสพฤกษ์, 2552)
อ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งตะวันออก		0.06 - 6.10	(เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล and ศุภวัตร ลี้ม, 2527)
อ่าวไทย		0.07 - 8.30	(กัลยา วัฒยากร, 2530)
ชายฝั่งทะเลตะวันออก		0.02 - 2.05	(อัศวิน สิมะขจรบุญ, 2530)
ชายฝั่ง จังหวัดระยอง		0.05 - 11.8	(กฤตยาพร ทักษะทัต, 2538)
เกาะสีชัง (ตุลาคม 2540)	4.19	3.40 - 4.96	(พรพิศ ชูศรี, 2540)
เกาะสีชัง (กุมภาพันธ์ 2541)	3.16	1.86 - 3.82	
อ่าวเพ จังหวัดระยอง	0.61 ± 0.26	0.25 - 1.03	(สุธิดา สุวรรณโกสม, 2544)
ปากทะเลสาบสงขลา (สิงหาคม 2547)		3.2 - 341.0	(จริยา อ่อนทอง, 2549)
ปากทะเลสาบสงขลา (พฤศจิกายน 2547)		0.70 - 6.31	

(ข) ดินตะกอน

พื้นที่	µg/g dry weight Chrysene equivalent		อ้างอิง
	เฉลี่ย	ต่ำสุด - สูงสุด	
อ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งตะวันออก		0.06 - 2.16	(เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล and ศุภวัตร ลี้ม, 2527)
ชายฝั่งทะเลตะวันออก		0.01 - 1.82	(อัศวิน สิมะขจรบุญ, 2530)
เกาะสีชัง (ตุลาคม 2540)	0.55	0.45 - 0.64	(พรพิศ ชูศรี, 2540)
เกาะสีชัง (กุมภาพันธ์ 2541)	0.58	0.37 - 0.76	
อ่าวเพ จังหวัดระยอง	1.53 ± 2.39	0.09 - 6.38	(สุธิดา สุวรรณโกสม, 2544)
ปากทะเลสาบสงขลา (สิงหาคม 2547)		1.96 - 4.03	(จริยา อ่อนทอง, 2549)
ปากทะเลสาบสงขลา (พฤศจิกายน 2547)		1.36 - 4.35	

## ตารางที่ 2-11 (ต่อ)

## (ค) สิ่งมีชีวิต

พื้นที่	µg/g dry weight Chrysene equivalent		อ้างอิง
	เฉลี่ย	ต่ำสุด – สูงสุด	
อ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งตะวันออก ปลาเกะ ( <i>Polynemus</i> sp.) ปลาอินทิมหา ( <i>Cynoglossus</i> sp.) ปลาจาระเม็ดดำ ( <i>Parastramateur niger</i> ) หอยลาย ( <i>Paphia undulata</i> ) หอยแมลงภู่ ( <i>Perna viridis</i> ) หอยแครง ( <i>Anadara granosa</i> )	0.12 0.60 0.42 0.46 0.06 2.38		(เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล and ศุภวัตร ลิ้ม, 2527)
หอยนางรม อ่างศิลา		0 – 3.94	(ศศิวิมล ไชยณรงค์, 2551)
หอยแมลงภู่ เกาะสีชัง (ธันวาคม 2551) หอยแมลงภู่ เกาะสีชัง (กรกฎาคม 2552) หอยแมลงภู่ อ่าวศรีราชา (ธันวาคม 2551) หอยแมลงภู่ อ่าวศรีราชา (กรกฎาคม 2552) หอยกระปุก เกาะสีชัง (ธันวาคม 2551) หอยกระปุก เกาะสีชัง (กรกฎาคม 2552)	10.4 15.5 8.52 51.3 11.1 12.2		(สมภพ รุ่งสุภา, 2553)

## ตารางที่ 2-12 ผลการตรวจวัดปริมาณ PAHs ในดินตะกอนพื้นที่ต่างๆในประเทศไทย

พื้นที่	µg/g dry weight		อ้างอิง
	เฉลี่ย	ต่ำสุด – สูงสุด	
แม่น้ำท่าจีน นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ตุลาคม) นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (มิถุนายน) ชายฝั่ง จังหวัดระยอง อ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร	2.71 0.33 0.69 0.28 2.44 0.43	0.01 – 0.08 0.006 – 0.87 0.27 – 1.87 trace – 1.66 1.31 – 3.59 0.22 – 1.52	(เกศินี สรรวานิช, 2534) (พรศรี สุทธนารักษ์, 2534) (กฤตยาพร ทัพพะทัต, 2538) (วราภรณ์ ศรีมูล, 2544) (จิราณีย์ ไชยปรีวงศ์, 2544)
คลองในกรุงเทพฯ แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำเจ้าพระยา ชายฝั่งอ่าวไทย	2.29 ± 2.55 0.26 ± 0.17 0.18 ± 0.22 0.05 ± 0.06	0.51 – 8.34 0.03 – 0.59 0.03 – 0.72 0.006 – 0.22	(Boonyatumanond et al., 2006)
ทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา	0.04 ± 0.03	0.01 – 0.15	(วรบุษย ดีละมัน, 2552)
นอกชายฝั่งเขาหลัก จังหวัดพังงา	0.07 ± 0.04	0.01 – 0.27	(Tipmanee et al., 2012)
เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี	285(Median)	0.07 – 18.97	(Wattayakorn andBoonperm, 2014)

## 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร

### 2.4.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis

เทคนิค Principle Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหรือปัจจัย (factor analysis) ทางสถิติของการวิจัยที่มุ่งลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่จำนวนมาก เนื่องจากตัวแปรบางตัวอาจมีคุณสมบัติในการอธิบายลักษณะของข้อมูลเหมือนกันได้ ตัวแปรบางตัวไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มได้ตัวแปรในลักษณะนี้อาจจะต้องตัดทิ้งไป หรือตัวแปรบางตัวที่มีลักษณะหรือมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน จะถูกจัดรวมกลุ่มเป็นกลุ่มเดียวกัน เรียกตัวแปรที่จัดเข้ากลุ่มเดียวกันว่า องค์ประกอบหรือปัจจัย (factor) การวิเคราะห์การรวมกลุ่มของตัวแปรจะดูที่ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร ซึ่งอาจจะสัมพันธ์กันในทางบวกหรือทางลบก็ได้ ลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้น จะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือเป็นตัวแปรที่อยู่ในมาตรวัดอันตรภาค (interval scale) เป็นอย่างต่ำ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบมีเหตุผลให้ได้จำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุด เพื่ออธิบายความผันแปรของข้อมูลให้ได้มากที่สุด โดยที่การวิเคราะห์องค์ประกอบจะไม่มีตัวแปรใดเป็นอิสระหรือตัวแปรตาม ในการวิเคราะห์จะเป็นการศึกษาลักษณะการรวมตัวของกลุ่มตัวแปรในลักษณะเชิงเส้นตรง (linear combination) (ยูทธ ไกยวรรณ, 2556)

### 2.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis

เทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA) เป็นเทคนิคของการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) ทางสถิติวิธีหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถจัดกลุ่มคุณสมบัติตัวแปรของหน่วยที่นำมาวิเคราะห์ โดยยึดหลักของสิ่งที่เหมือนกันควรจะต้องอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยสิ่งที่เหมือนกันอาจจะไม่เหมือนกันทุกประการ หรือความเหมือนกันมาน้อย ถือเป็นความเหมือนกันเชิงสัมพัทธ์ (relative homogeneity) และสำหรับการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยวิธีเวิร์ด (Ward's method) เป็นวิธีการจัดกลุ่มด้วยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของทุกตัวแปรในกลุ่ม จากนั้นจะคำนวณหาค่าความห่างยูคลิเดียนกำลังสอง (Square Euclidean Distance) จากค่าเฉลี่ยของกลุ่ม (cluster mean) ของแต่ละสมาชิก และนำเอาความห่างเหล่านี้มารวมกันทุกสมาชิกในแต่ละขั้น โดย 2 กลุ่มที่รวมกันที่มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดของผลรวมทั้งหมดของความห่างภายในกลุ่ม (ยูทธ ไกยวรรณ, 2556)

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

เก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าครอบคลุมพื้นที่น่านน้ำไทยทั้งหมดของอ่าวไทย ระหว่างเส้นรุ้ง (latitude)  $6^{\circ}20'$  ถึง  $12^{\circ}55'$  เหนือ และเส้นแวง (longitude)  $99^{\circ}15'$  ถึง  $102^{\circ}30'$  ตะวันออก ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2554 และเดือนพฤษภาคม 2555 ถึง มิถุนายน 2555 ภายใต้โครงการวิจัยร่วมไทย-จีน เรื่อง Vulnerability of Coastal Zones โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างมีความลึกที่สุดประมาณ 85 เมตร และเฉลี่ยอยู่ที่ 55 เมตร

กำหนดจุดเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Systematic Grid Sampling (แต่ละสถานีห่างกันประมาณ 30 กิโลเมตร) จำนวนทั้งสิ้น 144 สถานี ดังนี้

- อ่าวไทยตอนกลาง 76 สถานี (สถานี 1 - 95)
- อ่าวไทยตอนล่าง 68 สถานี (สถานี 97 - 191)

พิกัดตำแหน่งสถานี ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างดินตะกอน และความลึกของน้ำทะเลในแต่ละสถานี แสดงไว้ในตาราง ก-1 ในภาคผนวก ก และตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3-1

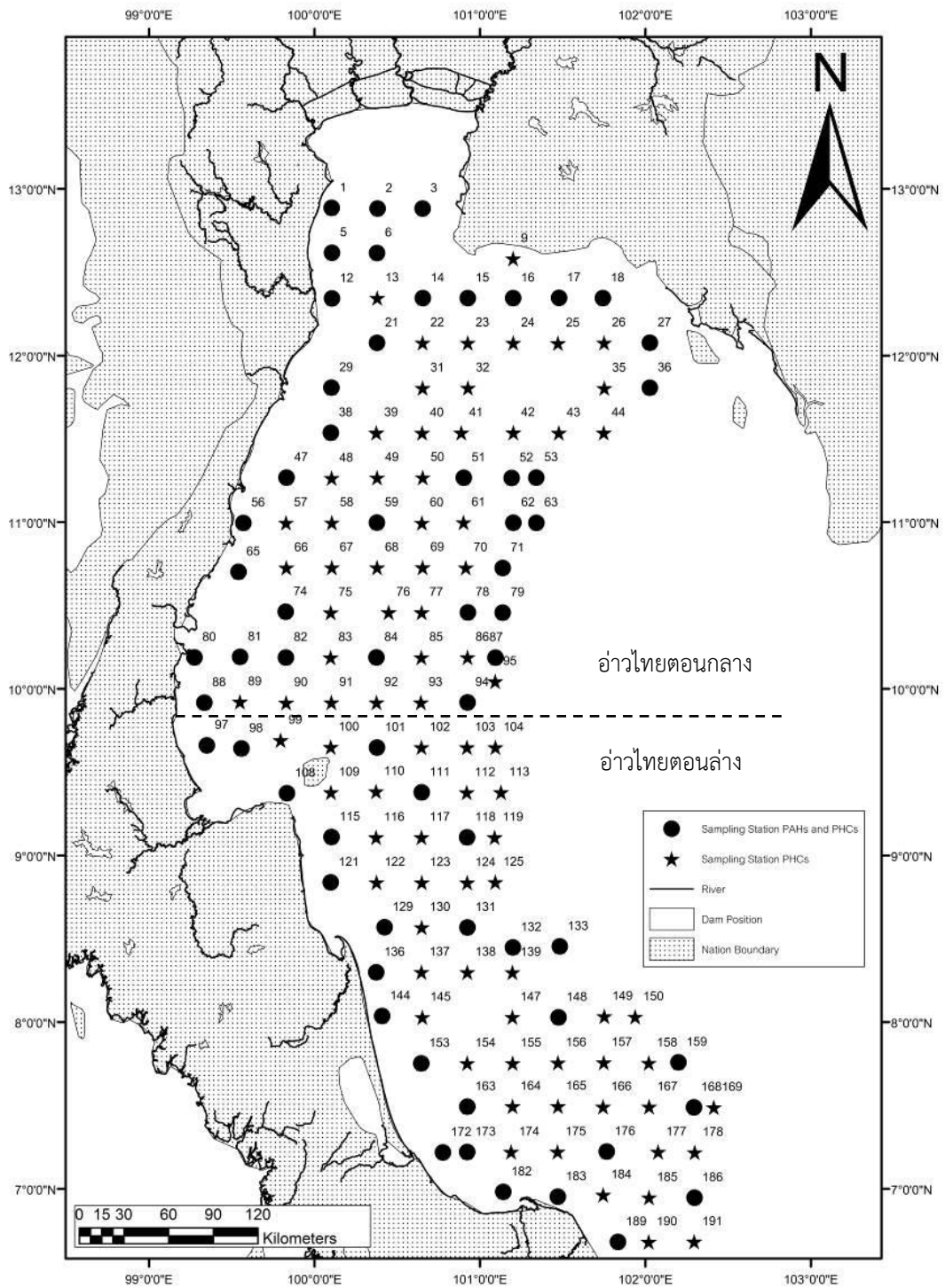
#### 3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดินตะกอน

เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือเก็บดินตะกอนผิวหน้าชนิด Box Corer (รูปที่ 3-2) โดยเก็บตัวอย่างดินตะกอนที่ผิวหน้า (ระดับ 0-10 เซนติเมตร) ด้วยข้อสแตนเลส ใส่อะลูมิเนียมฟอยด์ ท่อให้มิดชิด บรรจุลงถุงซิปล็อค ริดไล่อากาศออกให้หมด ปิดให้สนิท (รูปที่ 3-3) บันทึกรายละเอียดของสถานีและวันที่เก็บตัวอย่าง นำไปเก็บรักษาที่ตู้แช่  $-20^{\circ}\text{C}$  ในเรือ เพื่อนำกลับห้องปฏิบัติการ

#### 3.3 การเตรียมตัวอย่างดินตะกอน

นำตัวอย่างดินตะกอนไปทำให้แห้งด้วยวิธี freeze dry เก็บใส่ desiccator เพื่อรอการวิเคราะห์หาปริมาณ PHCs และ PAHs เลือกเศษไม้เศษเปลือกหอยในตัวอย่างดินตะกอน จากนั้นแบ่งตัวอย่างมาบดด้วย agate mortar ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

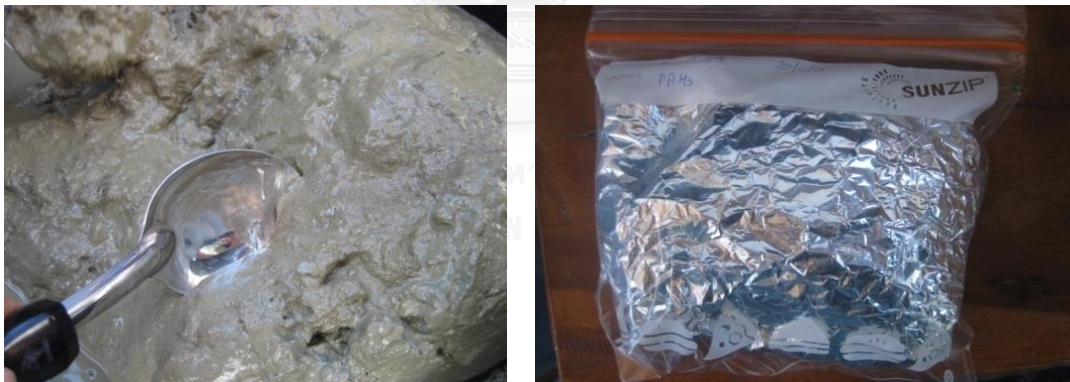




รูปที่ 3-1 จุดเก็บตัวอย่างดินตะกอนในอ่าวไทย (เขตน่านน้ำไทย)



รูปที่ 3-2 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บดินตะกอน (Box Corer)



รูปที่ 3-3 การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

### 3.4 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่าง

สำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ วิเคราะห์ปริมาณ PHCs จำนวน 144 สถานี และในจำนวนนี้เลือกตัวอย่างจากสถานีชายฝั่ง สถานีใกล้แหล่งกิจกรรมปิโตรเลียม และสถานีกลางอ่าว รวม 62 สถานี เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs 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]P

#### 3.4.1 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ PHCs

ชั่งดินตะกอนแห้งประมาณ 10 g ลงใน thimble ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง บนที่ก้นน้ำหนักรที่แน่นอน สกัดตัวอย่างดินตะกอนด้วยวิธีสกัดแบบ soxhlet โดยใช้ dichloromethane (DCM) เป็นตัวทำละลาย สกัดต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (รูปที่ 3-4(ก)) นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator จนเหลือประมาณ 2 ml (รูปที่ 3-4(ข)) ถ่ายสารละลายที่เหลือใส่ขวดสีชา แล้วนำไปลดปริมาตรโดยเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน (รูปที่ 3-4(ค)) เพื่อระเหยตัวทำละลายให้เหลือประมาณ 100-200  $\mu$ l จากนั้นเปลี่ยนตัวทำละลายเป็น hexane

นำสารละลาย hexane ที่ได้ ไปสกัดแยกส่วนไฮโดรคาร์บอน และ clean-up ด้วยวิธี column chromatography โดยใช้ silica gel column (รูปที่ 3-4(ง)) ชะด้วยสารละลายผสมระหว่าง hexane และ DCM ในสัดส่วน 6 : 4 (ดูรายละเอียดวิธีการเตรียม silica gel column และการ clean up ในภาคผนวก ข) นำสารละลายที่ผ่าน column ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator และเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายให้เหลือประมาณ 100-200  $\mu$ l เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น hexane และปรับปริมาตรให้เป็น 5 ml ก่อนนำไปวัดหาปริมาณ PHCs โดยเทียบกับสารละลายมาตรฐาน chrysene ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.5 (IOC/UNESCO, 1982)

#### 3.4.2 การสกัดดินตะกอนและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs

ชั่งดินตะกอนแห้งประมาณ 5 g ลงใน thimble ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง บนที่ก้นน้ำหนักรที่แน่นอน สกัดตัวอย่างดินตะกอน ด้วยวิธีสกัดแบบ soxhlet โดยใช้ DCM เป็นตัวทำ

ละลาย และเติมสารมาตรฐาน deuterated-PAHs 4 ชนิด ได้แก่ Deuterated-Acenaphthene ( $D_{10}$ -Ace), Deuterated-Phenanthrene ( $D_{10}$ -Phe), Deuterated-Chrysene ( $D_{12}$ -Chry) และ Deuterated-perylene ( $D_{12}$ -Per) ที่ทราบปริมาณแน่นอน เพื่อเป็น internal standards สกัดดินตะกอนต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

นำสารละลายที่สกัดได้ ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator จนเหลือประมาณ 2 ml และถ่ายสารละลายที่เหลือใส่ขวดสีชา นำไปลดปริมาตรโดยเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อระเหยตัวทำละลายให้เหลือประมาณ 100-200  $\mu$ l เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น hexane นำสารละลาย hexane ที่ได้ไปสกัดแยกส่วนไฮโดรคาร์บอน และ clean-up ด้วยวิธี column chromatography โดยใช้ silica gel column ซะด้วยสารละลายผสมระหว่าง hexane : toluene ในสัดส่วน 6 : 4 เพื่อแยก aliphatic hydrocarbon และ PAHs ออกจากกัน (ดูรายละเอียดวิธีการเตรียม silica gel column และการแยก aliphatic hydrocarbon และ PAHs ในภาคผนวก ข) นำสารละลายที่ผ่าน column ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator ถ่ายใส่หลอด centrifuge tube และเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายจนเกือบแห้ง (รูปที่ 3-4 (จ)) เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น cyclo-hexane ให้เหลือประมาณ 100-200  $\mu$ l ถ่ายใส่ขวด screw vial ชนิดฝาเป็น silicone septa (รูปที่ 3-4(ฉ)) (Gogou et al., 1997)

### 3.5 การวิเคราะห์ปริมาณ PHCs ในดินตะกอน

วิเคราะห์ปริมาณ PHCs ในสารละลาย hexane ที่ได้จากหัวข้อ 3.4.1 ในหน่วย chrysene equivalent โดยวัดค่า fluorescence ของสารละลาย ด้วยเครื่อง Fluorescence Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LS55 (รูปที่ 3-5) ตั้งค่าความยาวคลื่นสถานะกระตุ้น (excitation) ที่ 310 nm และค่าความยาวคลื่นสถานะเปล่งออก (emission) ที่ 360 nm โดยเทียบกับค่า fluorescence ของสารละลายมาตรฐาน chrysene ใน hexane (IOC/UNESCO, 1982)

กราฟมาตรฐาน chrysene เตรียมจากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.04, 0.08, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1  $\mu$ g/ml โดยเตรียมจาก stock solution ของ chrysene เข้มข้น 10  $\mu$ g/ml ใน hexane (รูปที่ 3-6)



(ก)



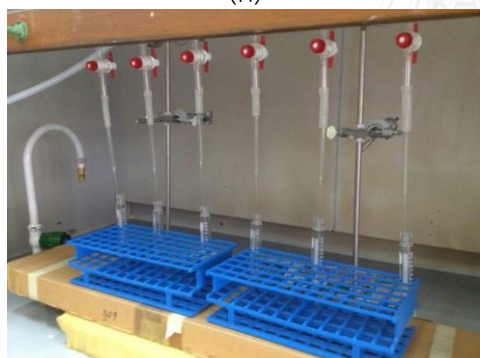
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

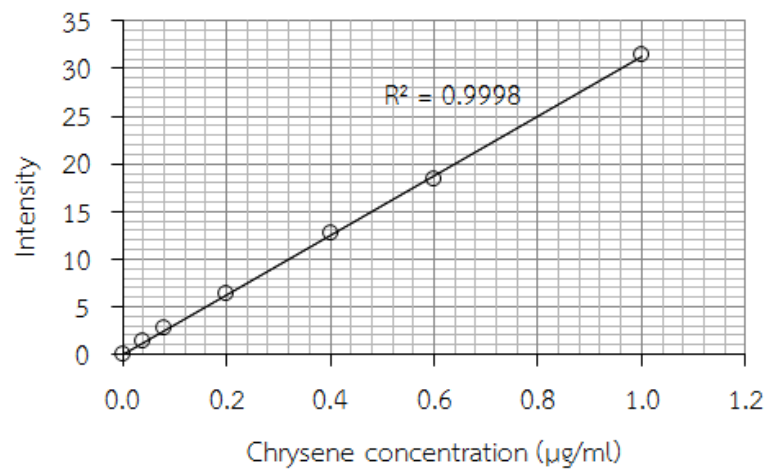
รูปที่ 3-4 อุปกรณ์และขั้นตอนในการสกัด PHCs และ PAHs ในดินตะกอน

- (ก) การสกัดดินตะกอนด้วยวิธีสกัดแบบ Soxhlet
- (ข) การลดปริมาตรสารละลายภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง Rotary Evaporator
- (ค) การเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลาย
- (ง) การสกัดแยกส่วนด้วยวิธี column chromatography โดยใช้ silica gel column
- (จ) การเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อระเหยตัวทำละลายใน centrifuge tube
- (ฉ) ขวด screw vial ชนิดฝาเป็น silicone septa ที่ใช้สำหรับบรรจุสารละลาย PAHs สุดท้ายก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS





รูปที่ 3-5 เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer



รูปที่ 3-6 กราฟมาตรฐาน chrysene

การคำนวณหาความเข้มข้นของ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอนจากกราฟของสารละลายมาตรฐาน chrysene ดำเนินการโดยนำค่า Intensity และค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chrysene มาสร้างกราฟมาตรฐานตามรูปที่ 3-6 ซึ่งจะได้สมการเส้นตรง ตามสมการ 3-1

$$Y = mX \quad (3-1)$$

กำหนดให้  $Y =$  Fluorescence Intensity  
 $X =$  ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน chrysene ( $\mu\text{g/ml}$ )  
 $m =$  ความชันของสมการเส้นตรง

จากความสัมพันธ์ข้างต้นตามสมการ 3-1 สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของ PHCs ในสารละลาย hexane ของแต่ละตัวอย่างในหน่วย  $\mu\text{g/ml}$  จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของ PHCs ในดินตะกอนตามสมการ 3-2 จะได้ความเข้มข้นของ PHCs ในดินตะกอน ในหน่วย  $\mu\text{g/g dry weight}$  (chrysene equivalent) หลังจากนั้นแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยกราฟการแพร่กระจาย PHCs ด้วยโปรแกรม ArcGIS

$$\text{ความเข้มข้นของ PHCs} = \frac{X \times A}{B} \quad (3-2)$$

กำหนดให้  $X =$  ความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนตัวอย่าง ( $\mu\text{g/ml}$ )  
 $A =$  ปริมาตรสุดท้ายหลังสกัด (ml)  
 $B =$  น้ำหนักแห้งของดินตะกอนตัวอย่าง (g)

### 3.6 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในดินตะกอน

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในสารละลาย cyclohexane ที่ได้จากหัวข้อ 3.4.2 ด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrophotometer Ion-Trap Detector (GC/MS–Ion-Trap) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 5975C (รูปที่ 3-7) ใน mode selective ion monitor ซึ่ง target compound จะถูกแยกโดย Agilent J&W Scientific DB-5MS GC column (30 m  $\times$  0.32 mm i.d. capillary column, 1.00  $\mu\text{m}$  thick film) โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องตามตารางที่ 3-1 (Tipmanee et al., 2012)

การคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอน อาศัย Deuterated-PAHs 4 ชนิด ที่ใช้เป็น Internal Standard (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.2) โดยอัตราส่วนระหว่าง peak area ของ Native-PAHs ในตัวอย่าง กับ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง มีค่าเท่ากับอัตราส่วน

ระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง  
 ดังสมการ 3-3 และ 3-4



รูปที่ 3-7 เครื่อง GC/MS-Ion-Trap Agilent Technologies 5975C

ตารางที่ 3-1 สถานะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–  
 Ion-Trap (Agilent Technologies 5975C) ในการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของ PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	คอลัมน์แคปิลลารี (capillary column) รุ่น CP-5865 ยาว 30 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 mm ความหนาของฟิล์มเคลือบ 1 $\mu\text{m}$
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 ml/min
	อุณหภูมิของ Injector	250°C
	อุณหภูมิของ Transfer line	250°C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 $\mu\text{m}$ (splitless liner)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค ( $\text{EI}^+$ )
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)



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

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

น้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ ความเข้มข้นของ Native-PAHs คูณด้วย Relative Response Factor และปริมาณตัวอย่างดินตะกอน ดังสมการ 3-5

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

แทนค่าสมการ 3-4 ในสมการ 3-5 จะได้สมการ 3-6 เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอน

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

กำหนดให้  $C_{Nat}$  = ความเข้มข้นของ Native-PAHs ในตัวอย่าง (ng/g)

$A_{Nat}$  = 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 (ng)

RRF = Relative Response Factor หาได้จากสัดส่วนระหว่างพื้นที่ peak ของ standard-PAHs ต่อพื้นที่ peak ของ Deuterated-PAHs

V = ปริมาณตัวอย่างตะกอนดิน (g)

### 3.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

#### 3.7.1 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PHCs

##### ก) ความแม่นยำในการวิเคราะห์

ตรวจสอบความแม่นยำ (precision) ในการวิเคราะห์ PHCs โดยสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ 10% ของตัวอย่างทั้งหมด เพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสัมพัทธ์ (Relative Percent Difference; %RPD) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ PHCs ตามสมการ 3-7 ในการศึกษานี้วิเคราะห์ซ้ำ 15 สถานี จาก 144 สถานี เกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ %RPD น้อยกว่า 10%

$$\%RPD = \frac{|x_1 - x_2| \times 100}{\bar{X}} \quad (3-7)$$

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

##### ข) ความถูกต้องในการวิเคราะห์

ตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) ของการวิเคราะห์ PHCs โดยการเติมสารมาตรฐาน chrysene ที่มีความเข้มข้น 2  $\mu\text{g/ml}$  ปริมาตร 1 ml ลงในตัวอย่างตะกอนดินสถานี 150 แล้วทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง ทำการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%recovery) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 3-8

$$\% \text{ recovery} = \frac{C_1 - C_0}{C_A} \times 100 \quad (3-8)$$

กำหนดให้  $C_1$  = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างรวมกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมแล้ววิเคราะห์ได้  
 $C_0$  = ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้  
 $C_A$  = ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติม

ค) Limit of detection

Limit of detection (LOD) ของเครื่อง คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้หาโดยการวัดค่า fluorescence ของตัวทำละลาย hexane 10 ครั้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation; SD) และคำนวณหา Limit of detection ตามสมการ 3-9

$$\text{LOD} = \text{Mean ของ blank} + 3\text{SD} \quad (3-9)$$

ง) Limit of quantitation

หา Limit of quantitation (LOQ) ที่เป็นความเข้มข้นน้อยที่สุดซึ่งเครื่องมือวิเคราะห์จะวัดได้ โดยมีความแม่นยำและความถูกต้องที่ยอมรับได้ ซึ่งหาได้จากสมการ 3-10

$$\text{LOQ} = \text{Mean ของ blank} + 10\text{SD} \quad (3-10)$$

### 3.7.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs

ก) ความแม่นยำ (precision) ในการวิเคราะห์

ตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ โดยสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ 10% ของตัวอย่าง ทั้งหมด ในการศึกษานี้วิเคราะห์ซ้ำทั้งสิ้น 6 สถานี จาก 62 สถานี หาค่า %RPD ตามสมการ 3-7 เกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับสารปนเปื้อนปริมาณน้อย คือ %RPD น้อยกว่า 20%

ข) ความถูกต้อง (accuracy) ในการวิเคราะห์

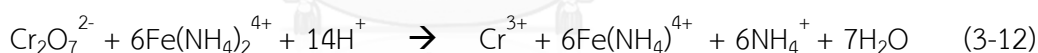
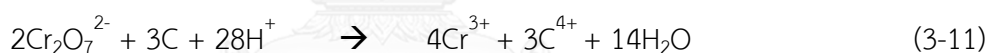
ตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ PAHs 2 วิธี คือ

- โดยการเติม internal standard ในทุกตัวอย่าง ที่สกัดและวิเคราะห์ด้วย GC-MS (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.2)
- โดยการสกัดและวิเคราะห์ Standard Reference Material (SRM) 1941b organics in marine sediment 0.5 กรัม ด้วยวิธีการเดียวกับตัวอย่าง ทำซ้ำทั้งสิ้น 8 ครั้ง คำนวณ %recovery ได้จากสมการ 3-8

### 3.8 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย

วิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (readily oxidizable organic matter) ด้วยวิธี Walkley Black Method (Loring and Rantara, 1995) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะจำเพาะกับคาร์บอนอินทรีย์ประเภทฮิวมัส (humus) แต่จะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ยาก ได้แก่ แกรไฟต์ (graphite) ถ่านหิน (coal) และคาร์บอนที่เฉื่อยต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นคาร์บอนที่สามารถออกซิไดซ์ได้ง่าย รายละเอียดในการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ในการวิเคราะห์จะเติมไดโครเมต (dichromate;  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) ให้มีปริมาณที่มากเกินไปที่จะออกซิไดซ์คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในตะกอนดิน คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับไดโครเมตในสภาวะที่เป็นกรด ตามสมการ 3-11 เมื่อคาร์บอนอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์หมด วิเคราะห์หาปริมาณไดโครเมตที่เหลือโดยปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของไดโครเมตกับสารละลายเฟอร์รัส (ferrous solution) ดังสมการ 3-12 โดยใช้ไดฟีนิลลามีนเป็นอินดิเคเตอร์



### 3.9 การวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบขนาดอนุภาคดินตะกอน

ใช้ดินตะกอนแห้งประมาณ 10 กรัม กำจัดสารอินทรีย์ด้วย 10% (v/v) hydrogen peroxide และกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย 50% (v/v) HCl นำตะกอนที่ปราศจากสารอินทรีย์และอินทรีย์คาร์บอนไปอบและชั่งน้ำหนัก ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี gravimetric method โดยการร่อนเปียกผ่านตะแกรงร่อน (wet sieving) ขนาดรูเปิด 63  $\mu\text{m}$  เพื่อแยกขนาดอนุภาคทราย (sand) (>63  $\mu\text{m}$ ) ไว้บนตะแกรง อนุภาคขนาดเล็กกว่า (<63  $\mu\text{m}$ ) จะลอดผ่านตะแกรง ซึ่งจะนำไปแยกอนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) (2  $\mu\text{m}$  – 63  $\mu\text{m}$ ) และอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) (<2  $\mu\text{m}$ ) ออกจากกันโดย sedimentation method ด้วยการปล่อยให้ตกตะกอนอย่างอิสระในของเหลว โดยระยะทางที่อนุภาคแต่ละขนาดจะตกตะกอน ณ เวลาต่างๆ มีความสัมพันธ์กันตามกฎสโตก (Stoke's Law) (Sompongchaiyakul, 1989) รายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข

### 3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

#### 3.10.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา

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

#### 3.10.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร

เฉพาะข้อมูล PAHs นำมาวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติแบบหลายตัวแปร (multivariate analysis) 2 แบบ คือ Principle Component Analysis (PCA) และ Hierarchical Cluster Analysis (HCA) เพื่อแปลผลร่วมกัน

##### ก) วิเคราะห์ Principle Component Analysis

วิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานโดยใช้ PCA เพื่อให้ทราบว่า PAHs แต่ละชนิดมีการรวมตัวกันอย่างไร เพื่อป้องกันแหล่งกำเนิดของ PAHs อีกวิธีหนึ่ง หรือดูการรวมตัวของสถานีที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของ PAHs การศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม SPSS 16.0 เลือกใช้ องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1.0

##### ข) วิเคราะห์ Hierarchical Cluster Analysis

แบ่งกลุ่มสถานีที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของ PAHs โดยใช้ Hierarchical Cluster Analysis (HCA) โดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0 เลือกใช้ Square Euclidean Distance วัดระยะห่างระหว่าง case แต่ละคู่ และเลือกใช้ Ward's method เป็นหลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม แสดงผลการแบ่งกลุ่มของสถานีด้วยกราฟ Dendogram และจำแนกการแบ่งกลุ่มโดยเลือกจากการรวมกลุ่ม

### 3.11 แหล่งกำเนิดของ PAHs

จำแนกแหล่งกำเนิดของ PAHs ในสิ่งแวดล้อมว่ามาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petrogenic source) หรือมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) โดยใช้ Diagnostic Ratio ซึ่ง PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ มีจำนวนวงแหวน 2-3 วง (เช่น naphthalene, phenanthrene, fluorene) และเป็น PAHs ชนิดที่มีหมู่อัลคิล (alkyl group) มาแทนที่มากกว่าโครงสร้างเดิมของ PAHs ส่วน PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันหรือถ่านหิน ส่วนใหญ่จะมีมวลโมเลกุลสูง มีจำนวนวงแหวน 4-6 วง (เช่น fluoranthene, pyrene) และเป็นโครงสร้างเดิมของ PAHs มากกว่า PAHs ชนิดที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่าง PAHs แต่ละชนิดสามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทได้ เช่น ในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินจะพบ phenanthrene, fluoranthene และ pyrene การเผาไหม้น้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรมจะพบ fluorene, pyrene, chrysene ส่วนการเผาไหม้เบนซินและดีเซลในยานพาหนะจะพบ fluorene, pyrene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene เป็นต้น (Kulkarni and Venkataraman, 2000)

ในการศึกษานี้วิเคราะห์แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยใช้ diagnostic ratio ตามตารางที่ 3-2 เป็นตัวบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนว่ามาจาก petrogenic หรือ pyrogenic

ตารางที่ 3-2 สัดส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด

อัตราส่วน	Pyrogenic	Petrogenic
$An / (An + Phe)^a$	> 0.1	< 0.1
$Fluo / (Fluo + Pyr)^b$	> 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
$\Sigma LPAHs / \Sigma HPAHs^e$	< 1	> 1

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

<sup>a</sup>(Baumard et al., 1998; Qiao et al., 2006)

<sup>b</sup>(Budzinski et al., 1997; Yunker et al., 2002)

<sup>c</sup>(Yunker et al., 2002)

<sup>e</sup>(Budzinski et al., 1997; De Luca et al., 2005)

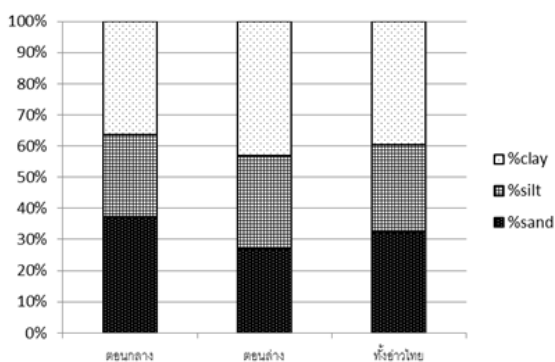
## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย 144 สถานี ในอ่าวไทย ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (ก) การศึกษาทางตะกอนวิทยา ได้แก่ ขนาดอนุภาคดินตะกอน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์; (ข) การปนเปื้อน PHCs ที่สะสมในตะกอนดินผิวหน้าอ่าวไทย 144 สถานี; (ค) การปนเปื้อน PAHs ทั้งชนิด ปริมาณ จำนวน 62 จาก 144 สถานี; และ (ง) การประเมินแหล่งที่มาของการปนเปื้อน PAHs

#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนองค์ประกอบขนาดอนุภาคของดินตะกอน

ดินตะกอนในอ่าวไทยส่วนใหญ่มีสีเทาเข้ม บางสถานีบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนกลางจะมีลักษณะเป็นทรายและมีซากเปลือกหอยและซากเพรียงปนอยู่มาก บางสถานีมีกลิ่นเหม็น ดินตะกอนในอ่าวไทยส่วนใหญ่มีเนื้อตะกอนเป็นดินร่วนปนทราย แต่มีบางพื้นที่เป็นทรายและดินเหนียว ในภาพรวมทั้งอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่างมีค่าเฉลี่ยของอนุภาคขนาดทราย (sand;  $>63 \mu\text{m}$ ) ทรายแป้ง (silt;  $2-63 \mu\text{m}$ ) และดินเหนียว (clay;  $<2 \mu\text{m}$ ) เท่ากับ 32.4%, 28.1% และ 39.5% ตามลำดับ ดินตะกอนในอ่าวไทยตอนล่างมีขนาดค่อนข้างละเอียดกว่าอ่าวไทยตอนกลาง (รูปที่ 4-1) รายละเอียดผลการศึกษารายงานไว้ในตาราง ค-1 ภาคผนวก ค และสรุปไว้ในตารางที่ 4-1 รูปที่ 4-2, 4-3 และ 4-4 แสดงการแพร่กระจายของตะกอนขนาดทราย ขนาดทรายแป้ง และขนาดดินเหนียว ตามลำดับ โดยพบว่าดินตะกอนนอกชายฝั่งเพชรบุรีถึงชุมพร และสงขลาถึงปัตตานีมีสัดส่วนอนุภาคดินตะกอนขนาดทรายมากกว่าพื้นที่อื่น



รูปที่ 4-1 สัดส่วนขององค์ประกอบของขนาดดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

[sand = ขนาดทราย ( $>63 \mu\text{m}$ ), silt = ทรายแป้ง ( $2-63 \mu\text{m}$ ) และ clay = ดินเหนียว ( $<2 \mu\text{m}$ )]

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของเนื้อดินตะกอน และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอ่าวไทย

พื้นที่	จำนวนตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค			% OC
		%Sand (>63 $\mu\text{m}$ )	%Silt (2-63 $\mu\text{m}$ )	%Clay (<2 $\mu\text{m}$ )	
อ่าวไทยตอนกลาง					
ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	76	37.2 $\pm$ 28.9	26.4 $\pm$ 13.9	36.4 $\pm$ 21.0	0.89 $\pm$ 0.50
ต่ำสุด - สูงสุด		0.80 - 93.7	1.20 - 62.6	0.70 - 79.7	0.22 - 2.20
ค่ากลาง		28.9	22.4	41.8	0.76
อ่าวไทยตอนล่าง					
ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	68	27.1 $\pm$ 23.1	30.0 $\pm$ 10.2	43.0 $\pm$ 18.0	0.68 $\pm$ 0.31
ต่ำสุด - สูงสุด		1.00 - 81.1	13.0 - 55.3	3.20 - 74.1	0.11 - 1.68
ค่ากลาง		20.5	29.5	48.3	0.61
ภาพรวมทั้งอ่าวไทย					
ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	144	32.4 $\pm$ 26.7	28.1 $\pm$ 12.3	39.5 $\pm$ 19.9	0.79 $\pm$ 0.41
ต่ำสุด-สูงสุด		0.70 - 93.7	1.20 - 62.6	0.70 - 79.7	0.11 - 2.20
ค่ากลาง		25.1	24.0	44.7	0.65

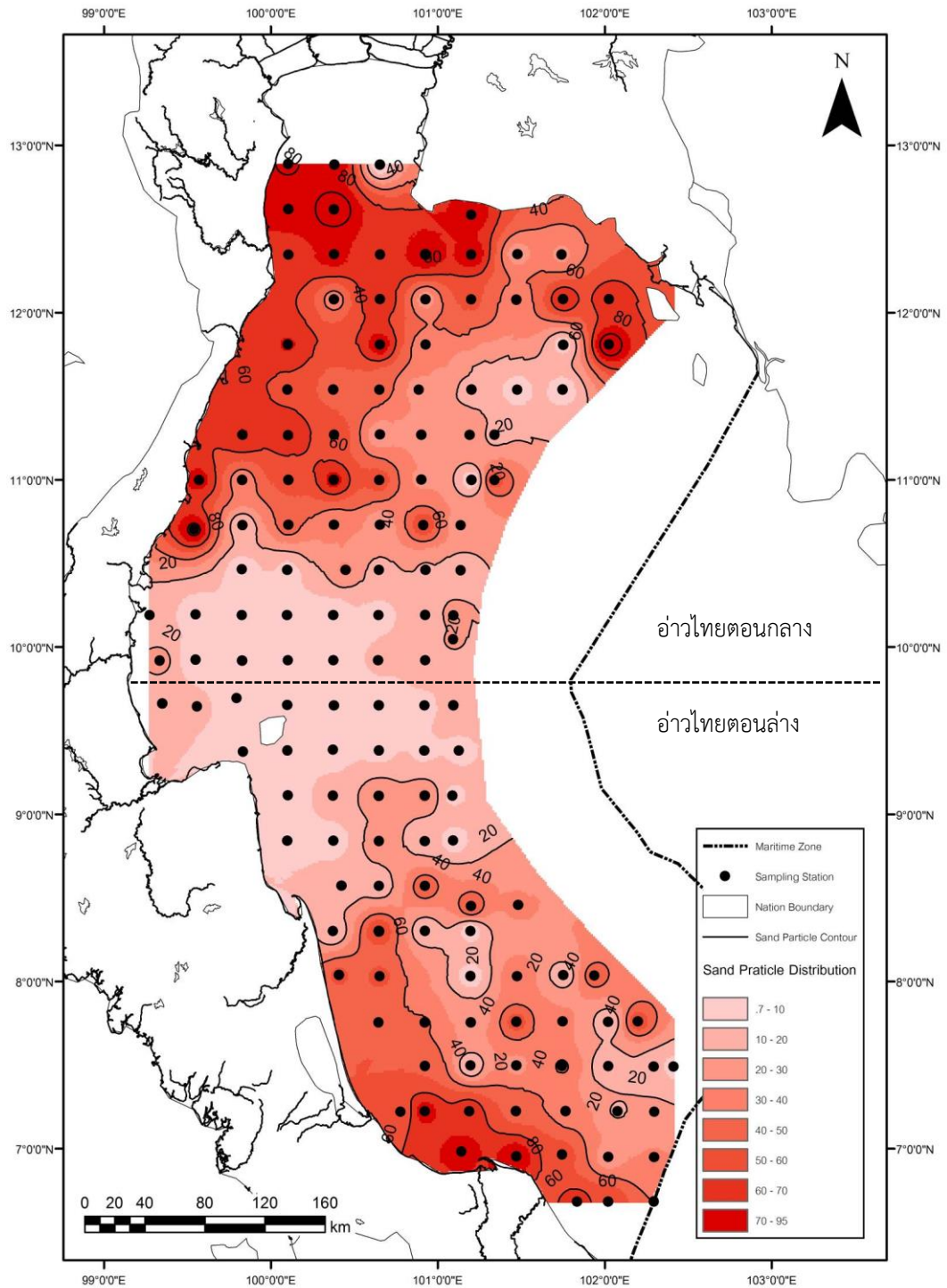
OC = readily oxidizable organic carbon; sand = ขนาดทราย; silt = ขนาดทรายแป้ง และ clay = ขนาดดินเหนียว

#### 4.2 คาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย

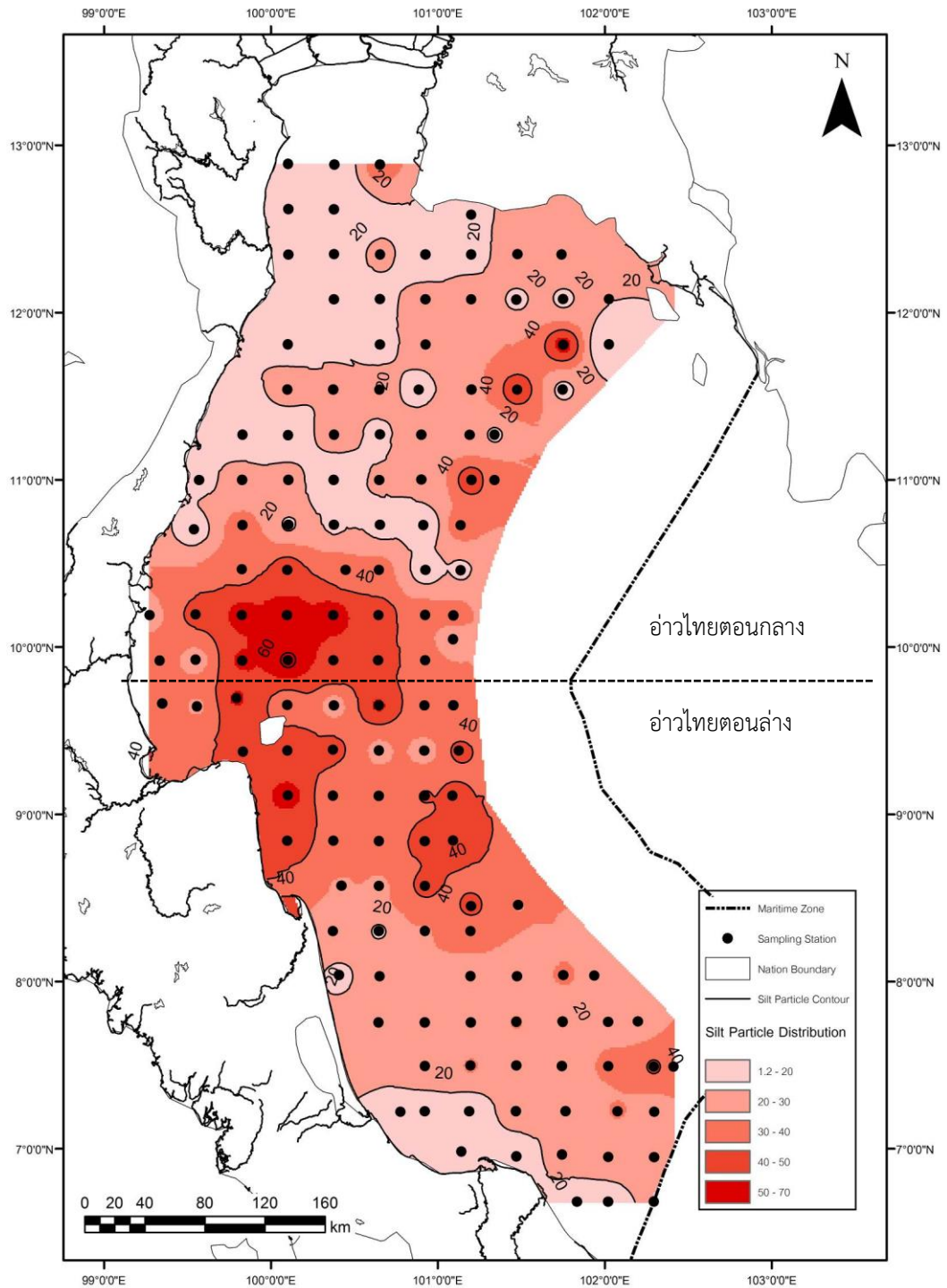
จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (readily oxidizable organic carbon) ในดินตะกอนอ่าวไทย พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่าง มีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ในอ่าวไทยตอนกลางจะมีค่าสูงกว่าในอ่าวไทยตอนล่างเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89% และ 0.68% ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) รายละเอียดผลการศึกษารายงานไว้ในตาราง ง-1 ภาคผนวก ง

รูปที่ 4-5 แสดงการแพร่กระจายของคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายในอ่าวไทย ทางชายฝั่งตะวันออกแถบจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด และทางชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดชุมพรจนถึงสุราษฎร์ธานีมีปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ค่อนข้างสูงกว่าส่วนอื่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวดินตะกอนมีสัดส่วนของอนุภาคขนาดละเอียดกว่า 63  $\mu\text{m}$  สูงกว่าบริเวณอื่น จึงมีพื้นที่ผิวในการสะสมสารอินทรีย์มากกว่าบริเวณอื่น กอปรกับพื้นที่ดังกล่าวเป็นอู่ที่อยู่ใกล้ชายฝั่งที่มีแม่น้ำสายใหญ่ เช่น แม่น้ำตาปี พาเอาสารอินทรีย์มากับน้ำท่าไหลลงสู่ทะเล

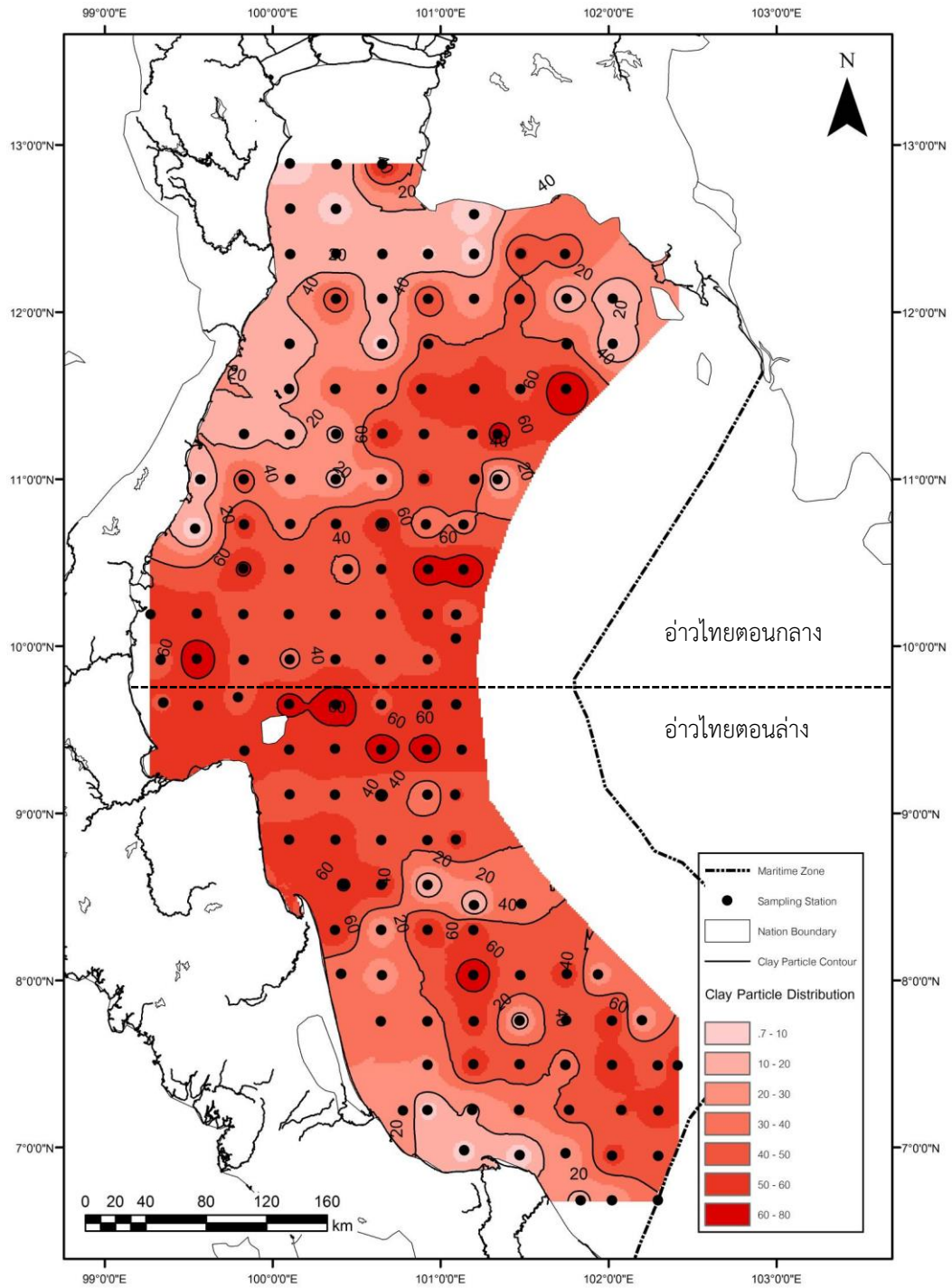




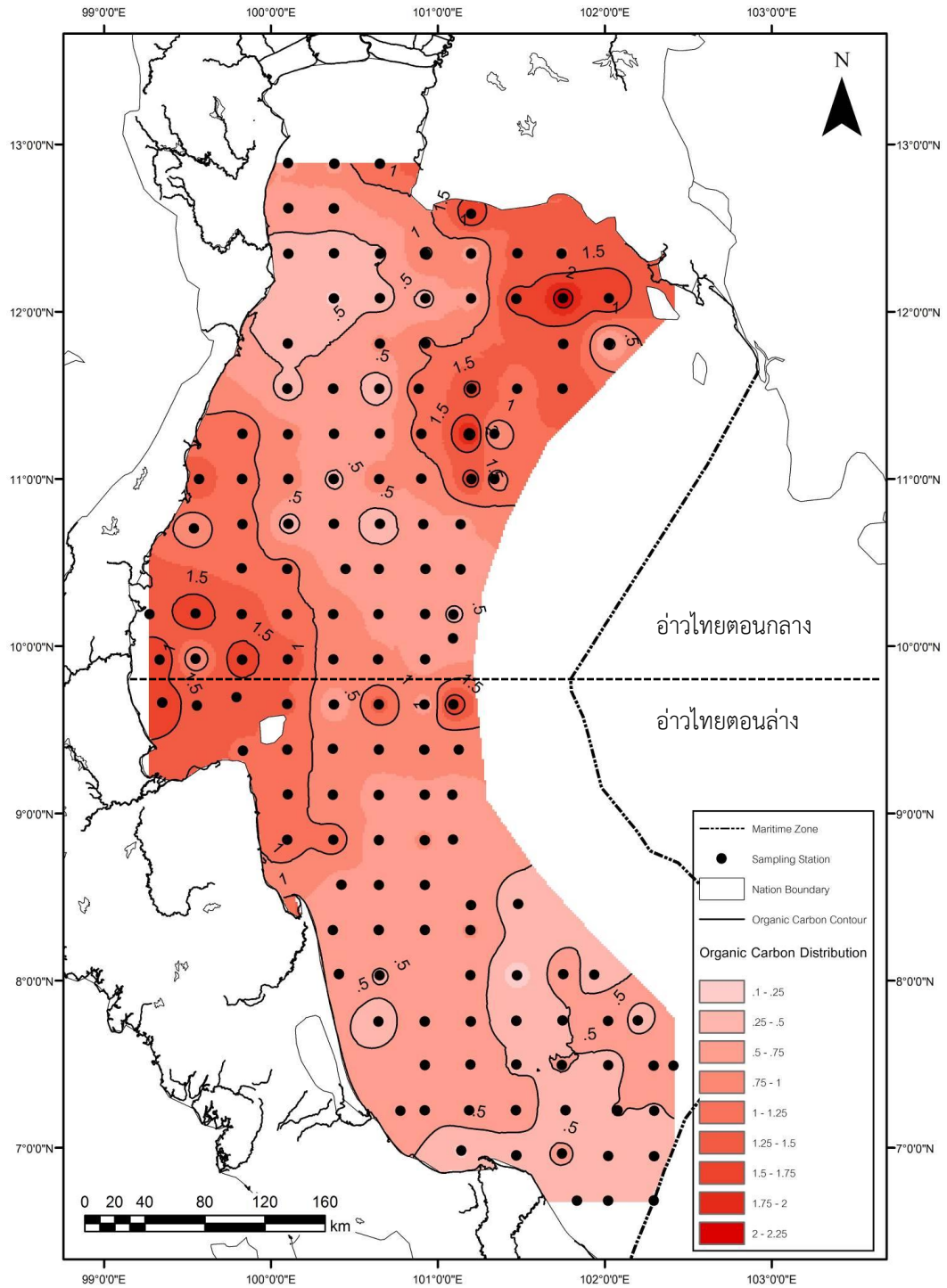
รูปที่ 4-2 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดทราย (sand) ในอ่าวไทย



รูปที่ 4-3 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดทรายแป้ง (silt) ในอ่าวไทย



รูปที่ 4-4 การแพร่กระจายของอนุภาคดินตะกอนขนาดดินเหนียว (clay) ในอ่าวไทย



รูปที่ 4-5 คาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%) ในอ่าวไทย

### 4.3 ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs) ในดินตะกอน

#### 4.3.1 การประกันคุณภาพการวิเคราะห์ PHCs

##### ก) ความแม่นยำในการวิเคราะห์

จากการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ 15 จาก 144 สถานี เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ PHCs ได้ค่าเฉลี่ยของ %RPD เท่ากับ  $6.1\% \pm 8.9\%$  ซึ่งน้อยกว่า 10% ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ รายละเอียดดังตาราง จ-1 ภาคผนวก จ

##### ข) ความถูกต้องในการวิเคราะห์

จากการเติมสารมาตรฐาน chrysene ที่ทราบปริมาณให้มีความเข้มข้นที่แน่นอน และทำการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ PHCs ได้ค่า %recovery มีค่าอยู่ในช่วง 71.2% ถึง 95.7% และค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $84.3\% \pm 12.3\%$  รายละเอียดดังตาราง จ-2 ภาคผนวก จ

##### ค) Limit of detection

ค่า Limit of detection หรือค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ ซึ่งได้จากสมการ 3-9 ในบทที่ 3 มีค่าเท่ากับ  $0.006 \mu\text{g/ml}$  รายละเอียดดังตาราง จ-3 ภาคผนวก จ

##### ง) Limit of quantitation

ค่า Limit of quantitation หรือค่าความเข้มข้นน้อยที่สุดซึ่งวิธีการวิเคราะห์จะวัดได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ซึ่งได้จากสมการ 3-10 ในบทที่ 3 มีค่าเท่ากับ  $0.013 \mu\text{g/ml}$  รายละเอียดดังตาราง จ-3 ภาคผนวก จ

#### 4.3.2 ปริมาณ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

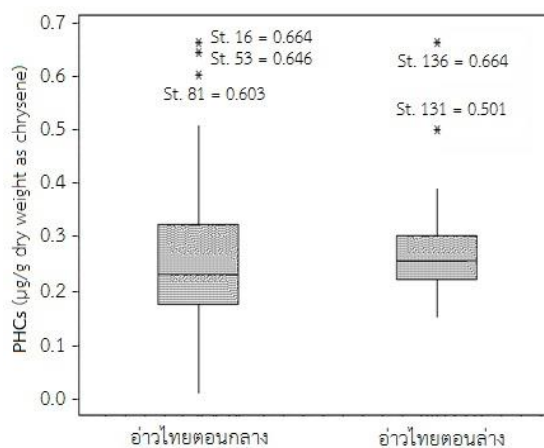
ผลการศึกษาพบระดับการปนเปื้อนของ PHCs ในรูปสมมูลโครซีน (chrysene equivalent) ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยจำนวน 144 สถานี พบระดับความเข้มข้นของ PHCs ในอ่าวไทยมีค่าอยู่ในช่วง 0.027 ถึง  $0.664 \mu\text{g/g dry weight as chrysene}$  โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.259 \pm 0.112 \mu\text{g/g dry weight as chrysene}$  รายละเอียดผลการศึกษาแสดงในตาราง ง-1 ภาคผนวก ง และสรุปไว้ในตารางที่ 4-2



ตารางที่ 4-2 ปริมาณ PHCs ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนอ่าวไทย ( $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene)

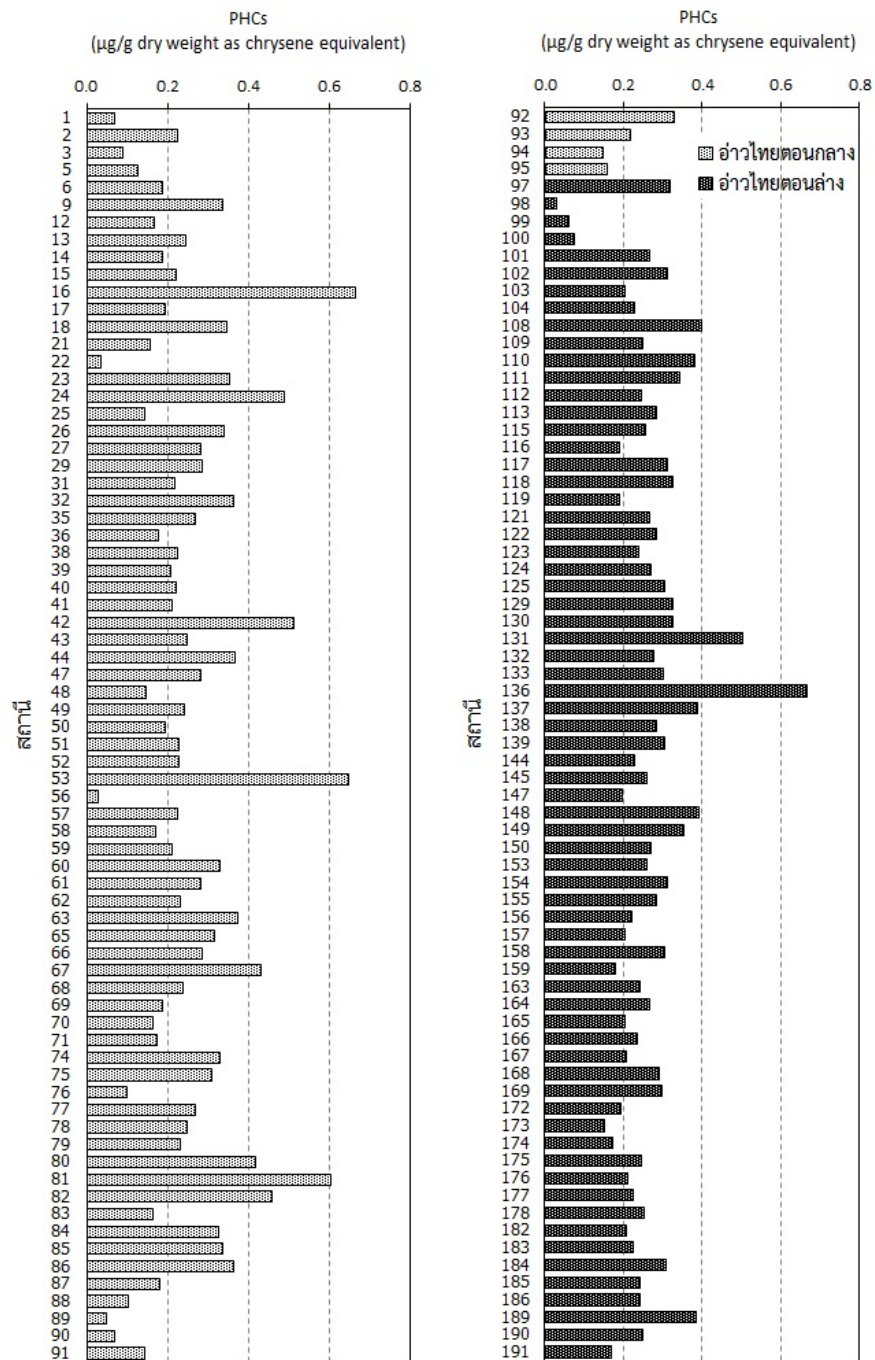
สถานที่	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบน	พิสัย	ค่ากลาง
อ่าวไทยตอนกลาง (n=76)	0.254 $\pm$ 0.128	0.027 – 0.664	0.228
อ่าวไทยตอนล่าง (n=68)	0.265 $\pm$ 0.092	0.028 – 0.664	0.258
ทั้งอ่าวไทย (n=144)	0.259 $\pm$ 0.112	0.027 – 0.664	0.246

แม้ว่าช่วงพิสัยของ PHCs ในดินตะกอนอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่าง จะมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4-2) โดยค่าสูงสุดที่พบทั้งอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่างมีค่าเท่ากันทั้ง 2 บริเวณ คือ 0.664  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene แต่ค่าเฉลี่ย (average) และค่ากลาง (median) ของ PHCs ในอ่าวไทยตอนกลางต่ำกว่าอ่าวไทยตอนล่างเล็กน้อย แม้ว่าดินตะกอนในอ่าวไทยทั้งตอนกลางและตอนล่างมี PHCs ปนเปื้อนค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่มีบางสถานที่ที่มีค่า PHCs สูงกว่าสถานที่อื่นมาก ซึ่งจะเห็นได้จากแผนภูมิกำลังในรูปที่ 4-6 แสดงว่าดินตะกอนผิวหน้าในอ่าวไทยตอนกลางมีค่าที่ค่อนข้างผันแปรตามพื้นที่สูงกว่าในอ่าวไทยตอนล่าง และพบว่ามี 5 สถานที่ ที่มีค่า PHCs ปนเปื้อนในปริมาณที่สูงกว่าค่าส่วนใหญ่อย่างเห็นได้ชัด โดยอ่าวไทยตอนกลางสถานที่ที่มีค่าสูง 3 สถานที่ คือ สถานี 16, 53 และ 81 มีค่าเท่ากับ 0.664, 0.646, 0.603  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ และอ่าวไทยตอนล่างที่มีค่าสูง 2 สถานที่ คือ สถานี 131 และ 136 มีค่าเท่ากับ 0.501 และ 0.664  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ



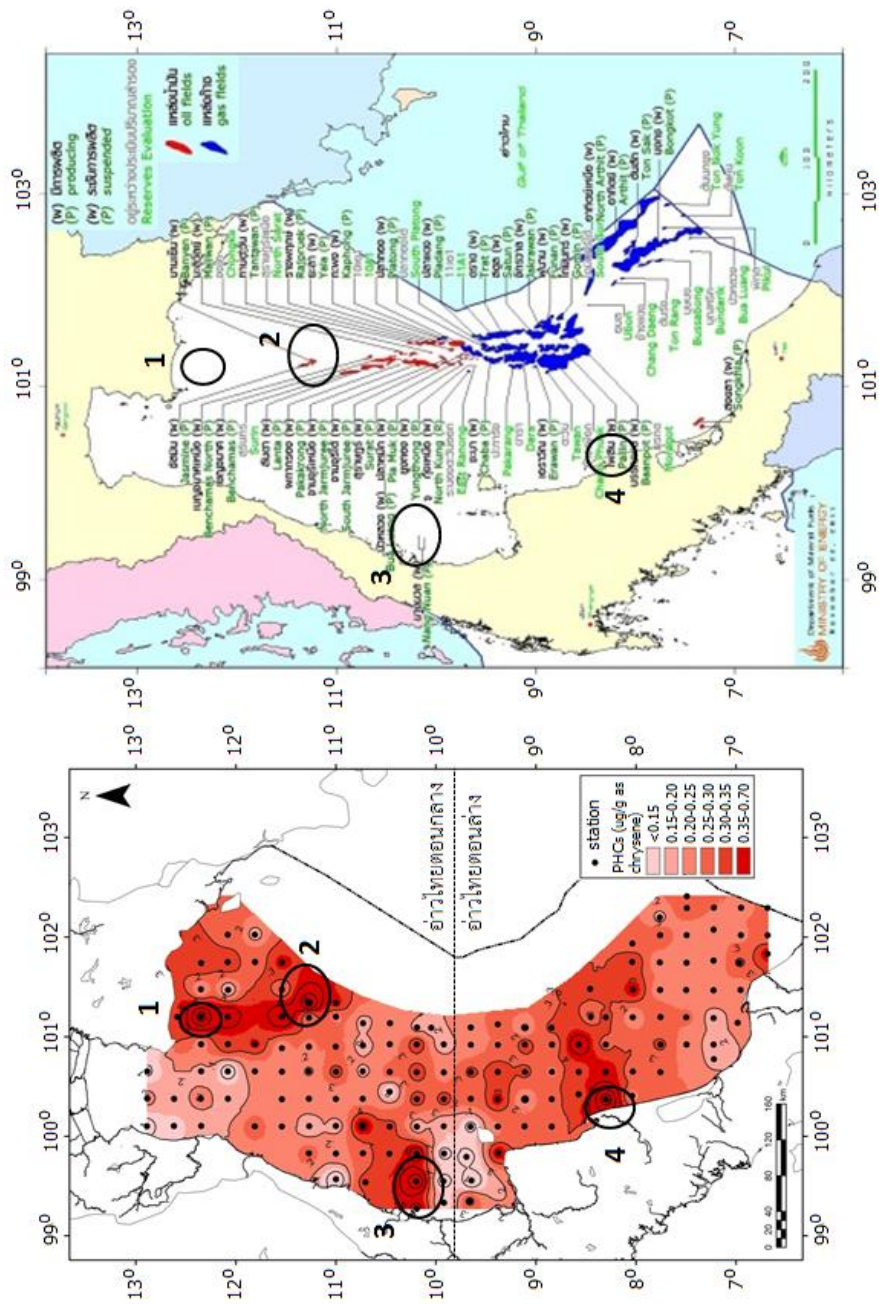
รูปที่ 4-6 แผนภูมิกำลัง (box plot) เปรียบเทียบ PHCs ( $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene) ในดินตะกอนผิวหน้าระหว่างอ่าวไทยตอนกลางกับตอนล่าง

[เส้นบนกล่อง = เปอร์เซ็นไทล์ที่ 75; เส้นกลางกล่อง = ค่ากลาง; เส้นล่างกล่อง = เปอร์เซ็นไทล์ที่ 25; \* = ค่าที่อยู่นอกช่วงปกติ]



รูปที่ 4-7 ระดับการปนเปื้อนของ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยทั้ง 144 สถานี

จากแผนภูมิแท่ง (รูปที่ 4-7) ที่เปรียบเทียบระดับ PHCs ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยทั้ง 144 สถานี พบว่าส่วนใหญ่มีค่า PHCs ต่ำกว่า 0.2 µg/g dry weight as chrysene โดยอ่าวไทยตอนล่างส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้ 0.2 มากกว่า ซึ่งแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่อ่าวไทยตอนกลางมีค่าแตกต่างกันระหว่างสถานีมากกว่า



รูปที่ 4-8 รูปซ้าย - รูปแบบการแพร่กระจายของ PHCs ( $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene) ในดินตะกอนอ่าวไทย  
 รูปขวา - เปรียบเทียบกับแผนที่แหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยของกรมเชื้อเพลิง



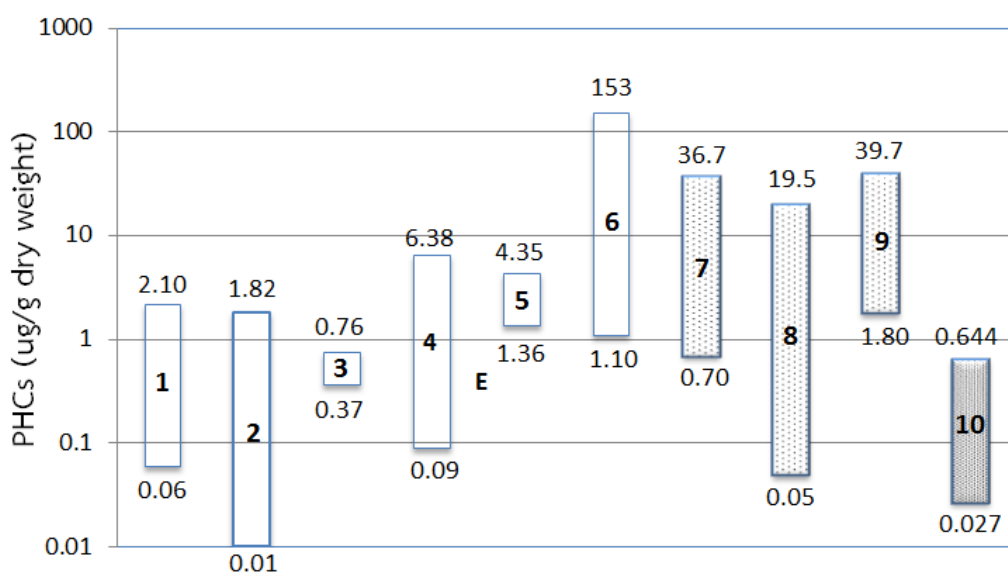
รูปที่ 4-8-ซ้าย แสดงรูปแบบการแพร่กระจายของ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้าของ อ่าวไทย สถานีที่พบ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้าสูงกว่าพื้นที่อื่น ได้แก่ บริเวณแถบชายฝั่งจังหวัด ระยอง ชุมพร นครศรีธรรมราช และบริเวณกลางอ่าว (สถานี 16, 53, 81, 131 และ 136) เมื่อ เปรียบเทียบกับแผนที่แหล่งปิโตรเลียมในอ่าวไทยของกรมเชื้อเพลิง ตามรูปที่ 4-8-ขวา พบว่าสถานีที่มี ค่า PHCs สูงนี้ เป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่มีกิจกรรมการขุดเจาะปิโตรเลียม นอกจากนี้บาง พื้นที่ยังเป็นท่าเทียบเรือประมงที่มีเรือเข้าออกมาก และมีอู่ต่อและซ่อมแซมเรือ

สถานีที่มีค่า PHCs สูง ประกอบด้วย

- สถานี 16 (หมายเลข 1 ในรูป 4-8) อยู่นอกชายฝั่งหน้านิคมอุตสาหกรรมมา ตาพุดและบริษัทไออาร์พีซี จำกัด เป็นพื้นที่ซึ่งมีการขนถ่ายก๊าซและน้ำมัน ปิโตรเลียมบนอกชายฝั่ง
- สถานี 53 (หมายเลข 2 ในรูป 4-8) อยู่ใกล้แหล่งน้ำมันจัสมินและบานเย็น
- สถานี 81 (หมายเลข 3 ในรูป 4-8) อยู่นอกชายฝั่งชุมพรใกล้แหล่งน้ำมัน นางนวล และบริเวณปากน้ำชุมพร มีท่าเทียบเรือประมง อู่ต่อและซ่อมแซมเรือ
- สถานี 136 (หมายเลข 4 ในรูป 4-8) นอกชายฝั่งปากพนัง ซึ่งมีท่าเทียบ เรือประมงและการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง

จากการเปรียบเทียบค่าการสะสมของ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้า 144 ตัวอย่าง จาก อ่าวไทยตอนกลางและตอนล่างในการศึกษาครั้งนี้ กับรายงานการศึกษาที่ผ่านมา (รูปที่ 4-9 และ ตารางที่ 2-11 ในบทที่ 2) พบว่า ผลการศึกษาครั้งนี้มีช่วงค่าที่ต่ำกว่าที่พบในการศึกษาอื่นในอ่าวไทย ทั้งนี้เนื่องจากการสุ่มตัวอย่างครั้งนี้เป็นการสุ่มไม่จำเพาะเจาะจงแหล่งกำเนิด แต่ทำการสุ่มในพื้นที่ นอกชายฝั่งของอ่าวไทย (เฉพาะน่านน้ำไทย) โดยใช้ระบบกริด 30 x 30 กิโลเมตร เพื่อให้ผลการ ตรวจวัดสามารถใช้เป็นค่าพื้นฐานของ PHCs (ในรูปสมมูลโครซีน หรือ as chrysene หรือ chrysene equivalent) ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ซึ่งต่างจากการศึกษาอื่นในอ่าวไทย ที่ส่วนใหญ่จะ เก็บตัวอย่างในพื้นที่ใกล้ชายฝั่ง ซึ่งมีการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่ จึงมักพบค่า PHCs ใน ปริมาณที่สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ในครั้งนี้ โดยเฉพาะพื้นที่สี่ขง-ศรีราชา พบว่ามีการปนเปื้อนที่ ค่อนข้างสูงกว่าพื้นที่อื่นมาก เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นท่าเทียบเรือ จอดเรือ และเป็นเส้นทางการ ขนส่งทางทะเล อย่างไรก็ตามค่า PHCs สูงสุดที่สะสมในดินตะกอนอ่าวไทยจากแต่ละพื้นที่ ส่วนใหญ่

ยังมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับที่ตรวจวัดได้ในการศึกษาในประเทศอื่นๆ ได้แก่ ช่องแคบยะโฮร์ (Straits of Johor) ประเทศมาเลเซีย อ่าวไบเซอร์ท (Bizerte lagoon) ประเทศตูนิเซีย และชายฝั่งเซไน (Chennai coast) ประเทศอินเดีย เป็นต้น



- (1) อ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งตะวันออก (เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล and ศุภวัตร ลิ้ม, 2527);
- (2) ชายฝั่งพัทธยาถึงชายฝั่งตะวันออก (อัศวิน สิมะขจรบุญ, 2530);
- (3) เกาะสีซัง จ.ชลบุรี (พรพิศ ชูศรี, 2540);
- (4) อ่าวเพ จ.ระยอง (สุธิดา สุวรรณโกสม, 2544);
- (5) ปากทะเลสาบสงขลา (จรียา อ่อนทอง, 2549);
- (6) สีซัง-ศรีราชา (Wattayakorn and Rungsupa, 2012);
- (7) Straits of Johor, Malaysia (Abdullah et al., 1996);
- (8) Bizerte lagoon, Tunisia (Mzoughi et al., 2005);
- (9) Chennai coast, India (Venkatachalapathy et al., 2010);
- (10) อ่าวไทย (การศึกษาครั้งนี้)

รูปที่ 4-9 กราฟระดับการปนเปื้อน PHCs ( $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene) ในดินตะกอนผิวหน้า จากพื้นที่ต่างๆ

#### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์สถิติของปริมาณ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับความเข้มข้นของ PHCs ในรูปสมมูลโครซีน ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand: >63  $\mu\text{m}$ , %silt: 2-63  $\mu\text{m}$  และ %clay: <2  $\mu\text{m}$ ) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในดินตะกอนอ่าวไทย พบว่าความเข้มข้นของ PHCs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับ %sand, %silt, %clay และ %OC ดังแสดงในตารางที่ 4-3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของ PHCs ในอ่าวไทยนั้น มีปัจจัยของแหล่งกำเนิดในการปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก ทำให้พบการปนเปื้อน PHCs ได้ทุกพื้นที่ของอ่าวไทย และการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในการศึกษานี้เป็นเพียงคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายเท่านั้น ขณะที่ PHCs เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก ดังนั้นควรที่จะวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (%TOC) และควรศึกษาขนาดอนุภาคดินตะกอนให้มีความละเอียดของขนาดลงไปเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ชัดเจนขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ (Huang et al., 2012) พบว่าบริเวณที่มีปริมาณการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (%TOC) สูง และบริเวณที่มีขนาดอนุภาคดินตะกอนค่อนข้างละเอียด จะพบการสะสมของสารประเภท PAHs สูงด้วย

จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PHCs กับ %OC, %Silt, %Clay และ %sand ที่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ของ PHCs กับปัจจัยที่ศึกษา ดังนั้นจึงไม่ทำการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มสถานะจากความสัมพันธ์กับปัจจัยขนาดอนุภาคและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA) และ Principle Component Analysis (PCA)

ตารางที่ 4-3 ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างปริมาณปิโตรเลียมในรูปสมมูลโครซีน (PHCs) กับขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand, %silt และ %clay) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

Pearson Correlations	PHCs (ng/g)	%sand	%silt	%clay	%OC
PHCs (ng/g)	1.000	-0.109	0.111	0.078	0.024
%sand		1.000	-0.713**	-0.900**	-0.253**
%silt			1.000	0.336**	0.301**
%clay				1.000	0.153
%OC					1.000

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

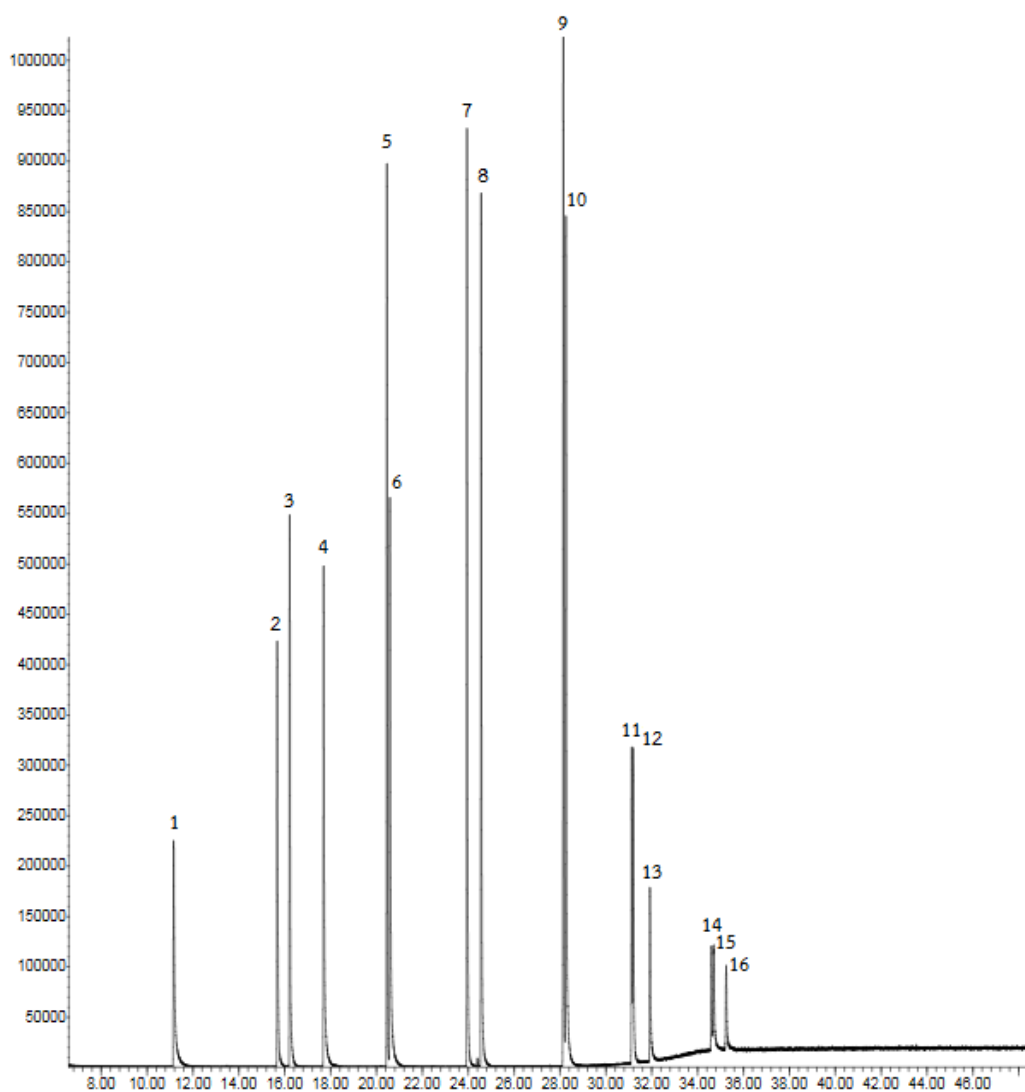
#### 4.4 พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในดินตะกอน

##### 4.4.1 สภาวะเครื่อง GC/MS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ PAHs

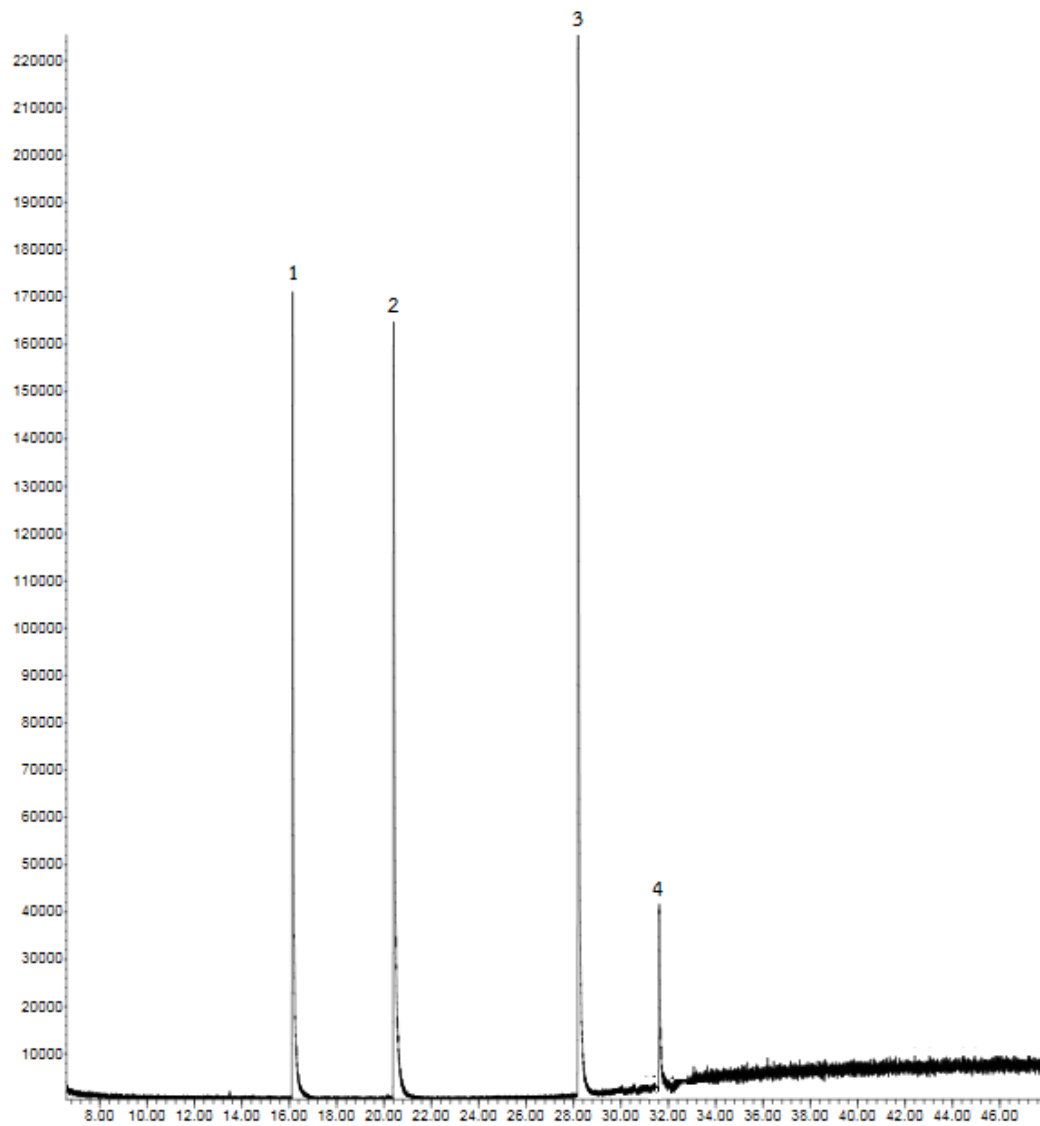
ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐาน PAHs ทั้ง 16 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย Nap, Acy, Ace, FL, Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P โดยใช้สภาวะเครื่องในการวิเคราะห์ตามหัวข้อ 3.6 ในบทที่ 3 ได้โครมาโทแกรม (chromatogram) ของสารมาตรฐานทั้ง 16 ชนิด ดังรูปที่ 4-10 และโครมาโทแกรมของ internal standard 4 ชนิด ได้แก่ Deuterated-Acenaphthene (D<sub>10</sub>-Ace), Deuterated-Phenanthrene (D<sub>10</sub>-Phe), Deuterated-Chrysene (D<sub>12</sub>-Chry) และ Deuterated-Perylene (D<sub>12</sub>-Per) ดังรูปที่ 4-11 ค่า retention time ของสารมาตรฐานและ internal standard ทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 4-4 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment แสดงในรูปที่ 4-12 และตัวอย่างโครมาโทแกรมของดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย แสดงในรูปที่ 4-13

ตารางที่ 4-4 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard

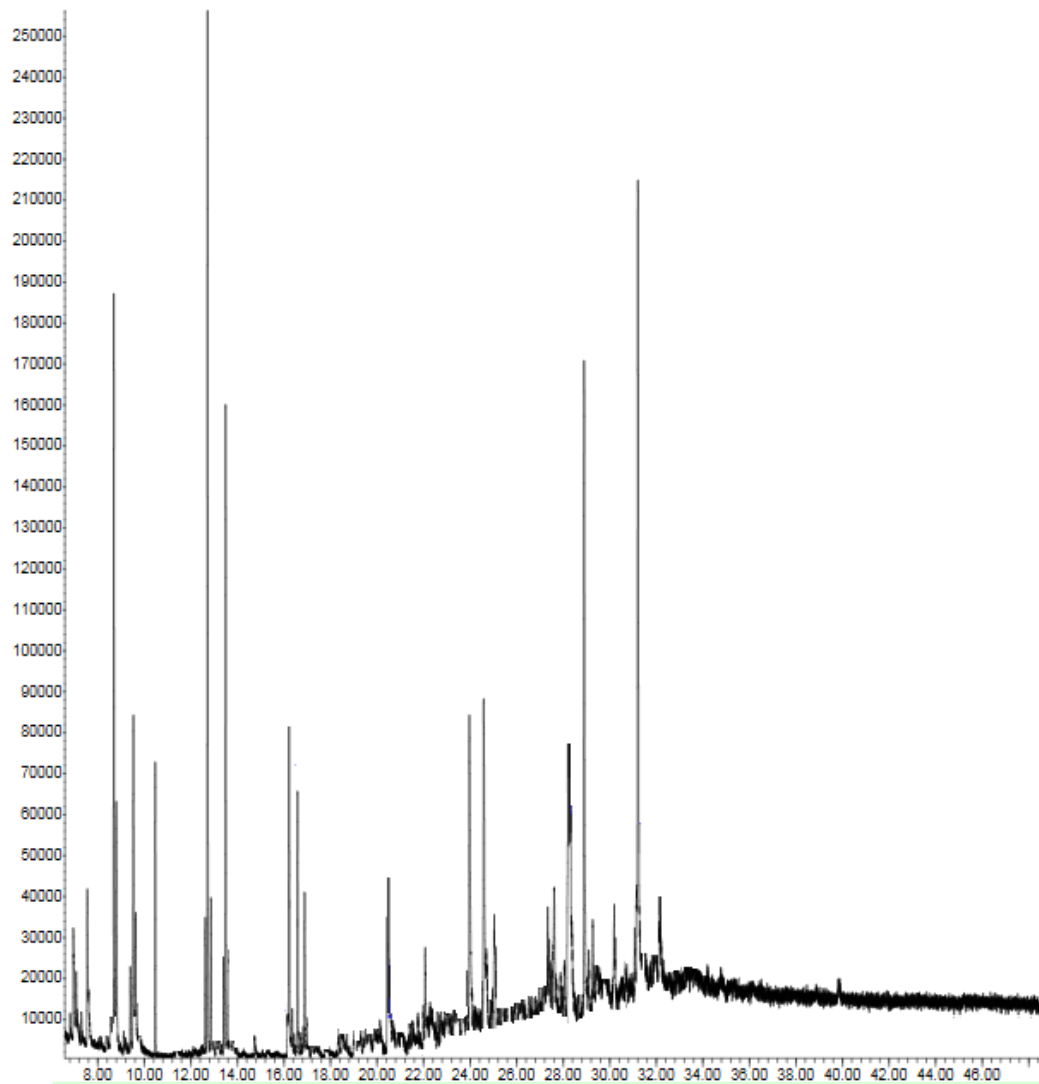
PAHs	สัญลักษณ์	มวลโมเลกุล	Retention Time (min)
Standard PAHs			
Naphthalene	Nap	128	11.219
Acenaphthylene	Acy	152	15.687
Acenaphthene	Ace	154	16.218
Fluorene	FL	166	17.736
Phenanthrene	Phe	178	20.453
Anthracene	An	178	20.618
Fluoranthene	Fluo	202	23.96
Pyrene	Pyr	202	24.577
Benzo[a]anthracene	B[a]A	228	28.140
Chrysene	Chry	228	28.265
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	31.127
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	31.187
Benzo[a]pyrene	B[a]P	252	31.926
Indeno(1,2,3,-cd)pyrene	Ind	276	34.623
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	34.731
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	35.262
Internal Standard PAHs			
Deuterated-Acenaphthene	D <sub>10</sub> -Ace	164	16.321
Deuterated-Phenanthrene	D <sub>10</sub> -Phe	188	20.399
Deuterated-Chrysene	D <sub>12</sub> -Chry	240	28.383
Deuterated-Perylene	D <sub>12</sub> -Per	264	32.085



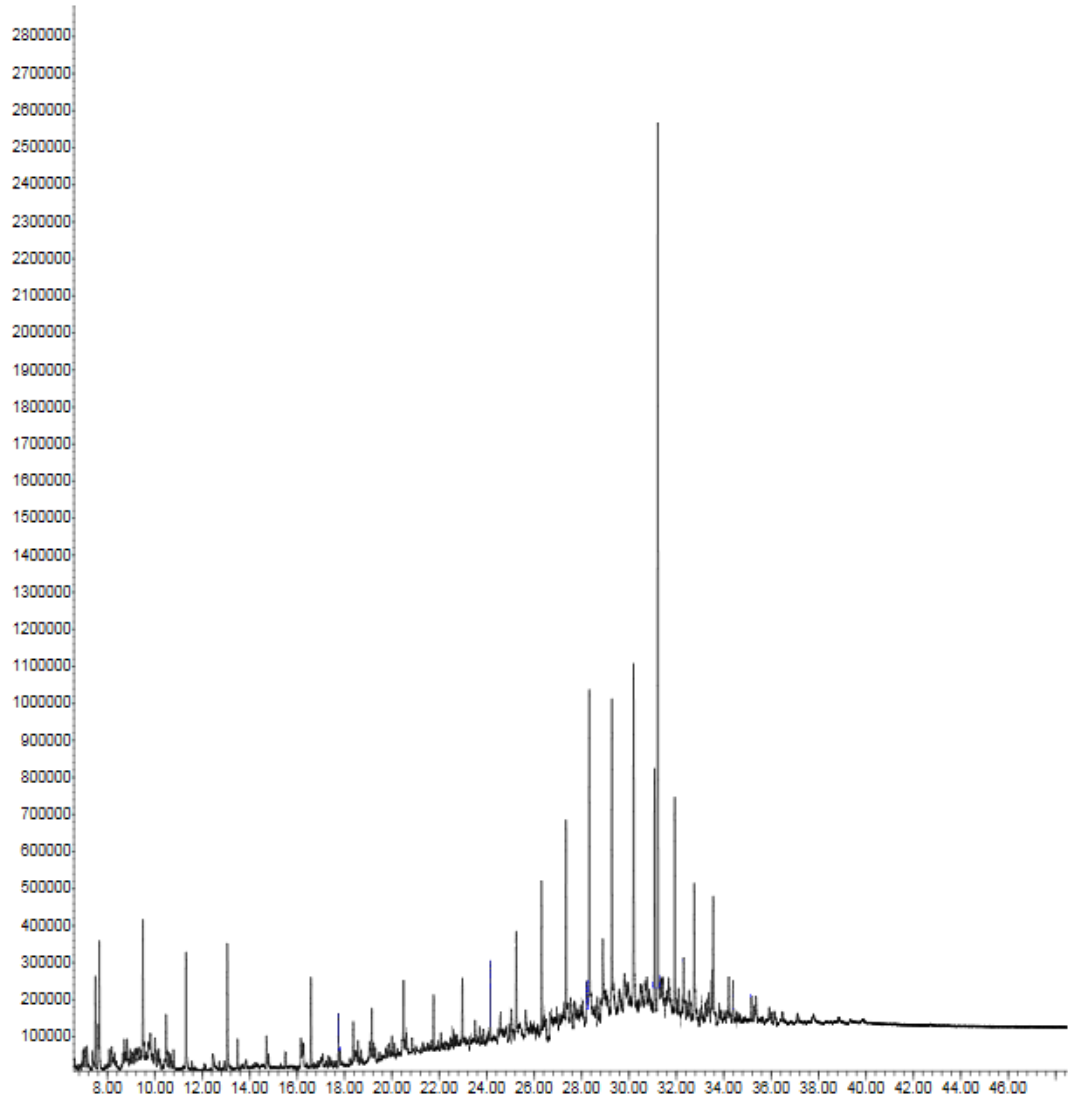
รูปที่ 4-10 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน PAHs 16 ชนิด ณ สภาวะเครื่องที่เหมาะสม (1. Nap; 2. Acy; 3. Ace; 4. Fl; 5. Phe; 6. An; 7. Fluo; 8. Pyr; 9. B[a]A; 10. Chry; 11. B[b]F; 12. B[k]F; 13. B[a]P; 14. Ind; 15. D[a,h]A และ 16. B[g,h,i]P)



รูปที่ 4-11 โครมาโทแกรมของสาร Internal standard PAHs (1. D<sub>10</sub>-Ace; 2. D<sub>10</sub>-Phe; 3. D<sub>12</sub>-Chry และ 4. D<sub>12</sub>-Per)



รูปที่ 4-12 โครมาโทแกรมของสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment



รูปที่ 4-13 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินสถานี 3



#### 4.4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs

##### ก) ความแม่นยำ (precision) ในการวิเคราะห์

จากสกัดและวิเคราะห์ PAHs ซ้ำ 6 ตัวอย่าง จาก 62 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ PAHs ได้ค่าเฉลี่ยของ %RPD เท่ากับ  $5.60 \pm 4.96\%$  น้อยกว่า 20% ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับสารปนเปื้อนปริมาณน้อย รายละเอียดผลวิเคราะห์แสดงในตาราง จ-4 ภาคผนวก จ

##### ข) ความถูกต้อง (accuracy) ในการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment ทั้งสิ้น 8 ซ้ำ ได้ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย 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]P ดังตารางที่ 4-5 ค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าที่กำกับมากับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์มีความถูกต้องเชื่อถือได้

ตารางที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM-1941b organics in marine sediment

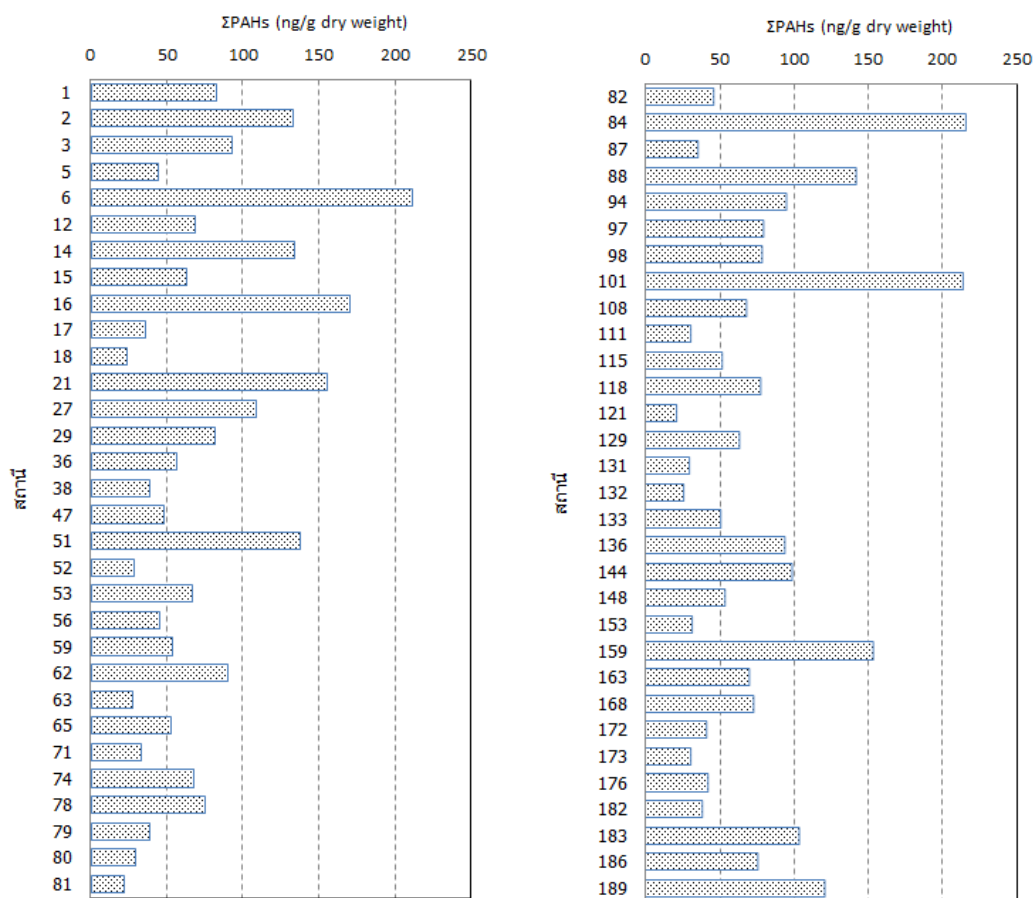
SRM	CODE	N	Reference Valve (ng/g) dry weight	Measuring Valve (ng/g) dry weight	% Accuracy
Naphthalene	Nap	8	848 $\pm$ 95	714 $\pm$ 31	84.2
Acenaphthylene	Acy	8	53 $\pm$ 6.4	51 $\pm$ 5.1	96.2
Acenaphthene	Ace	8	38 $\pm$ 5.2	36 $\pm$ 4.4	93.3
Fluorene	Fl	8	85 $\pm$ 15	76 $\pm$ 4.6	89.3
Phenanthrene	Phe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

#### 4.4.3 ปริมาณ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

ผลการวิเคราะห์หาชนิดและระดับความเข้มข้นของ PAHs จำนวน 16 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย 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]P ในดินตะกอนผิวหน้าบริเวณอ่าวไทย จำนวน 62 สถานี พบว่ามีการปนเปื้อนของ PAHs ในทุกสถานีที่เก็บตัวอย่าง โดยมีระดับความเข้มข้นที่มากน้อยแตกต่างกันในแต่ละสถานี

จากแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs ( $\Sigma$ PAHs) (รูปที่ 4-14) พบว่าสถานีที่มีค่าสูงโดดเด่นกว่าสถานีอื่นอย่างเห็นได้ชัด คือ สถานี 6, 84 และ 101 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 211, 216 และ 214 ng/g dry weight ตามลำดับ ส่วนสถานีที่มีค่าอยู่ในระดับที่เกินกว่า 100 ng/g dry weight ได้แก่ สถานี 2, 14, 16, 21, 27, 51, 88, 159, 183 และ 189 สถานีอื่นนอกจากนี้มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 100 ng/g dry weight สถานีที่มีค่าอยู่ในระดับต่ำสุด 5 สถานี ได้แก่ สถานี 121, 81 และ 18 โดยมีค่า  $\Sigma$ PAHs เท่ากับ 21.2, 21.7 และ 23.8 ng/g dry weight ตามลำดับ

ระดับความเข้มข้นของ PAHs รวม ( $\Sigma$ PAHs) ทั้ง 16 ชนิดใน 62 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง 21.2 ถึง 216 ng/g dry weight มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $75.5 \pm 48.5$  ng/g dry weight และมีค่ากลางเท่ากับ 65.2 ng/g dry weight จากผลการศึกษา 62 สถานี พบว่ามี 36 สถานี ที่พบไม่ครบทั้ง 16 ชนิด ชนิดที่ไม่พบในบางสถานี คือ Acy, Ace, Fl, Ind และ B[g,h,i]P โดยที่ Acy เป็นชนิดที่ไม่พบมากที่สุด



รูปที่ 4-14 ระดับความเข้มข้นของ ΣPAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

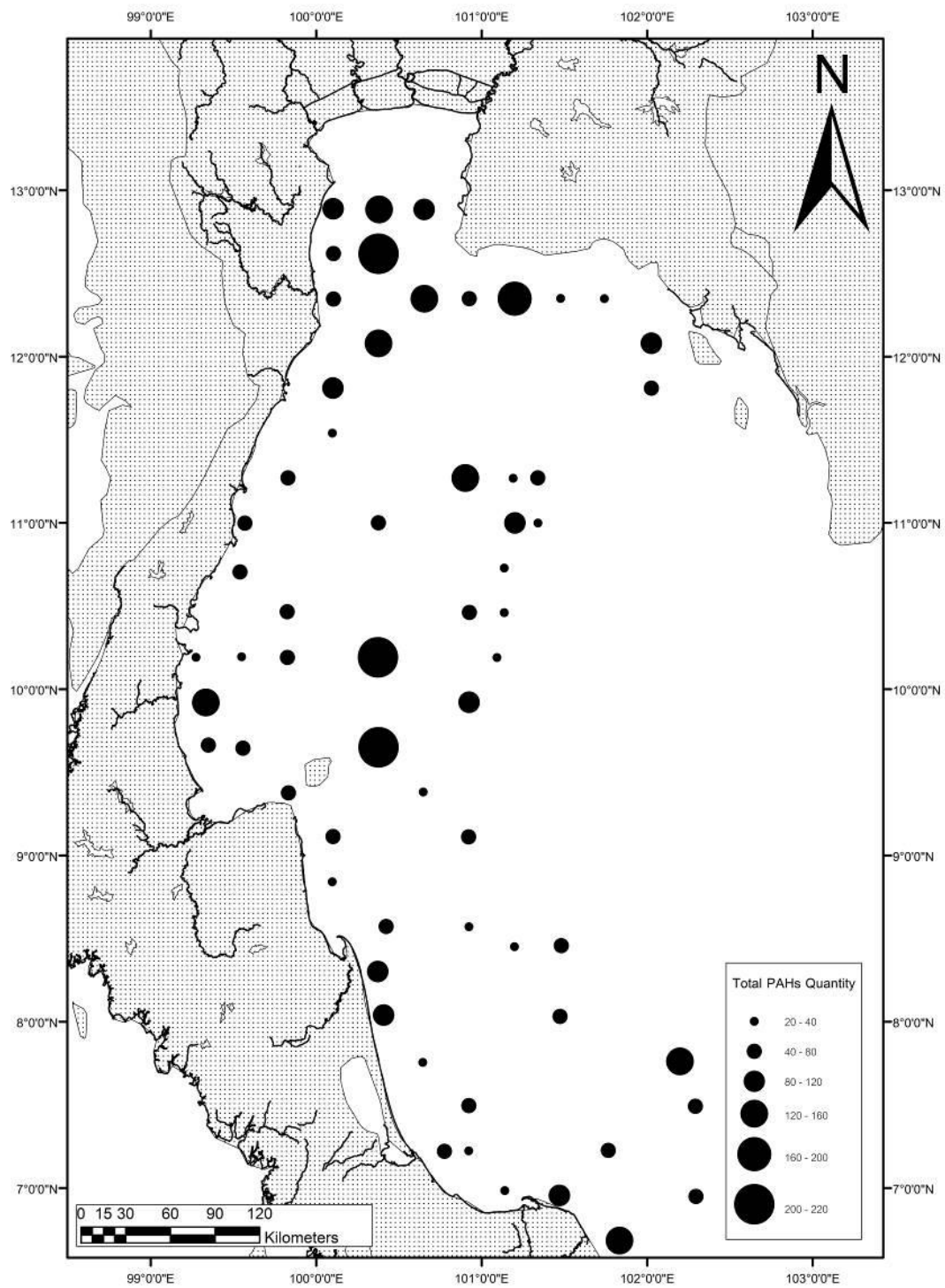
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

#### 4.4.4 ระดับความเข้มข้นของ PAHs เชิงพื้นที่ ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

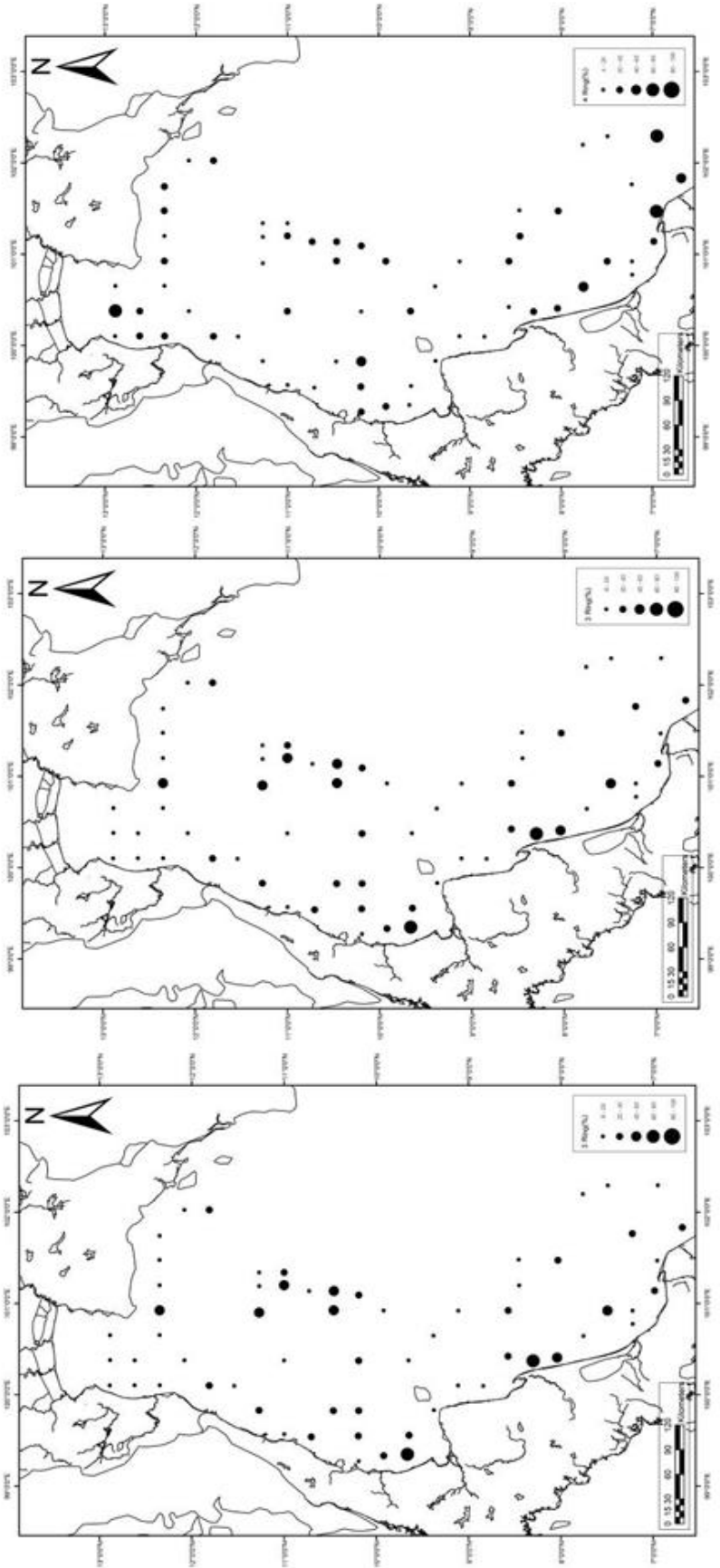
รูปที่ 4-15 แสดงระดับความเข้มข้นของ ΣPAHs เปรียบเทียบในแต่ละสถานีในอ่าวไทย พบว่าสถานีที่มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ คือ สถานี 6, 84 และ 101 ซึ่งมีค่ามากกว่า 200 ng/g dry weight สถานี 84 เป็นสถานีที่อยู่บริเวณตอนกลางของอ่าวไทย สถานี 101 อยู่ใกล้เกาะสมุยและเกาะพะงัน ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวและเป็นเส้นทางคมนาคมของเรือขนส่งผู้โดยสารจำนวนมาก ส่วนสถานี 6 อยู่บริเวณที่ติดต่อกับอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก ซึ่งน่าจะได้รับอิทธิพลมาจากแม่น้ำสายหลักที่ชะล้างสาร PAHs ลงสู่ทะเล และการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทย

กลุ่มของสถานีที่มีค่า  $\Sigma$ PAHs รองลงมา เป็นกลุ่มสถานี 2, 14, 16, 21, 27 ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้กับชายฝั่งของอ่าวไทยตอนบน โดยเฉพาะสถานี 16 ซึ่งอยู่ใกล้ชายฝั่งจังหวัดระยอง และเป็นสถานีที่มีค่า PHCs สูงที่สุด ( $0.664 \mu\text{g/g dry weight as chrysene}$ ) (หัวข้อ 4.3.2) สถานีนี้อยู่นอกนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด ที่มีการขนถ่ายก๊าซและน้ำมันปิโตรเลียมนอกชายฝั่ง ส่วนสถานี 88, 144, 183 และ 189 เป็นบริเวณใกล้ชายฝั่งจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช และปัตตานี ตามลำดับ ซึ่งมีท่าเทียบเรือประมงขนาดใหญ่ และอุตสาหกรรมเป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งทางน้ำที่สำคัญ และมีแม่น้ำสายหลักไหลลง นอกจากนี้ยังพบค่า  $\Sigma$ PAHs สูงที่สถานี 51 และ 159 ซึ่งอยู่กลางอ่าว ใกล้กับพื้นที่กิจกรรมขุดเจาะน้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ สถานีที่มีค่า PAHs สูงเหล่านี้อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานีที่พบ PHCs สูง (ดูหัวข้อ 4.3.2) ส่วนพื้นที่อื่นนอกจากที่กล่าวมานี้ มีระดับความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และอยู่ในระดับต่ำ

รูปที่ 4-16 แสดงระดับความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs ชนิดที่มีจำนวนวงแหวนเท่ากัน โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกมีจำนวนวงแหวน 2 วง (Nap) สูง ส่วนใหญ่เป็นสถานีในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนกลางช่วงที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก และกลางอ่าว กลุ่มที่สอง ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 3 วง (Acy, Ace, Fl, An และ Phe) พบสูงแถบพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และกลางอ่าว กลุ่มที่สาม ประกอบด้วย PAHs ที่มีจำนวนวงแหวน 4 วง (Fluo, Pyr, Chry และ B[a]A) ส่วนใหญ่พบสูงบริเวณสถานีที่อยู่ในอ่าวไทยตอนกลางช่วงที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก และอ่าวไทยตอนล่างแถบชายฝั่งปัตตานี กลุ่มที่สี่ ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 5 วง (B[b]F, B[k]F, B[a]P และ D[a,h]A) ส่วนใหญ่พบสูงอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนกลางช่วงที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยตอนบนรูปตัว ก และกลางอ่าว ส่วนกลุ่มสุดท้าย ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 6 วง (Ind, และ B[g,h,i]P) อย่างไรก็ตาม PAHs ที่มีวงแหวน 6 วง เมื่อเทียบกับโครงสร้างอื่นพบว่ามิอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำมากในทุกสถานี



รูปที่ 4-15 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs รวม ( $\Sigma$ PAHs) ในตะกอนดินผิวน้ำอ่าวไทย

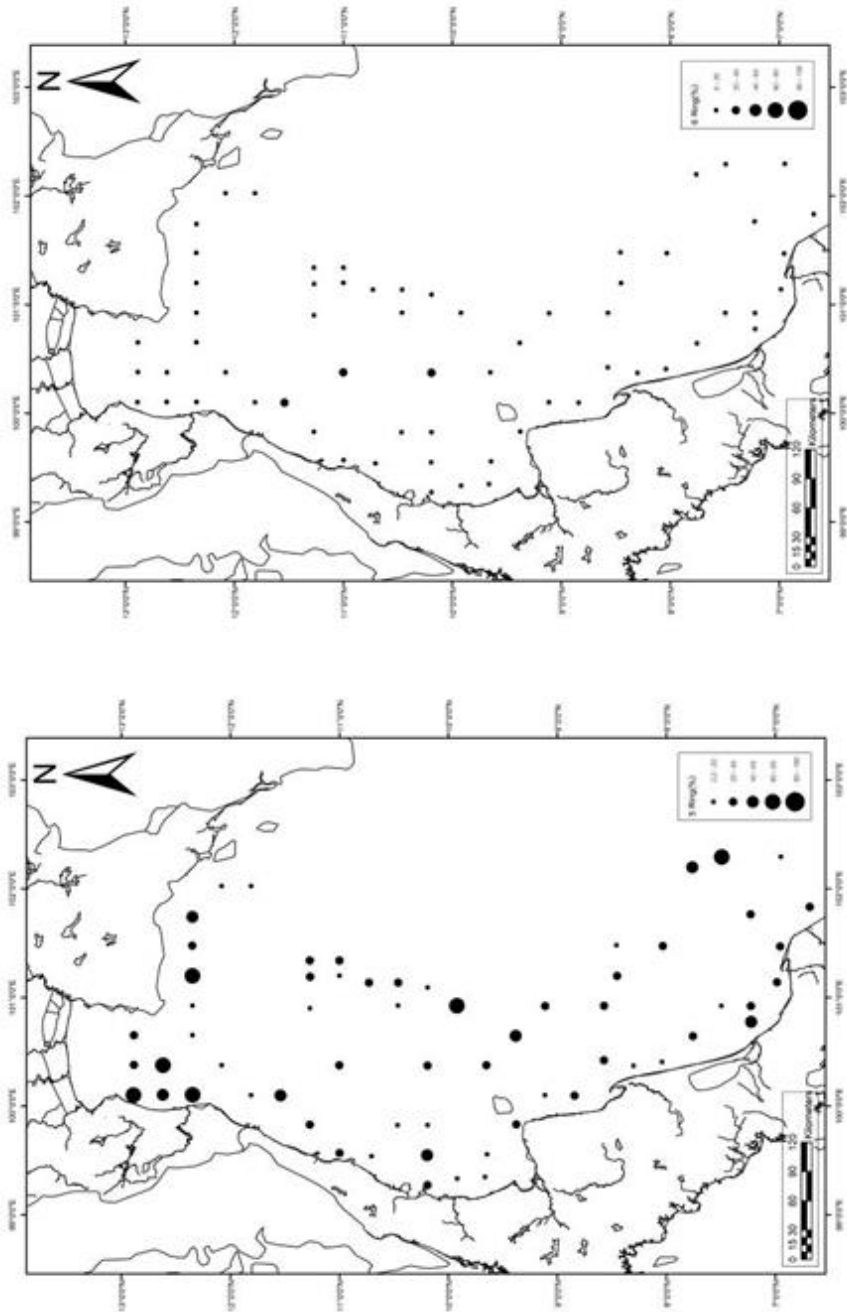


(ก) PAHs ที่มีวงแหวน 2 วง

(ข) PAHs ที่มีวงแหวน 3 วง

(ค) PAHs ที่มีวงแหวน 4 วง

รูปที่ 4-16 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของ PAHs แต่ละโครงสร้างจำนวนวงแหวน ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

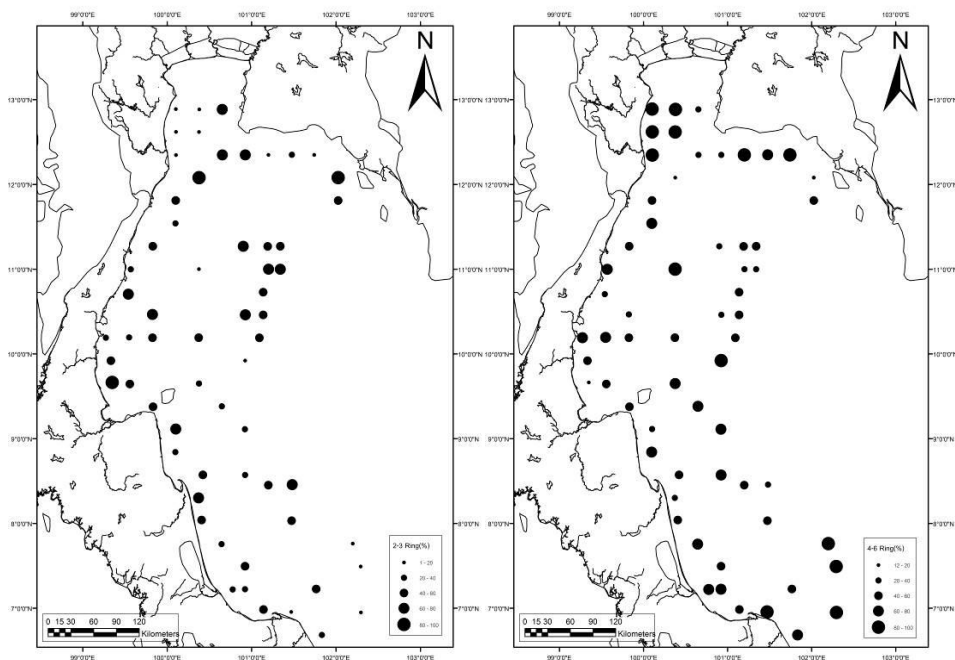


(จ) PAHs ที่มีวงแหวน 5 วง

(ฉ) PAHs ที่มีวงแหวน 6 วง

รูปที่ 4-16 (ต่อ)

เมื่อแบ่ง PAHs ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก (มวลโมเลกุลต่ำ) ประกอบด้วยวงแหวน 2-3 วง ได้แก่ Nap, Acy, Ace, Fl, Phe และ An รวมทั้งหมด 6 ชนิด กับกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ (มวลโมเลกุลสูง) ประกอบด้วยวงแหวน 4-6 วง ได้แก่ 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 รวมทั้งหมด 10 ชนิด พบว่าดินตะกอนในเกือบทุกพื้นที่ของอ่าวไทยมีการปนเปื้อน PAHs กลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่มากกว่ากลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก (รูปที่ 4-17) รายละเอียดของสัดส่วนของ PAHs แต่ละกลุ่มรายงานไว้ในตาราง ง-3 ภาคผนวก ง เนื่องจาก PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่จะพบเป็นหลักในแหล่งกำเนิดที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง ส่วน PAHs ที่มีโครงสร้างเล็กจะพบทั้งจากแหล่งกำเนิดปิโตรเลียม และจากกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ (Mai et al., 2002) การที่ PAHs ที่ปนเปื้อนในอ่าวไทยมีสัดส่วนที่มีกลุ่มโครงสร้างใหญ่มากกว่ากลุ่มโครงสร้างเล็ก บ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิด PAHs ในอ่าวไทย น่าจะมีที่มาส่วนใหญ่จากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic) ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ตรวจวัด PAHs ในดินตะกอนจากแม่น้ำและทะเล ก็พบความเข้มข้นของ PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่มากกว่า PAHs โครงสร้างเล็กเช่นกัน (Ko et al., 2007; Lin et al., 2003; Yan et al., 2009)



(ก) PAHs ที่มีวงแหวน 2-3 วง

(ข) PAHs ที่มีวงแหวน 4-6 วง

รูปที่ 4-17 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของ PAHs ที่มี 2-3 วง กับ 4-6 วง ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

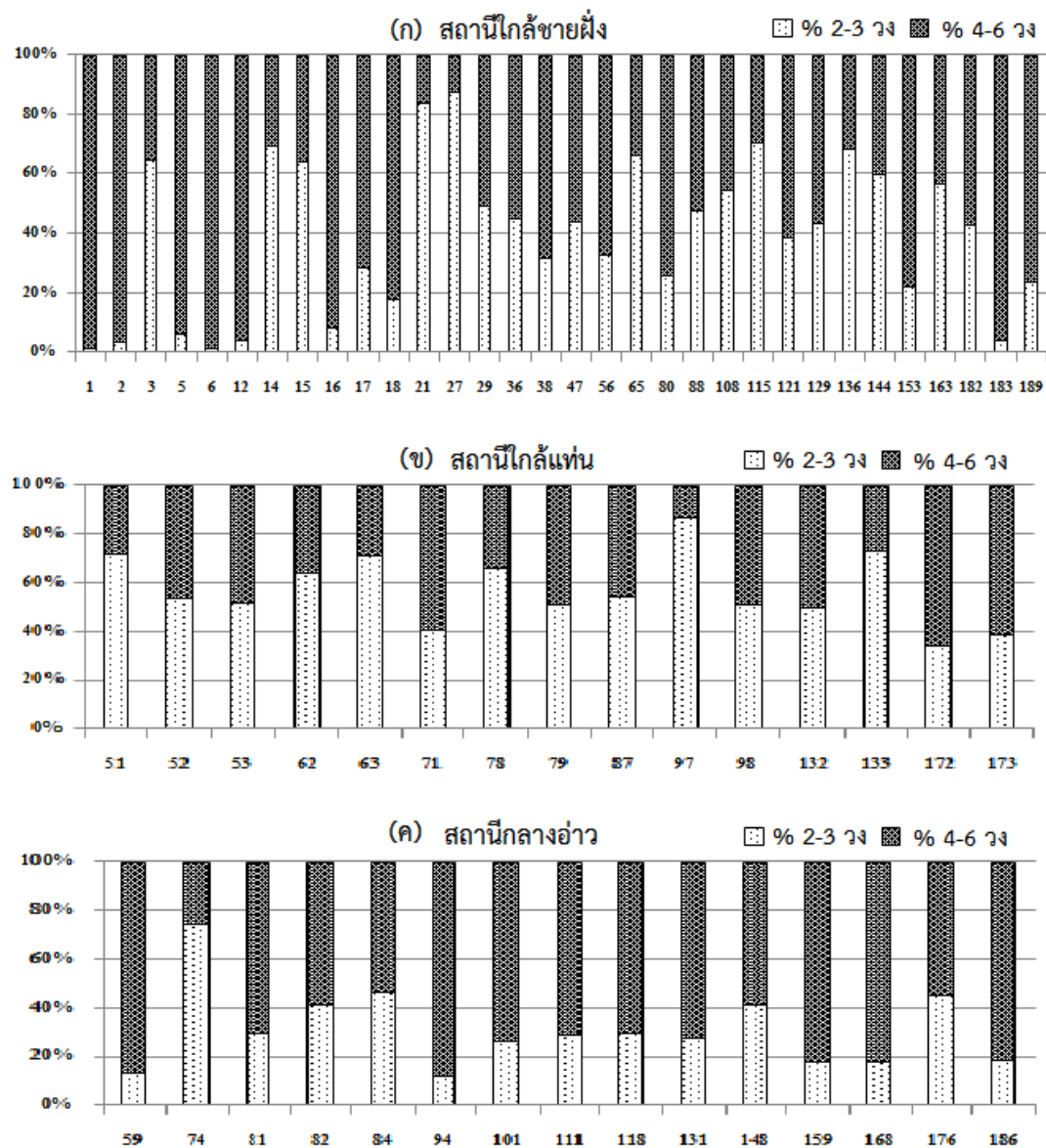


หากแบ่งสถานีเก็บตัวอย่างตามสภาพพื้นที่ที่น่าจะมีแหล่งกำเนิดหลักต่างกัน อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มชายฝั่ง การปนเปื้อนของ PAHs ในดินตะกอนของพื้นที่ที่น่าจะได้รับอิทธิพลมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันจากกิจกรรมต่างๆ หรือจากการเผาไหม้สู่ชั้นบรรยากาศที่ถูกชะล้างลงมา ผ่านทางชายฝั่ง แม่น้ำ ลำคลอง
- กลุ่มที่ 2 กลุ่มใกล้แท่น กลุ่มนี้เป็นพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำมันและแท่นขุดเจาะ ซึ่งคาดว่า การปนเปื้อนของ PAHs น่าจะได้รับอิทธิพลการปนเปื้อนมาจากการขุดเจาะและผลิตปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
- กลุ่มที่ 3 กลุ่มกลางอ่าว กลุ่มนี้เป็นสถานีช่วงกลางอ่าวที่ห่างจากแหล่งปนเปื้อนของ PAHs ต่างๆ

ผลการศึกษาสัดส่วนของ PAHs ที่มีโครงสร้างเล็กและโครงสร้างใหญ่ พบว่าในกลุ่มที่ 1 มีความหลากหลายของสัดส่วนมาก บางสถานีที่มี PAHs โครงสร้างเล็กมากกว่าโครงสร้างใหญ่ แต่บางสถานีก็พบ PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่มากกว่าโครงสร้างเล็ก บ่งชี้ว่าสถานีในกลุ่มนี้มีความหลากหลายของแหล่งกำเนิด กล่าวคือ มี PAHs จากปิโตรเลียมโดยตรงและจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ต่างกันในแต่ละสถานีมาก เช่นเดียวกับที่พบในการศึกษาของ (Boonyatumanond et al., 2006) ทั้งนี้เป็นเพราะแต่ละสถานีเป็นสถานีนอกชายฝั่งที่มีสภาพแวดล้อมหรือกิจกรรมที่แตกต่างกัน ได้แก่ ใกล้ชุมชน ใกล้แม่น้ำหรือลำคลองสายที่ไหลผ่านชุมชนที่มีกิจกรรมที่แตกต่างกัน บางสถานีอาจจะอยู่ใกล้แหล่งกิจกรรมที่อยู่ในทะเลหรือชายฝั่ง เช่น ใกล้ท่าเรือ หรือแหล่งขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน จึงน่าจะได้รับอิทธิพลการปนเปื้อน PAHs มาจากน้ำมันของกิจกรรมการเดินเรือ จากการชะล้างคราบน้ำมันต่างๆ จากการเผาไหม้สู่ชั้นบรรยากาศที่ถูกชะล้างลงมา หรือจากกิจกรรมขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (เช่น บริเวณนอกชายฝั่งชุมพร) (รูปที่ 4-18(ก)) ส่วนสถานีในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มสถานีอยู่บริเวณใกล้กับแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน จะพบว่าเกือบทุกสถานีมีสัดส่วนของ PAHs โครงสร้างเล็กมากกว่าโครงสร้างใหญ่อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4-18(ข)) ซึ่งน่าจะมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากปิโตรเลียมโดยตรง

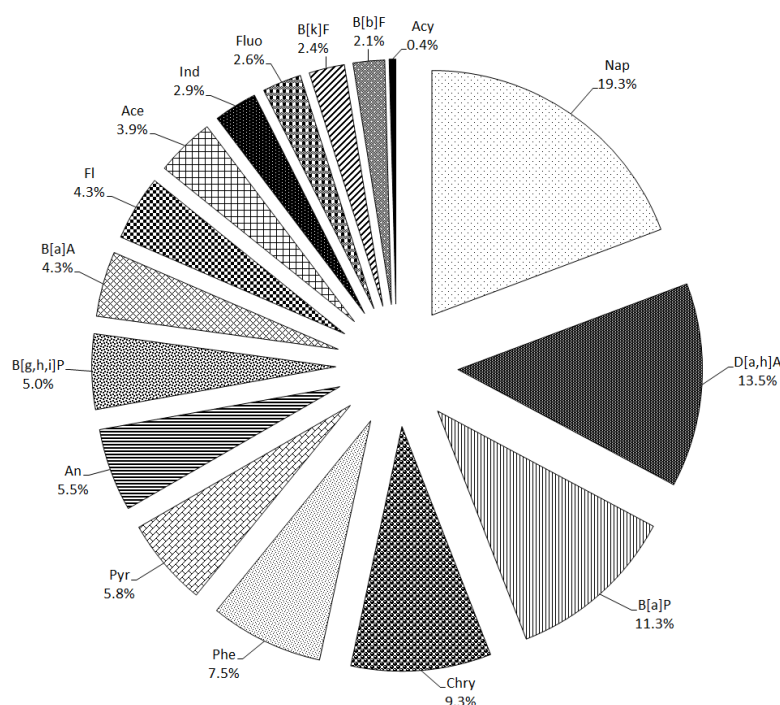
สำหรับสถานีในกลุ่มที่ 3 เป็นสถานีกลางอ่าวไทยที่ห่างไกลจากการปนเปื้อนของ PAHs แต่จากการศึกษาพบ PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่มากกว่า PAHs ที่มีโครงสร้างเล็กอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าการปนเปื้อนของ PAHs บริเวณกลางอ่าวไทย ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ที่ลอยลอยมาในชั้นบรรยากาศแล้วตกลงสู่ท้องทะเล หรือไอเสียจากการเรือเดินทะเล (รูปที่ 4-18(ค))



รูปที่ 4-18 สัดส่วนความเข้มข้น (%) ของโครงสร้าง PAHs ขนาดเล็ก (2-3 วง) และขนาดใหญ่ (4-6 วง) ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย (ก) สถานีใกล้ชายฝั่ง (ข) สถานีใกล้แท่น (ค) สถานีกลางอ่าว

#### 4.4.5 สัดส่วนของ PAHs แต่ละชนิด ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

เมื่อพิจารณาในสัดส่วนของ PAHs 16 ชนิด ที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย 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]P พบว่าในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยจำนวน 62 สถานี มีสัดส่วน (%) ของ PAHs แต่ละชนิด เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Nap (19.3%), D[a,h]A (13.5%), B[a]P (11.3%), Chry (9.3%), Phe (7.5%), Pyr (5.8%), An (5.5%), B[g,h,i]P (5.0%), Fl (4.3%), B[a]A (4.3%), Ace (3.9%), Ind (2.9%), Fluo (2.6%), B[k]F (2.4%), B[b]F (2.1%) และ Acy (0.4%) (รูปที่ 4-19)



รูปที่ 4-19 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs แต่ละชนิด ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

PAHs ชนิดที่มีความเข้มข้นรวมสูงสุดในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย คือ Nap (Naphthalene) สถานีที่มีค่าสูงสุด คือ สถานี 21 (117 ng/g dry weight) ซึ่งอยู่ในอ่าวไทยตอนกลางที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยตอนบน เป็นพื้นที่ที่รับน้ำทิ้งน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม Naphthalene เป็นวัตถุอันตรายที่ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตสารเคมี กระจกใสสำหรับรถยนต์ และลูกเหม็น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) และอาจจะมาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Yunker et al., 1996)

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษา<sup>นี้</sup> กับเกณฑ์ความเข้มข้นที่ส่งผลกระทบต่อจากตารางจะเห็นว่าค่าความเข้มข้นสูงสุดของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย มีค่าไม่เกินเกณฑ์คัดกรองว่ามีการปนเปื้อน (screening level contamination; SLC) (Swartz, 1999) แต่เมื่อเทียบกับระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อ (threshold effect level; TEL) พบว่า Nap, Ace และ Fl มีค่าเกินเกณฑ์ TEL ทั้งของ Swartz (1999) และ NOAA (1999) และเมื่อเทียบกับเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบต่อ (Effect Range Low; ERL) พบว่ามีเพียง Fl ที่มีค่าเกินเกณฑ์ทั้งของ Swartz (1999) และ NOAA (1999) ส่วนเกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบต่อ (Effects Range Median; ERM) ของ NOAA (1999) พบว่าไม่มี PAHs ชนิดใดที่ศึกษาในครั้ง<sup>นี้</sup>มีค่าเกินเกณฑ์ ERM (NOAA, 1999)

ตารางที่ 4-6 ระดับความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับค่า ERL และ ERM (ng/g)

ชนิด PAHs	SLC <sup>a</sup>	TEL <sup>a</sup>	ERL <sup>a</sup>	NOAA <sup>b</sup> TEL	NOAA <sup>b</sup> ERL	NOAA <sup>b</sup> ERM	ค่าเฉลี่ย <sup>c</sup>	ค่าสูงสุด <sup>c</sup>
Nap	410	30	160	34.6	160	2100	14.6	117
Acy	50	10	40	5.87	44	500	0.33	2.99
Ace	60	10	20	6.71	16	640	2.95	16.0
Fl	100	20	20	21.2	19	540	3.25	48.7
Phe	270	90	240	86.7	240	1500	5.68	47.7
An	160	50	90	46.9	85.3	1100	4.14	42.7
Fluo	640	110	600	113	600	5100	1.95	15.1
Pyr	660	150	660	153	665	2600	4.39	41.0
B[a]A	260	70	260	74.8	261	2600	3.25	49.8
Chry	380	110	380	108	384	2800	7.00	35.9
B[b]F	320	70	320	-	-	1880	1.57	12.7
B[k]F	280	60	280	-	-	1620	1.78	32.5
B[a]P	400	90	430	88.8	430	1600	8.53	86.4
Ind	-	-	-	-	-	-	2.16	13.8
D[a,h]A	-	-	-	6.22	63.4	260	10.2	85.2
B[g,h,i]P	-	-	-	-	-	1600	3.75	38.3

SLC หมายถึง เกณฑ์คัดกรองว่ามีการปนเปื้อน (screening level contamination)

TEL หมายถึง ระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อ (threshold effect level)

ERL หมายถึง เกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบต่อ (Effect Range Low)

ERM หมายถึง เกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบต่อ (Effects Range Median)

<sup>a</sup> Swartz (1999)

<sup>b</sup> NOAA (1999)

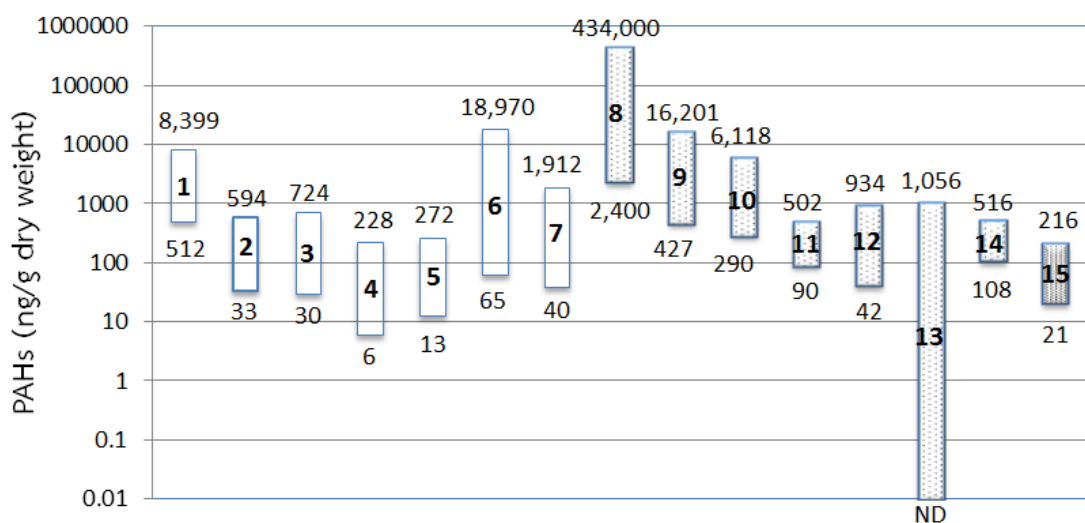
<sup>c</sup> การศึกษาครั้ง<sup>นี้</sup>

เมื่อเปรียบเทียบ  $\Sigma$ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยกับพื้นที่อื่นทั้งในและต่างประเทศ พบว่าระดับความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs ในอ่าวไทยมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของชายฝั่งทะเลไทย (Boonyatumanond et al., 2006) และนอกชายฝั่ง จ.พังงา (Tipmanee et al., 2012) แต่มีค่าน้อยกว่าค่าที่พบในดินตะกอนแม่น้ำเจ้าพระยาและคลองสาขามาก (Boonyatumanond et al., 2006) และเมื่อเทียบกับค่าที่รายงานในต่างประเทศ พบว่า  $\Sigma$ PAHs ในการศึกษาครั้งนี้ยังมีค่าต่ำกว่ามาก (รูปที่ 4-20) ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะพื้นที่ศึกษาการปนเปื้อนของ PAHs ในต่างประเทศ มักจะทำในพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ Benzo[a]pyrene หรือ B[a]P ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่มีฤทธิ์แรง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) พบว่า สถานที่ที่มีค่าสูงสุด มีค่าน้อยกว่า TEL ทั้งของ Swartz (1999) และ NOAA (1999) เพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 4-5 และตาราง ง-2 ภาคผนวก ง) โดยค่าเฉลี่ยของ B[a]P จาก 62 สถานีในการศึกษาครั้งนี้ เท่ากับ  $8.53 \pm 15.2$  ng/g dry weight

สถานีที่มีความเข้มข้นของ B[a]P มากกว่าค่าเฉลี่ย มีอยู่ 9 สถานี ดังนี้

- สถานี 16 เป็นสถานีที่มีค่า B[a]P 86.4 ng/g dry weight ซึ่งสูงที่สุดจาก 62 สถานีที่ศึกษาในครั้งนี้ สถานีนี้อยู่นอกชายฝั่งระยองของหน้านิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด
- สถานี 6 อยู่บริเวณปากอ่าวไทยตอนบน มีค่า B[a]P 57.4 ng/g
- สถานี 101 อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเกาะสมุย มีค่า B[a]P 52.3 ng/g
- สถานี 94 อยู่กลางอ่าวบริเวณที่มีแท่นขุดเจาะปิโตรเลียม มีค่า B[a]P 39.7 ng/g
- สถานี 168 อยู่กลางอ่าวบริเวณที่มีแท่นขุดเจาะปิโตรเลียม มีค่า B[a]P 34.0 ng/g
- สถานี 189 อยู่นอกชายฝั่งปัตตานี-นราธิวาส มีค่า B[a]P 29.8 ng/g
- สถานี 183 อยู่นอกชายฝั่งปัตตานี-นราธิวาส มีค่า B[a]P 19.5 ng/g
- สถานี 84 อยู่บริเวณกลางอ่าว มีค่า B[a]P 11.0 ng/g
- สถานี 3 อยู่บริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน มีค่า B[a]P 8.71 ng/g



- (1) คลองในกรุงเทพฯ (Boonyatumanond et al., 2006);
- (2) แม่น้ำเจ้าพระยา (Boonyatumanond et al., 2006);
- (3) ปากแม่น้ำเจ้าพระยา (Boonyatumanond et al., 2006);
- (4) ชายฝั่งทั้งหมด (Boonyatumanond et al., 2006);
- (5) นอกชายฝั่ง จ. พังงา (Tipmanee et al., 2012);
- (6) เกาะสีชัง (Wattayakorn and Boonperm, 2014);
- (7) Jobos Bay, Puerto Rico (Aldarondo-Torres et al., 2010);
- (8) Gulf of Gela, Italy (Orecchio et al., 2010);
- (9) Kaohsiung Harbor, Taiwan (Chen and Chen, 2011);
- (10) Lenga Estuary, central Chile (Pozo et al., 2011);
- (11) Yangtze Estuary, China (Li et al., 2012);
- (12) Zhanjiang Bay, South China (Huang et al., 2012);
- (13) Northern Adriatic Sea, Italy (Acquavita et al., 2014);
- (14) Gorgan Bay, Caspian Sea (Araghi et al., 2014);
- (15) อ่าวไทย (การศึกษาครั้งนี้)

รูปที่ 4-20 กราฟระดับความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs (ng/g dry weight) ในดินตะกอนผิวหน้าของพื้นที่ต่างๆ

#### 4.4.6 การประเมินแหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย

PAHs ที่ปนเปื้อนลงสู่ทะเล มีทั้งที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic sources) ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง การเผาขยะ และที่มาจากธรรมชาติ (natural sources) ได้แก่ การรั่วซึมของน้ำมันจากใต้ผิวดิน น้ำมันดิน ถ่านหิน หรือไฟฟ้า (Yunker et al., 2002) โดยลงสู่ทะเลได้หลายทางด้วยกัน เช่น ผ่านทางแม่น้ำ จากการชะล้างในชั้นบรรยากาศ หรือน้ำที่ทิ้งจากเรือ (Maher and Aislabie, 1992)

แหล่งกำเนิดของ PAHs แบ่งตามกระบวนการเกิดออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) (Page et al., 1999) PAHs ที่มาจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ส่วนใหญ่มีมวลโมเลกุลต่ำ มีจำนวนวงแหวน 2-3 วง เช่น Nap, Acy, Ace, FL, Phe และ An ส่วน PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ได้แก่ การเผาไหม้ของน้ำมัน, ถ่านหิน หล้าหรือไม้ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีมวลโมเลกุลสูง 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)

ในการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยใช้ Diagnostic Ratio ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัดส่วนไอโซเมอร์ (isomer ratio) ของ 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+Pry) (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)  $\Sigma$ LPAHs (2-3 วง)/ $\Sigma$ HPAHs (4-6 วง) (Budzinski et al., 1997; De Luca et al., 2005)

โดยหาความสัมพันธ์กัน เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs ว่าเป็นแหล่งกำเนิดแบบ petrogenic หรือ pyrogenic เกณฑ์ที่ใช้ในการบ่งชี้ประเภทแหล่งกำเนิดของแต่ละสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนมวลโมเลกุล แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3-2 ในบทที่ 3 ผลการคำนวณค่าสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนมวลโมเลกุลของแต่ละสถานีรายงานในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้า  
อ่าวไทย

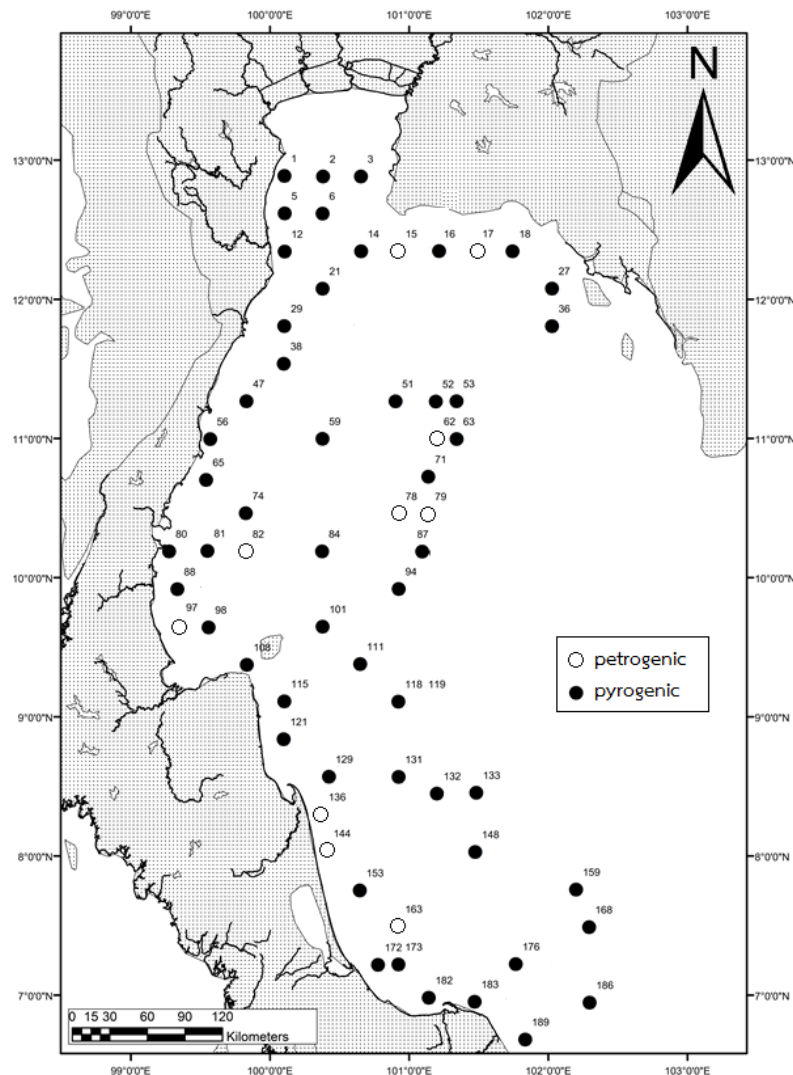
สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	$\Sigma$ LPAHs/ $\Sigma$ HPAHs
1	0.42	0.55	0.01	0.57	0.02
2	0.55	0.57	0.55	1.00	0.04
3	0.38	0.55	0.02	0.37	1.81
5	0.47	0.13	0.55	0.38	0.06
6	0.76	0.00	0.74	0.52	0.01
12	0.50	0.23	0.55	1.00	0.04
14	0.68	0.62	0.66	0.28	2.25
15	0.23	0.19	0.05	0.52	1.79
16	0.66	0.56	0.08	0.28	0.09
17	0.60	0.38	0.01	0.16	0.40
18	0.36	0.32	0.02	0.31	0.22
21	0.55	0.73	0.19	0.28	5.24
27	0.11	0.57	0.59	0.38	7.03
29	0.77	0.20	0.40	0.36	0.96
36	0.49	0.18	0.04	0.44	0.82
38	0.85	0.27	0.46	0.38	0.46
47	0.73	0.14	0.01	0.37	0.79
51	0.29	0.47	0.02	0.27	2.54
52	0.93	0.42	0.03	0.35	1.15
53	0.50	0.91	0.01	0.45	1.07
56	0.12	0.47	0.02	0.16	0.48
59	0.47	0.09	0.06	0.24	0.16
62	0.90	0.39	0.01	0.46	1.76
63	0.63	0.43	0.44	0.55	2.47
65	0.21	0.51	0.11	0.20	1.96
71	0.53	0.27	0.03	0.34	0.69
74	0.44	0.40	0.04	0.38	2.91
78	0.12	0.34	0.01	0.40	1.95
79	0.50	0.14	0.02	0.47	1.04
80	0.16	0.12	0.01	0.33	0.35
81	0.53	0.32	0.11	0.30	0.42



ตารางที่ 4-7 (ต่อ)

สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pyr	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	$\Sigma$ LPAHs/ $\Sigma$ HPAHs
82	0.09	0.18	0.01	0.42	0.70
84	0.32	0.73	0.06	0.26	0.87
87	0.56	0.84	0.01	0.49	1.18
88	0.17	0.59	0.14	0.28	0.90
94	0.19	0.36	0.10	0.37	0.14
97	0.55	0.41	0.09	0.18	6.59
98	0.61	0.50	0.02	0.29	1.05
101	0.27	0.05	0.70	0.51	0.35
108	0.21	0.10	0.55	0.35	1.20
111	0.49	0.41	0.03	0.24	0.41
115	0.61	0.57	0.03	0.48	2.41
118	0.29	0.09	0.01	0.29	0.42
121	0.17	0.13	0.02	0.43	0.63
129	0.21	0.12	0.55	0.32	0.77
131	0.57	0.21	0.26	0.33	0.38
132	0.71	0.26	0.02	0.46	0.99
133	0.25	0.52	0.02	0.35	2.73
136	0.67	0.24	0.55	0.00	2.16
144	0.60	0.38	0.03	0.39	1.50
148	0.46	0.44	0.23	0.24	0.71
153	0.15	0.21	0.01	0.37	0.29
159	0.25	0.76	0.01	0.27	0.22
163	0.21	0.15	0.09	0.60	1.30
168	0.11	0.73	0.69	0.32	0.22
172	0.27	0.18	0.06	0.49	0.52
173	0.44	0.67	0.05	0.37	0.62
176	0.27	0.63	0.05	0.26	0.83
182	0.70	0.45	0.02	0.49	0.75
183	0.86	0.19	0.55	1.00	0.04
186	0.61	0.13	0.55	0.33	0.22
189	0.32	0.31	0.05	0.51	0.31

ผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดในแต่ละสถานีจากค่าสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนมวลโมเลกุลจากค่าที่ได้ในตารางที่ 4-7 เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลัก รายงานไว้ในตาราง ฉ-1 ในภาคผนวก ฉ รูปที่ 4-21 แสดงแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในแต่ละสถานี ซึ่งพบว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยที่ศึกษาทั้ง 62 สถานี มีอยู่ 52 สถานี (ร้อยละ 83.9) ที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนอีก 10 สถานีที่เหลือ (ร้อยละ 16.1) มีแหล่งกำเนิดหลักจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ได้แก่ สถานี 15, 17, 62, 78, 79, 82, 97, 136, 144 และ 163 โดย สถานี 15, 17, 136, 144 และ 163 เป็นสถานีชายฝั่ง สถานี 62, 78, 79 และ 97 อยู่ใกล้แท่นฯ ส่วน สถานี 82 เป็นสถานีกลางอ่าว



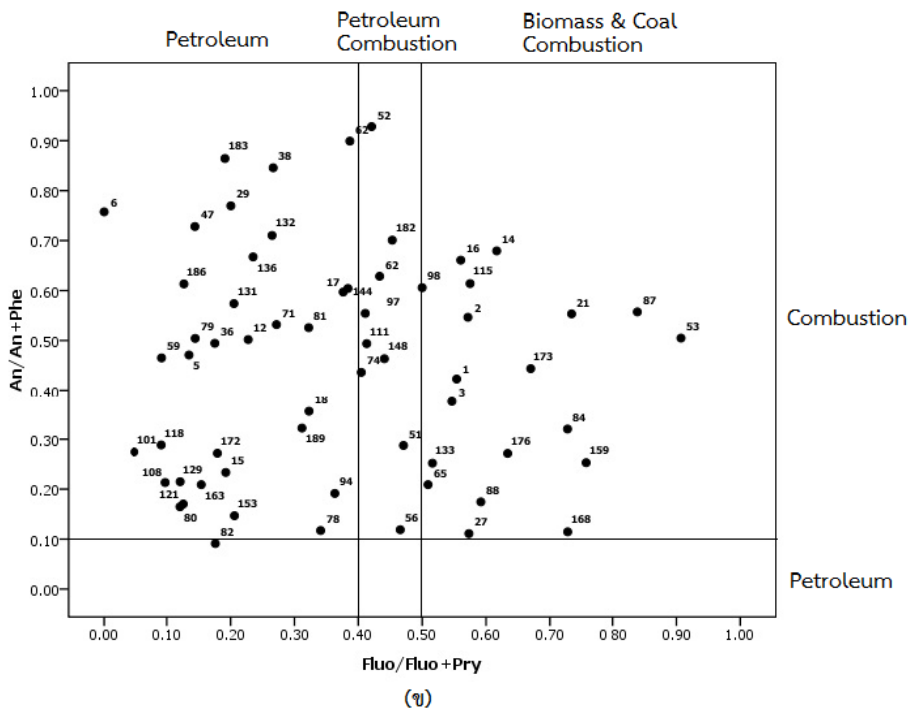
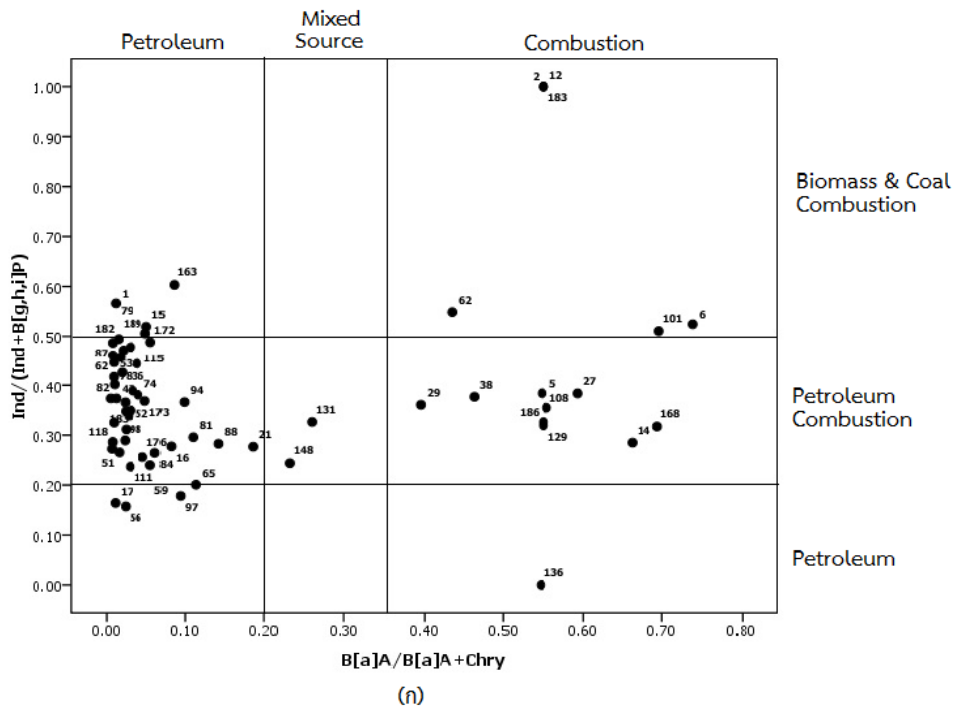
รูปที่ 4-21 แผนภาพแสดงแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าแต่ละสถานีในอ่าวไทย

เมื่อวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยนำสัดส่วนไอโซเมอร์ หรือ diagnostic ratio ในตารางที่ 4-7 มาจับคู่หาความสัมพันธ์ ระหว่าง  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$  กับ  $\text{B}[\text{a}]\text{A}/(\text{B}[\text{a}]\text{A}+\text{Chry})$  และระหว่าง  $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$  กับ  $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$  กับ  $\text{B}[\text{a}]\text{A}/(\text{B}[\text{a}]\text{A}+\text{Chry})$  แสดงในรูปที่ 4-22ก เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน  $\text{B}[\text{a}]\text{A}/(\text{B}[\text{a}]\text{A}+\text{Chry})$  ก่อน จะเห็นว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม ขณะที่สัดส่วน  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$  บ่งชี้ว่า PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ จากความสัมพันธ์ระหว่างคู่สัดส่วน  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$  และ  $\text{B}[\text{a}]\text{A}/(\text{B}[\text{a}]\text{A}+\text{Chry})$  อาจกล่าวได้ว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก

ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่  $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$  กับ  $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$  แสดงในรูปที่ 4-22ข เมื่อแยกพิจารณาสัดส่วน  $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$  ก่อน จะเห็นว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งปิโตรเลียม และกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่สัดส่วน  $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$  บ่งชี้ว่า PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทั้งสิ้น จากความสัมพันธ์ระหว่างคู่สัดส่วน  $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$  กับ  $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$  อาจกล่าวได้ว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก

จากการใช้ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio ระหว่างคู่สัดส่วนไอโซเมอร์ทั้ง 2 คู่ เพื่อ บ่งชี้แหล่งกำเนิด (รูปที่ 4-22) ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ PAHs ที่ปนเปื้อนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้เป็นการยากที่จะระบุให้ชัดเจนไปว่าแหล่งกำเนิด PAHs ของแต่ละสถานีมาจากที่ใด ทั้งนี้เพราะอ่าวไทยเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมขนส่งทางเรือ การประมง และแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นแหล่งกำเนิด PAHs ทั้งสิ้น



รูปที่ 4-22 สัดส่วนของdiagnostic ratio ระหว่าง ก)  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$  และ  $\text{B}[\text{a}]\text{A}/(\text{B}[\text{a}]\text{A}+\text{Chry})$  และ ข)  $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$  และ  $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$  ในดินตะกอนฝิวหน้าอ่าวไทย

#### 4.4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร

สถิติแบบหลายตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย ประกอบด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) และ Hierarchical Cluster Analysis การใช้เทคนิค Principle Component Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs ขณะที่เทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA) จะช่วยจับกลุ่มข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ด้วยกัน การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปรในการศึกษาครั้งนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 16.0

ในการวิเคราะห์ข้อมูลตามชนิด PAHs ใช้เทคนิค PCA เพียงวิธีเดียว เนื่องจากการใช้เทคนิค HCA ในการแบ่งกลุ่มตามชนิด PAHs ไม่สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ได้อย่างชัดเจน เนื่องจาก PAHs ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กปะปนอยู่กับ PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ามีความหลากหลายของแหล่งกำเนิด PAHs กอปรกับการแบ่งกลุ่มด้วยวิธี HCA นั้นอาศัยระยะทางของความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย และอาศัยความสัมพันธ์ของการแบ่งกลุ่มเพียงแค่ 2 มิติ จึงทำให้การแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิคนี้ให้ผลที่ไม่ค่อยชัดเจนนัก ขณะที่การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เป็นการวิเคราะห์ในหลายมิติ จึงเห็นผลที่ชัดเจนกว่า ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่าง PAHs นั้น ใช้ทั้งเทคนิค PCA และ HCA

##### 4.4.7.1 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs

จากการจัดกลุ่มตามชนิด PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue  $> 1$  ด้วยวิธีการหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 4 มิติ ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4-8 การจับกลุ่มกันของ PAHs แต่ละชนิด แสดงในรูปที่ 4-23 พบว่า PAHs ที่ค่า Rotated Component Matrix ในแต่ละชนิด  $> 0.6$  มีการจับกลุ่ม ดังนี้

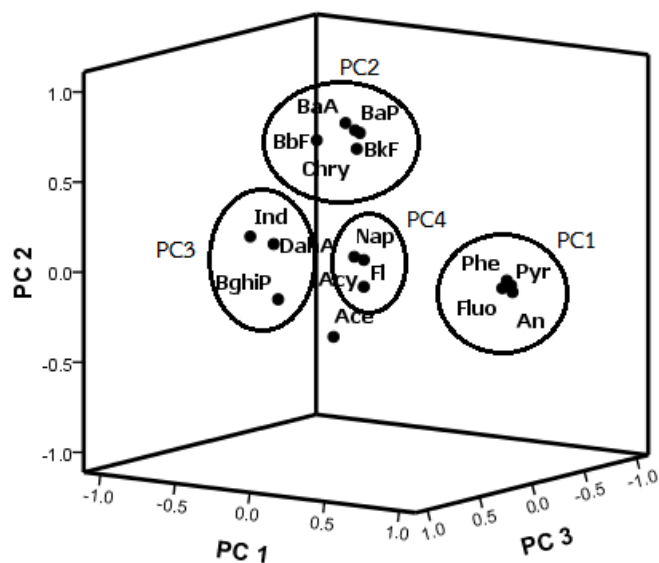
- องค์ประกอบที่ 1 (PC1) ให้ค่า Variance 24.6% ได้แก่ Phe, An, Fluo และ Pyr ซึ่งเป็น PAHs ที่มีวงแหวน 3-4 วง PAHs ในกลุ่มนี้มีที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และการเผาไหม้ของน้ำมันและถ่านหิน (Fang et al., 2006; Larsen and Baker, 2003)

- องค์ประกอบที่ 2 (PC2) ให้ค่า Variance 19.0% ได้แก่ B[a]A, B[b]F, B[k]F, B[a]P และ Chry ซึ่งเป็น PAHs ที่มีวงแหวน 4-5 วง และเป็นชนิดที่เกิดมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล (Larsen and Baker, 2003)
- องค์ประกอบที่ 3 (PC3) ให้ค่า Variance 14.7% โดยในองค์ประกอบนี้พบ PAHs ชนิดมวลโมเลกุลสูงสุด มีวงแหวน 5-6 วง ได้แก่ Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล (Liu et al., 2009; Motelay-massei et al., 2007)
- องค์ประกอบที่ 4 (PC4) ให้ค่า Variance 11.8% โดยในองค์ประกอบนี้มี PAHs ขนาดโมเลกุลที่มีวงแหวนเพียง 2-3 วง ได้แก่ Nap, Acy และ Fl ที่มาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Yunker et al., 1996) ส่วน PAHs ชนิด Ace พบน้อยมาก

ตารางที่ 4-8 Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดของดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

PAHs	PC1	PC2	PC3	PC4
Nap	-0.054	0.037	0.035	<b>0.826</b>
Acy	-0.116	-0.013	-0.145	<b>0.819</b>
Ace	-0.026	-0.370	0.273	0.037
Fl	0.053	-0.110	0.097	<b>0.798</b>
Phe	<b>0.906</b>	-0.011	-0.052	-0.051
An	<b>0.925</b>	-0.039	-0.068	-0.113
Fluo	<b>0.918</b>	-0.043	0.007	0.177
Pyr	<b>0.917</b>	-0.080	-0.091	-0.126
B[a]A	-0.071	<b>0.786</b>	0.094	-0.228
Chry	-0.106	<b>0.616</b>	-0.064	-0.241
B[b]F	-0.121	<b>0.715</b>	0.298	-0.002
B[k]F	-0.034	<b>0.745</b>	0.058	0.188
B[a]P	0.100	<b>0.764</b>	0.201	0.126
Ind	-0.164	0.259	<b>0.873</b>	-0.049
D[a,h]A	-0.035	0.225	<b>0.832</b>	-0.314
B[g,h,i]P	0.000	-0.077	<b>0.840</b>	0.313
Variance (%)	24.6	19.0	14.7	11.8
Cumulative (%)	24.6	43.7	58.4	70.2

<sup>a</sup> bold loading > 0.6



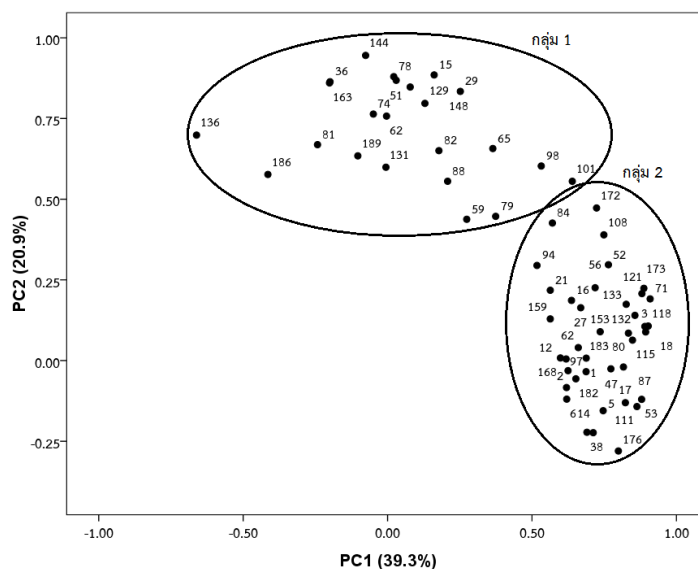
รูปที่ 4-23 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลตามชนิด PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA) ที่ค่า Rotated Component Matrix ในแต่ละชนิด  $> 0.6$

จากองค์ประกอบทั้ง 4 เมื่อใช้เทคนิค PCA จัดกลุ่มตามชนิดของ PAHs บ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ชนิดที่พบในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย มาจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเป็นหลัก ซึ่งสอดคล้องและยืนยันการใช้สัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนมวลโมเลกุลในรูปที่ 4-21 หัวข้อ 4.4.6 ที่พบว่า 83.9% ของสถานีที่ศึกษามีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปิโตรเลียม และสถานีที่เหลืออีก 16.1% มาจากการปนเปื้อนของปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้

#### 4.4.7.2 วิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

ก) วิเคราะห์ด้วย Principle Component Analysis

จากการจัดกลุ่มสถานีตามการปนเปื้อนของ PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue  $> 1$  ด้วยวิธีการหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 2 มิติ ผลการแบ่งกลุ่มตามสถานี แสดงในรูปที่ 4-24 องค์ประกอบที่ 1 (PC1) ให้ค่า Variance 39.3% และองค์ประกอบที่ 2 (PC2) ให้ค่า Variance 20.9% โดยพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสถานีออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้



รูปที่ 4-24 แผนภาพผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ด้วยเทคนิค Principle Component Analysis (PCA)

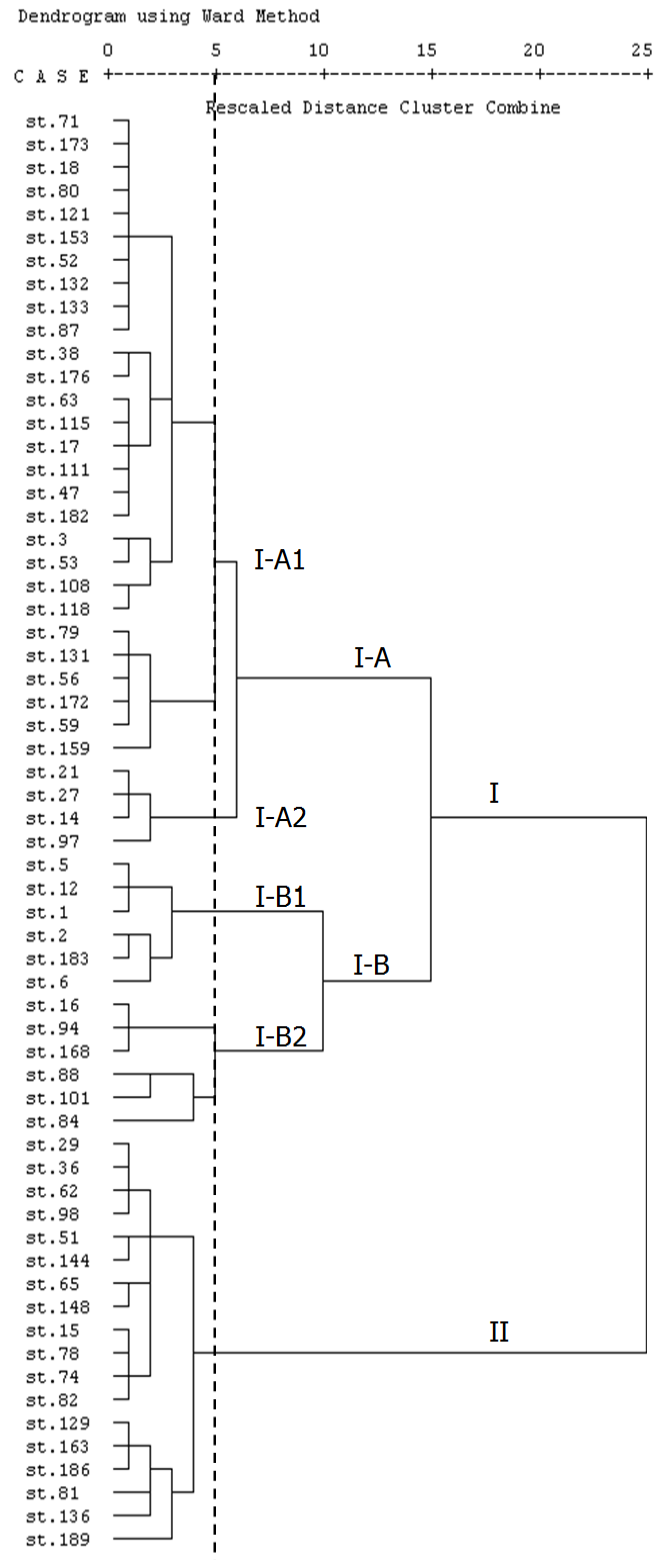
กลุ่มที่ 1 มี 39 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีในตอนบนของอ่าวไทย และสถานีในอ่าวไทยตอนล่างบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช และส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้เป็นการรวมกลุ่มของสถานีที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

กลุ่มที่ 2 มี 23 สถานี ส่วนใหญ่เป็นสถานีในอ่าวไทยตอนกลางตั้งแต่จังหวัดชุมพรถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานี และอ่าวไทยตอนล่างบริเวณจังหวัดพัทลุง และพบว่า PAHs ในสถานีกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้

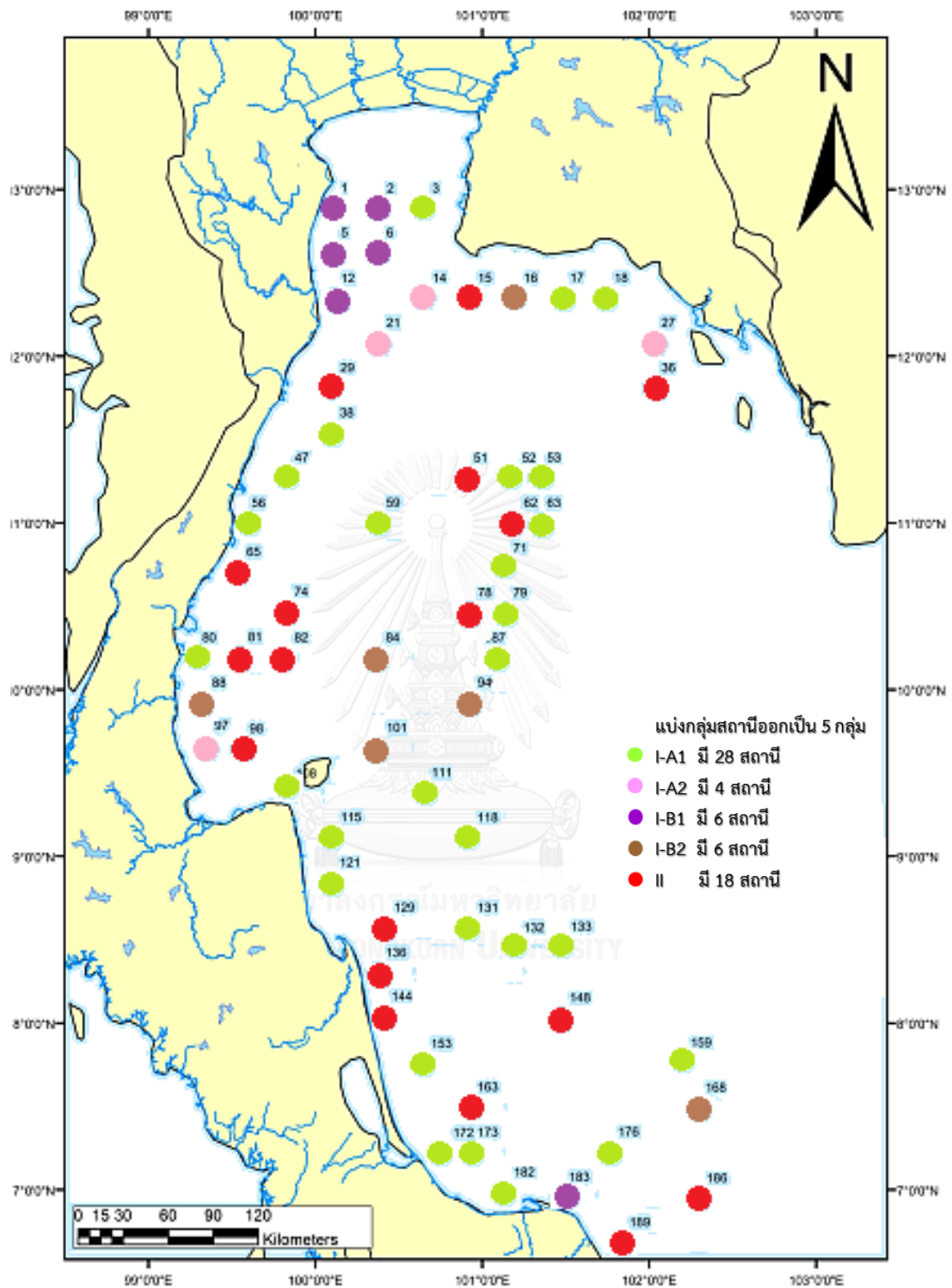
#### ข) Hierarchical Cluster Analysis

จากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs เพื่อแบ่งกลุ่มตามสถานี ด้วยเทคนิค HCA โดยเลือกใช้ Square Euclidean distance วัดระยะห่างระหว่าง case แต่ละคู่ และเลือกใช้ Ward's method เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม และอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกันของปริมาณ PAHs ในแต่ละชนิดในแต่ละสถานี ผลการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลตามสถานี แสดงโดย Dendrogram ดังรูปที่ 4-25 พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มสถานีออกได้เป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4-26 ชนิดและปริมาณ PAHs ในแต่ละสถานีของแต่ละกลุ่มแสดงในรูปที่ 4-27 กลุ่มสถานีทั้ง 5 กลุ่ม ดังตารางที่ 4-9

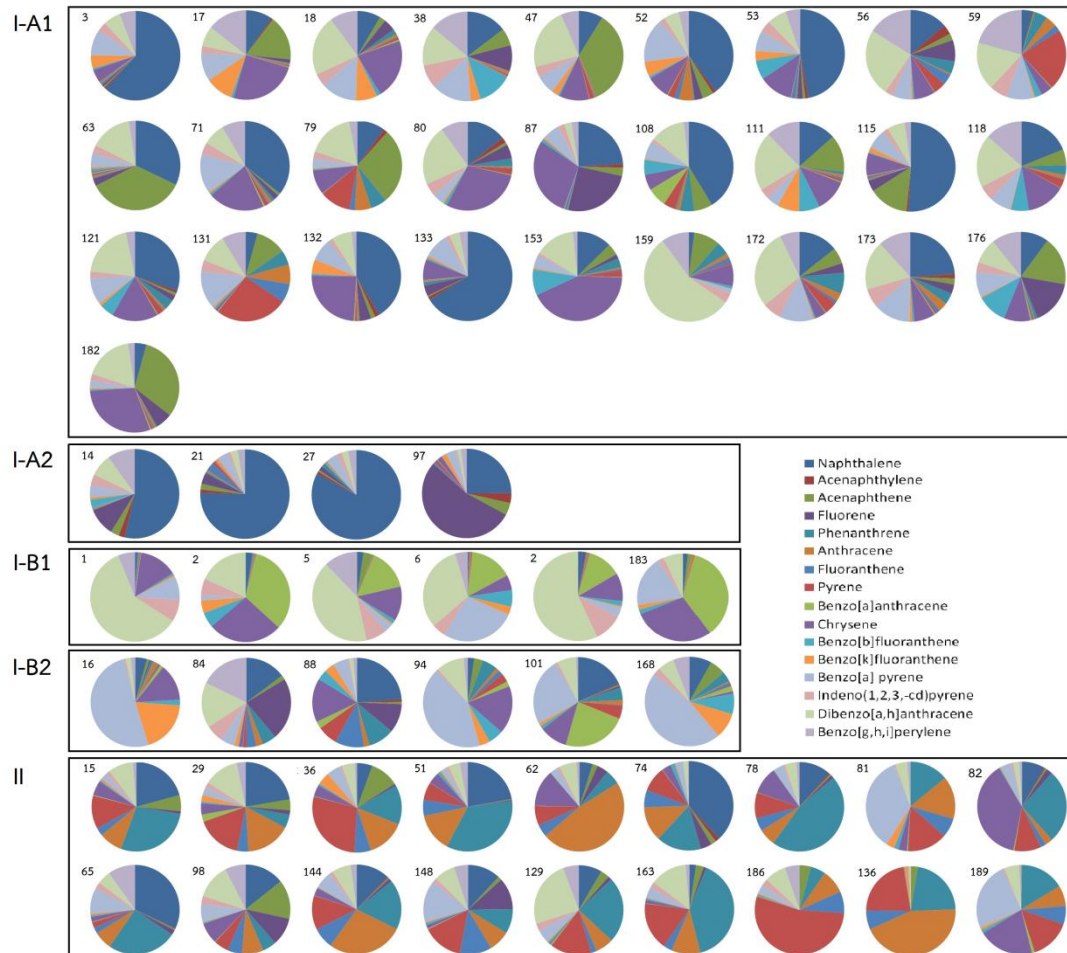




รูปที่ 4-25 แผนภาพการจัดกลุ่มข้อมูลตามสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนอ่าวไทยด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (HCA)

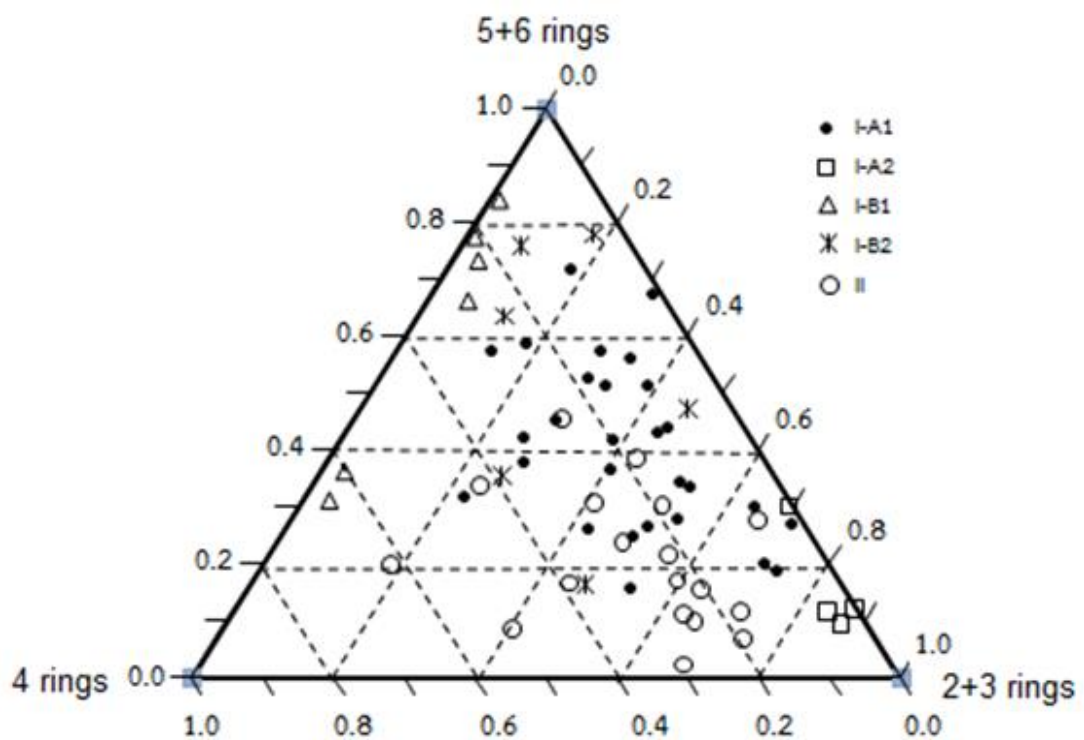


รูปที่ 4-26 แผนภาพแสดงกลุ่มสถานีเก็บตัวอย่างในอ่าวไทยที่มีความคล้ายคลึงกันของ PAHs ในดิน ตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย



รูปที่ 4-27 แผนภาพวงกลมแสดงสัดส่วนชนิดและปริมาณ PAHs ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างดิน ตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยของแต่ละกลุ่มของการจำแนกโดย Hierarchical Cluster Analysis (HCA) ตามสถานี

เมื่อนำสัดส่วนของ PAHs ที่มีโครงสร้างวงแหวน 2-3, 4 และ 5-6 วง ในตาราง ง-3 ภาคผนวก ง มาพล็อต Triangular diagram เพื่อหาความสัมพันธ์ (Li et al., 2012) ดังรูปที่ 4-28 และเปรียบเทียบกับกลุ่มสถานีตามการแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิค HCA ข้างต้น พบว่ากลุ่มสถานีที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันตามการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค HCA มีสัดส่วนของ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนคล้ายคลึงกัน ดังตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-28 Triangular diagram แสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วน PAHs ที่มีโครงสร้างวงแหวน 2-3, 4 และ 5-6 วง เปรียบเทียบกับกลุ่มสถานีตามการแบ่งกลุ่มด้วยเทคนิค HCA

ตารางที่ 4-9 กลุ่มสถานีจากการวิเคราะห์ข้อมูล PAHs ด้วยเทคนิค HCA และองค์ประกอบหลักของ PAHs ในแต่ละกลุ่มจากการวิเคราะห์ด้วยการพล็อตสัดส่วนจำนวนวงแหวน 2-3, 4 และ 5-6 วง ในแต่ละสถานีของแต่ละกลุ่ม ด้วย Triangular diagram

กลุ่ม	จำนวนสถานี	สถานี	ลักษณะทั่วไป	จำนวนวงแหวนในแต่ละกลุ่ม
I-A1	28	3, 17, 18, 38, 47, 52, 53, 56, 59, 63, 71, 79, 80, 87, 111, 108, 115, 118, 121, 131, 132, 133, 153, 159, 172, 173, 176 และ 182	มีความหลากหลายของชนิด PAHs แต่ก็ยังพบว่าเป็นกลุ่มที่มี Nap กับ Fl เป็นหลัก	เป็นกลุ่มสถานีที่ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 4 วง ในปริมาณที่น้อยกว่า 50% โดยส่วนใหญ่จะเป็น PAHs ชนิดที่มีวงแหวน 2-3 และ 5-6 วง ซึ่งในกลุ่มนี้เป็นสถานีใกล้ชายฝั่งและใกล้กับแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
I-A2	4	14, 21, 27 และ 97	มี Nap เป็นหลัก	เป็นกลุ่มสถานีที่ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 2-3 วง มากกว่า 70% ซึ่งส่วนมากพบว่าเป็น Nap และพบว่าเป็นสถานีใกล้ชายฝั่งและใกล้กับแท่นขุดเจาะปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
I-B1	6	1, 2, 5, 6, 12 และ 183	ส่วนใหญ่เป็น PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่ (วงแหวน 4-6 วง) และมี D[a,h]A เป็นหลัก	เป็นกลุ่มสถานีที่ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 4-6 วง เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในกลุ่มนี้เป็นสถานีในพื้นที่ที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยตอนบน

ตารางที่ 4-9 (ต่อ)

กลุ่ม	จำนวน สถานี	สถานี	ลักษณะทั่วไป	จำนวนวงแหวนในแต่ละกลุ่ม
I-B2	6	16, 84, 88, 94, 101 และ 168	ค่อนข้างที่จะมีความ หลากหลาย แต่ส่วนใหญ่ทุก สถานีจะมี B[a]P มาก	เป็นกลุ่มสถานีที่ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 5-6 วง เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพบว่าเป็นทั้ง พื้นที่ชายฝั่งและกลางอ่าว
II	18	15, 29, 36, 51, 62, 65, 74, 78, 81, 82, 98, 129, 136, 144, 148, 163, 186 และ 189	มี PAHs โครงสร้างเล็กเป็น ส่วนใหญ่	เป็นกลุ่มสถานีที่ประกอบด้วย PAHs ที่มีวงแหวน 2-3 วง อยู่ ในช่วง 20% ถึง 80% ซึ่ง พบว่าส่วนใหญ่เป็นสถานีใกล้ ชายฝั่ง

#### 4.4.7.3 ความสัมพันธ์ทางสถิติของ PAHs กับปัจจัยต่างๆ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณรวมของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ( $\Sigma$ PAHs) ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand: >63  $\mu$ m, %silt: 2-63  $\mu$ m และ %clay: <2  $\mu$ m) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในดินตะกอน พบว่าปริมาณ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทยกับ %sand, %silt, %clay และ %OC ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ดังตารางที่ 4-10 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่อ่าวไทยเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง มีปัจจัยของแหล่งกำเนิดของ PAHs จำนวนมาก ทั้งที่มาจากปิโตรเลียมโดยตรง หรือจากกระบวนการเผาไหม้ จึงทำให้พบว่าการสะสมในทุกพื้นที่ โดยแทบจะไม่ขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพ และเคมีของดินตะกอน

ตารางที่ 4-10 ความสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation) ระหว่างปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ( $\Sigma$ PAHs) ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในรูปสมมูลโครซีน (PHCs) ขนาดอนุภาคดินตะกอน (%sand, %silt และ %clay) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่าย (%OC) ในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

Pearson Correlations	$\Sigma$ PAHs (ng/g)	PHCs (ng/g)	%sand	%silt	%clay	%OC
$\Sigma$ PAHs (ng/g)	1.000	-0.047	0.074	-0.112	-0.034	-0.123
PHCs (ng/g)		1.000	-0.242	0.245	0.182	0.059
%sand			1.000	-0.728**	-0.918**	-0.302*
%silt				1.000	0.396**	0.285*
%clay					1.000	0.239
%OC						1.000

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

นอกจากนี้ปริมาณ  $\Sigma$ PAHs ยังไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับปริมาณ PHCs ในดินตะกอน ดังตารางที่ 4-10 แต่ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (รูปที่ 4-8 และ 4-15) พบว่าบางพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของ PHCs สูงก็จะพบว่ามี  $\Sigma$ PAHs สูงเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดของ PHCs และ PAHs ค่อนข้างชัดเจน ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งจังหวัดระยอง ชุมพร นครศรีธรรมราช ที่มีท่าเทียบเรือ อยู่ต่อเรือ และยังเป็นพื้นที่ใกล้แทนจุดเจาะน้ำมัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย 144 สถานี พบว่าดินตะกอนในอ่าวไทยตอนล่างมีขนาดค่อนข้างละเอียดกว่าอ่าวไทยตอนกลาง ดินตะกอนนอกชายฝั่งเพชรบุรีถึงชุมพร และสงขลาถึงปัตตานีจะหยาบกว่าพื้นที่อื่น ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ( $>63 \mu\text{m}$ ) ทรายแป้ง ( $2-63 \mu\text{m}$ ) และดินเหนียว ( $<2 \mu\text{m}$ ) ของดินตะกอนอ่าวไทยตอนกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $37.2 \pm 28.9\%$ ,  $26.4 \pm 13.9\%$  และ  $36.4 \pm 21.0\%$  ตามลำดับ ขณะที่อ่าวไทยตอนล่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $27.1 \pm 23.1\%$ ,  $30.0 \pm 10.2\%$  และ  $43.0 \pm 18.0\%$  ตามลำดับ

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนอ่าวไทยตอนกลางสูงกว่าอ่าวไทยตอนล่างเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.22% ถึง 2.20% และ 0.11% ถึง 1.68% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.89 \pm 0.50\%$  และ  $0.68 \pm 0.31\%$  ตามลำดับ ทางฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนกลางและแถบชายฝั่งด้านตะวันตกของตั้งแต่จังหวัดชุมพรจนถึงสุราษฎร์ธานีมีคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าที่อื่น และพื้นที่ดังกล่าวยังมีดินตะกอนขนาดละเอียด ( $<63 \mu\text{m}$ ) สูงกว่าบริเวณอื่น ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสะสมสารอินทรีย์มาก อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวอยู่ใกล้กับชายฝั่งที่มีแม่น้ำสายใหญ่ที่พาสารอินทรีย์มากับน้ำท่า

ระดับการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (PHCs) ในรูปสมมูลโครซีน (chrysene equivalent) ในดินตะกอนอ่าวไทยตอนกลางและตอนล่าง ค่อนข้างใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด-สูงสุด) เท่ากับ  $0.254 \pm 0.128$  ( $0.027-0.664$ ) และ  $0.265 \pm 0.092$  ( $0.028-0.664$ )  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ และมีค่ากลาง (median) เท่ากับ 0.228 และ 0.258  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ และมีค่ากลางของ PHCs ในดินตะกอนผิวหน้าทั้งอ่าวไทย เท่ากับ 0.246  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene



อย่างไรก็ตาม บางสถานีที่มีค่า PHCs สูงกว่าสถานีอื่นมาก ได้แก่ สถานี 16, 53 และ 81 ในอ่าวไทยตอนกลาง ซึ่งมี PHCs เท่ากับ 0.664, 0.646, 0.603  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ และสถานี 131 และ 136 ในอ่าวไทยตอนล่าง ที่มีค่า PHCs เท่ากับ 0.501 และ 0.664  $\mu\text{g/g}$  dry weight as chrysene ตามลำดับ

ทั้งนี้พบว่า สถานี 16 เป็นสถานีชายฝั่งหน้านิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการขนถ่ายก๊าซและน้ำมันปิโตรเลียมนอกชายฝั่ง สถานี 53 เป็นสถานีใกล้เคียงกับแหล่งน้ำมันจัสมินและบานเย็น สถานี 81 อยู่บนอกชายฝั่งชุมพรใกล้แหล่งน้ำมัน นางนวล และบริเวณปากน้ำชุมพร สถานี 131 อยู่กลางอ่าว และสถานี 136 อยู่บนอกชายฝั่งปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช อย่างไรก็ตาม ค่า PHCs ในดินตะกอนอ่าวไทยในครั้งนี้ ยังมีช่วงค่าที่ต่ำกว่าในการศึกษาอื่นซึ่งเก็บตัวอย่างในพื้นที่ใกล้ชายฝั่งมากกว่า และยังจัดว่ามีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าที่รายงานไว้ในต่างประเทศ (ดูรูปที่ 4-9 ในบทที่ 4)

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างจากอ่าวไทยทั้งอ่าวตามระบบกริด ซึ่งไม่จำเพาะเจาะจงแหล่งกำเนิด ผลการตรวจวัดจึงเป็นค่าพื้นฐาน (baseline) ของ PHCs ในรูปสมมูลโครซีน (chrysene equivalent) ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย ณ ปัจจุบัน

จาก 62 สถานี ที่สุ่มเลือกมาศึกษาในระดับการปนเปื้อนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 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]A และ B[g,h,i]P พบว่าค่า PAHs รวม ( $\Sigma$ PAHs) ทั้ง 16 ชนิดในดินตะกอน มีค่าอยู่ในช่วง 21.2 ถึง 216  $\text{ng/g}$  dry weight มีค่าเฉลี่ยและค่ากลางเท่ากับ  $75.5 \pm 48.5$  และ 65.2  $\text{ng/g}$  dry weight ตามลำดับ สถานีที่มีค่า  $\Sigma$ PAHs สูงโดดกว่าสถานีอื่นมากคือ สถานี 6, 84 และ 101 ที่มีค่าเกิน 200  $\text{ng/g}$  dry weight สถานี 6 เป็นสถานีในเขตต่อเนื่องกับอ่าวไทยตอนบน สถานี 84 และ 101 อยู่กลางอ่าว นอกจากนี้ยังมี 10 สถานี ที่มีค่าเกิน 100  $\text{ng/g}$  dry weight ได้แก่ สถานี 2, 14, 16, 21, 27, 51, 88, 159, 183 และ 189 ซึ่งสถานี 16 เป็นสถานีชายฝั่งหน้านิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด ที่มีค่า PHCs สูงเช่นกัน สถานีอื่นนอกจากนี้มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 100  $\text{ng/g}$  dry weight

PAHs ชนิดที่พบมากที่สุดใ้รอบทุกตัวอย่าง คือ Nap, D[a,h]A, B[a]P และ Chry ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าสูงสุดของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด ที่ได้ศึกษาครั้งนี้ มีเพียง Fl และ D[a,h]A ที่มีค่าเกิน Effect Range Low (ERL) แต่ไม่เกิน Effects Range Median (ERM) ของหลายสถาบัน (ดูตารางที่ 4-6 ในบทที่ 4)

ระดับความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทยในการศึกษาครั้งนี้มีช่วงค่าใกล้เคียงกับที่พบในพื้นที่อื่นของประเทศไทย ยกเว้นดินตะกอนที่เก็บตัวอย่างมาจากคลองในกรุงเทพฯ และจากเกาะสีชัง ที่มีค่าสูงกว่าการศึกษาในครั้งนี้มาก ทั้งนี้  $\Sigma$ PAHs ในดินตะกอนจากอ่าวไทย ยังมีค่าที่จัดว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับที่รายงานไว้ในประเทศอื่นมาก (ดูรูปที่ 4-20 ในบทที่ 4)

เมื่อนำสัดส่วนไอโซเมอร์ 4 แบบ คือ An/(An+Phe), Fluo/(Fluo+Pry), Ind/(Ind+B[g,h,i]P), B[a]A/(B[a]A+Chry) และสัดส่วนมวลโมเลกุล 1 แบบ คือ  $\Sigma$ LPAHs/ $\Sigma$ HAPAHs มาวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs พบว่า PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย มีแหล่งที่มาหลักจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) ถึง 83.9% และมาจากปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาไหม้ 16.1% ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดโดยใช้สถิติแบบหลายตัวแปร Principle Component Analysis (PCA) ที่พบว่า มีแหล่งที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นหลัก

ระดับการสะสมของ PHCs และ PAHs ในดินตะกอนอ่าวไทย ไม่มีความสัมพันธ์ทั้งกับขนาดอนุภาคและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ง่ายในดินตะกอน แต่ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปริมาณและการแพร่กระจายของ PHCs กับ PAHs พบว่าบางพื้นที่ที่มีปริมาณความเข้มข้นของ PHCs สูงก็จะพบ PAHs สูงเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ใกล้เคียง เช่น นอกชายฝั่งจังหวัดระยอง ชุมพร นครศรีธรรมราช

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการสะสมของ PAHs เฉพาะในดินตะกอนผิวหน้าเท่านั้น ซึ่งจะบอกได้แค่การสะสมในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาไม่นานนัก การศึกษาดินตะกอนตามความลึก (core sample) จะทำให้เห็นแนวโน้มของการสะสม PAHs จากอดีตจนถึงปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงตามความลึกจะช่วยอธิบายความสัมพันธ์กับกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดซึ่งเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

ในพื้นที่ที่มีค่า PHCs และ/หรือ ΣPAHs ในดินตะกอนสูงกว่าพื้นที่อื่น ควรทำการศึกษาในสัตว์น้ำ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น ในเขตพื้นที่จังหวัดระยอง ชุมพร สุราษฎร์ธานี เพื่อดูการสะสมที่อาจถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร

การศึกษาและการคัดแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากดินตะกอนที่มีค่า PHCs และ/หรือ ΣPAHs สูง จะมีประโยชน์ในการนำมาใช้บำบัดการปนเปื้อนในพื้นที่แทนจุดเจาะที่ปลดประจำการและต้องรื้อถอน (decommission)

## รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2543). พีเอเอช(โพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน). กองการจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 43-49.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2553). หลักเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลเรื่องสารโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน: เอกสารประกอบการประชุมรับฟังความคิดเห็นต่อร่างหลักเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลของประเทศไทย. ครั้งที่ 1. วันที่ 20 เมษายน 2553.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2554). เขตความเสี่ยงต่อน้ำมันรั่วไหลในน่านน้ำทะเลไทย [Online]. from [http://wqm.pcd.go.th/water/images/stories/marine/journal/ns\\_article1\\_dec10\\_wqmb.pdf](http://wqm.pcd.go.th/water/images/stories/marine/journal/ns_article1_dec10_wqmb.pdf). [19 ธันวาคม 2556]
- กรมเจ้าท่า. (2556). สลิดิน้ำมันรั่วไหล (Oil spill) [Online]. from [http://www.md.go.th/safety\\_environment/04\\_4.php](http://www.md.go.th/safety_environment/04_4.php). [19 ธันวาคม 2556]
- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. (2554). รายงานประจำปี 2554 [Online]. from [http://www.dmf.go.th/index\\_pad.php?act=service&sec=annualReport](http://www.dmf.go.th/index_pad.php?act=service&sec=annualReport). [2 ธันวาคม 2556]
- กรมทรัพยากรธรณี. (2550). ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสัณฐานบริเวณอ่าวไทย [Online]. from [http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr\\_web/main.php?filename=aothai\\_geo](http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr_web/main.php?filename=aothai_geo). [20 ตุลาคม 2555]
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่. (2548). การสำรวจปริมาณโลหะหนักและปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในพื้นที่อุตสาหกรรม [online]. from <http://eco-town.dpim.go.th/news/detail.php?id=1016>. [10 มีนาคม 2555]
- กฤตยาพร ทัพพะทัต. (2538). ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วัฒนากร. (2530). ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลและตะกอนจากอ่าวไทย. Paper presented at the รายงานการประชุม สัมนานาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติครั้งที่ 3. วันที่ 6-8 สิงหาคม 2529. สภาวิจัยแห่งชาติ.
- เกศินี สรรวานิช. (2534). ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่บริเวณแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- จรรยา อ่อนทอง. (2549). การประเมินการปนเปื้อนน้ำมันบริเวณปากทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จรรยา สารินทร์. (2537). การกระจายของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิราณีย์ ไชยบุรวิวงศ์. (2544). การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธัญภัทสรณ์ ทองเย็น. (2552). การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมทย์ ไชยสุภกร, ศุภิชัย ตั้งใจตรง, and สมมาตร เนียมนิล. (2546). *Eye on the ocean* หน่วยการเรียนรู้ที่ 1: ฟิสิกส์ในทะเล. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ปริทัศน์ เจริญสิทธิ์. (2551). การจัดทำฐานข้อมูลแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2551. สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- พรพิศ ชูศรี. (2540). ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ และตะกอนดิน บริเวณเกาะสีชัง. ปัญหาพิเศษภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พรศรี สุทธนารักษ์. (2534). ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จ.ระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, and ศุภวัตร ลิ้ม. (2527). ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในอ่าวไทยตอนบน. รายงานปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนูวดี หังสพฤกษ์. (2552). ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำที่ระดับความลึก 1 เมตรในอ่าวไทยโดยวิธีฟลูออเรสเซนซ์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธ ไกยวรรณ. (2556). การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรรณุช ดีละมัน. (2552). การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วราภรณ์ ศรีมูล. (2544). การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์, andวราภรณ์ ฉุยฉาย. (2554). การใช้ประโยชน์เชื้อราทางด้านการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ. วารสารวิชาการและวิจัย สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- ศศิวิมล ไชยณรงค์. (2551). สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ตะกอนดิน แพลงก์ตอน และหอยนางรม บริเวณชายฝั่งอ่างศิลาจังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศิริพร สิงห์ทอง. (2547). การดูดซับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนแม่น้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. (2553). สถิตินำเข้ารายปีของสารก่อมะเร็ง สารก่อการกลายพันธุ์ และสารพิษต่อระบบ [online]. from <http://www.chemtrack.org/stat.asp?TID=2>. [10 พฤศจิกายน 2555]
- สมภพ รุ่งสุภา. (2553). สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ตะกอนดิน แพลงก์ตอน และหอยนางรม บริเวณชายฝั่งอ่างศิลาจังหวัดชลบุรีกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง. รายงานการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน.
- สุธิดา สุวรรณโกสม. (2544). การสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในห่วงโซ่อาหารทางทะเลบริเวณอ่าวเพ จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อัศวิน สิมะขจรบุญ. (2530). ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งพัทธยาถึงตราด. ปัญหาพิเศษภาควิชาวาริชศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

### ภาษาอังกฤษ

- Abdullah, A. R., Woon, W. C., and Bakar, R. A. (1996). Distribution of oil and Grease and petroleum hydrocarbons in the straits of Johor, Peninsular Malaysia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 57, 155-162.

- Acquavita, A., Falomo, J., Predonzani, S., Temberlich, F., Bettoso, N., B., and Giorgio, M. (2014). The PAH level, distribution and composition in surface sediments from a Mediterranean Lagoon: The Marano and Grado Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy). *Mar. Pollut. Bull.*, *81*, 234-241.
- Aldarondo-Torres, J. X., Samara, F., Mansilla-Rivera, I., Age, D. S., and Rodriguez-Sierra, C. J. (2010). Trace metals, PAHs, and PCBs in sediments from the Jobos Bay area in Puerto Rico. *Mar. Pollut. Bull.*, *60*, 1350-1358.
- Araghi, P. E., Bastami, K. D., and Rahmanpoor, S. (2014). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of Gorgan Bay, Caspian Sea. *Mar. Pollut. Bull.*
- Azevedo, D. A., Santos, C. Y. M., and Aquino Neto, F. R. (2002). Identification and seasonal variation of atmospheric organic pollutants in Campos dos Goytacazes, Brazil. *Atmospheric Environ.*, *36*, 2383-2395.
- Barakat, A. O., Mostafa, A., Wade, T. L., Sweet, S. T., and El Sayed, N. B. (2011). Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt. *Mar. Pollut. Bull.*, *62*, 1969-1978.
- Baumard, P., Budzinski, H., and Garrigues, P. (1998). Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the Western Mediterranean Sea. *Environ. Toxicol. Chem.*, *7*, 765-776.
- Blumer, M. (1976). Polycyclic aromatic compounds in nature. *Scientific American*, *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 sediments in Thailand. *Mar. Pollut. Bull.*, *52*, 942-956.
- Budzinski, H., Jones, J., Bellocq, J., Pierard, C., and Garrigues, P. (1997). Evaluation of Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary. *Mar. Chem.*, *58*, 851 p.
- Chen, C., and Chen, C. (2011). Distribution, origin, and potential toxicological significance of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Mar. Pollut. Bull.*, *63*, 417-423.

- De Luca, G., Furesi, A., Micera, G., Panzanelli, A., Piu, P. C., Pilo, M. I., Spano, N., and Sanna, G. (2005). Nature distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia Harbor (Northern Sardinia, Italy). *Mar. Pollut. Bull.*, *50*, 1223–1232.
- Fang, G. C., Wu, Y. S., Chen, J. C., Chang, C. N., and Ho, T. T. (2006). Characteristic of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and source identification for fine and coarse particulates at Taichung Harbor near Taiwan Strait during 2004–2005. *Sci. Total. Environ.*, *366*, 729–738.
- Gary, M. R., and Sam, R. P. (1985). Fundamentals of Aquatic toxicology. *Marcel dekker. Inc. New York*, 666.
- Gogou, A. I., Apostolaki, M., and Stephanou, G. E. (1997). Determination of organic molecular markers in marine aerosols and sediments: one-step flash chromatography compound class fractionation and capillary gas chromatographic analysis. *Chromatogr*, *799*, 215–231.
- Gariviat, 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*.
- Hoffman, E. J., Mills, G. L., Latimer, J. S., and Quinn, J. G. (1984). Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environ. Sci. Technol.*, *18*, 580–587.
- 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.
- Huang, W., Wang, Z., and Yan, W. (2012). Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Zhanjiang Bay and Leizhou Bay, South China. *Mar. Pollut. Bull.*, *64*, 1962–1969.
- IOC/UNESCO. (1982). The determination of petroleum hydrocarbons in sediments. *Manuals and guides. No. 11*, 1–38.
- 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, L. H., Choi, E., and Stenstrom, M. K. (2003). Sediment characteristic phosphorus type and phosphorus release rates between river and lake sediment. *Chem.*, *50*, 53–61.
- 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.
- Kulkarni, P., and Venkataraman, C. (2000). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Mumbai, India. *Atmos. Environ.*, *34*, 2785–2790.
- 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, B., Feng, C., Li, X., Chen, Y., Niu, J., and Shen, Z. (2012). Spatial distribution and source apportionment of PAHs in surficial sediments of the Yangtze Estuary, China. *Mar. Pollut. Bull.*, *64*, 636–643.
- 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. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, *42*, 633–638.
- Liu, Y., Chen, L., Huang, Q. H., Li, W. Y., Tang, Y. J., and Zhao, J. F. (2009). Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Sci. Total Environ.*, *407*, 2931–2938.
- Loring, D. H., and Rantara, R. T. T. (1995). Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. *Reference Method for marine pollution studies, No.63, S.1*, IAEA-UNEP. Monaco.
- 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. *Environmental Protection Agency*, *440*, 481–498.
- Maher, W. A., and Aislabie, J. (1992). Polycyclic aromatic hydrocarbons in nearshore marine sediments of Australia. *Sci. Total Environ.*, *112*, 143–164.
- Mai, B., Fu, J., Sheng, G., Kang, Y., Lin, Z., Zhang, 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.
- Mostafa, A. R., Wade, T. L., Sweet, S. T., Al-Alimi, A. A., and Barakat, A. O. (2009). Distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen. *Journal of Marine Systems*, *78*, 1-8.
- Motelay-massei, A., Ollivon, D., Garban, B., Tiphagne-larcher, K., Zimmerlin, I., and Chevreuril, M. (2007). PAHs in the bulk atmospheric deposition of the Seine river basin: source identification and apportionment by ratios, multivariate statistical techniques and scanning electron microscopy. *Chem.*, *67*, 312–321.
- Mzoughi, N., Dachraoui, M., and Villeneuve, J. A. (2005). Evaluation of aromatic hydrocarbons by spectrofluorometry in marine sediments and biological matrix. *C.R. Chem.*, *8*, 97-102.
- Nadal, M., Schuhmacher, M., and Domingo, J. L. (2004). Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona Country, Spain. *Environ. Pollut.*, *132*, 1-11.
- Netto, A. D. P., Dias, J. C. M., Arbilla, G., Oliveira, L. F., and Berek, J. (2000). Avaliação da contaminação humana por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e seus derivados nitrados: Uma revisão metodológica. *Quim. Nova.*, *23*(6), 765-773.
- NOAA. (1999). Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs) [online]. from <http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf>. [2 ธันวาคม 2556]
- Orecchio, S., Cannata, S., and Culotta, L. (2010). How building an underwater pipeline connecting Libya to Sicilian coast is affecting environment: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments; monitoring the evolution of the shore approach area of the Gulf of Gela (Italy). *Journal of Hazardous Materials*, *181*, 647-658.
- 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 sediments record past human activity : A case study in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.*, *4*, 247-260.

- Pozo, K., Perra, G., Menchi, V., Urrutia, R., Parra, O., Rudolph, A., and Focardi, S. (2011). Levels and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Lengua Estuary, central Chile. *Mar. Pollut. Bull.*, 62, 1572-1576.
- Qiao, M., Wang, C., Huang, S., Wang, D., and Wang, Z. (2006). 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 hydrocarbons assessment in sediment of national parks in southeast Brazil. *Chem.*, 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.
- Sompongchaiyakul, P. (1989). *Analysis of chemical species for trace metals in Near-Shore sediment by sequential leaching method*. Master of science thesis. Chulalongkorn University.
- Swartz, R. C. (1999). Consensus sediment quality guidelines for PAH mixtures. *Environ Toxicol Chem.*, 18, 780-787.
- Tipmanee, D., Deelaman, W., Pongpiachan, S., Schwarzer, K., and Sompongchaiyakul, P. (2012). Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) as a chemical proxy to indicate Tsunami 2004 backwash in Khao Lak coastal area, Thailand. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1441-1451.
- Venkatachalapathy, R., Veerasingam, S., Basavaiah, N., and Ramkumard, T. (2010). Comparison between petroleum hydrocarbon concentrations and magnetic properties in Chennai coastal sediments, Bay of Bengal, India. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 1927-1935.
- Wade, T. L., Soliman, Y., Sweet, S. T., Wolff, G. A., and Presley B.J. (2008). Trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations in deep Gulf of Mexico sediments. *Geochemical and Environmental Research*, 55, 2585-2593.

- Wang, H., Liang, P., Kang, Y., Shao, D., Zheng, G. J., Wu, S., Wong, C. K. C., and Wong, M. H. (2010). Enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mariculture sediments of Hong Kong. *Environ. Pollut.*, 158, 3298-3308.
- Wattayakorn, G., and Boonperm, C. (2014). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment of Koh Sichang Anchorage areas in Thailand. *Eur. Chem. Bull.*, 3(1), 70-75.
- Wattayakorn, G., and Rungsupa, S. (2012). Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Koh Sichang-Sriracha, Thailand. *Coastal marine science*, 35(1), 122-128.
- 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.
- 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 sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Sci. Total Environ.*
- Yunker, M. B., Macdonald, R. W., Vingarzan, R., Mitchell, H., Goyette, D., and Silvestre, S. (2002). PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Org. Geochem.*, 33, 489-515.
- 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 hydrocarbon composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 1310-1320.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ภาคผนวก ก**  
**พิกัด จุดเก็บตัวอย่าง**

ตารางที่ ก-1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่าง ความลึก วันที่ในการเก็บตัวอย่าง ความเป็นกรด-ด่าง และค่าต่างศักย์-ไฟฟ้าของดินตะกอนผิวหน้าบริเวณอ่าวไทย

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Bottom Depth (m)	Sampling date	pH	Eh (mV)
1	12° 53' 16.80"	100° 6' 13.68"	12.0	8-Nov-11	6.79	-228
2	12° 53' 2.40"	100° 22' 53.04"	24.3	8-Nov-11	6.69	-86
3	12° 53' 2.04"	100° 39' 12.24"	22.8	7-Nov-11	7.22	-94
5	12° 37' 5.52"	100° 6' 21.96"	17.0	8-Nov-11	7.02	-278
6	12° 37' 1.92"	100° 22' 41.16"	26.2	8-Nov-11	7.60	-217
9	12° 34' 59.88"	101° 12' 1.80"	18.7	9-Nov-11	7.44	-116
12	12° 20' 41.28"	100° 6' 21.60"	21.0	9-Nov-11	7.58	-204
13	12° 20' 51.36"	100° 22' 46.56"	28.5	9-Nov-11	6.85	-8
14	12° 20' 49.92"	100° 39' 18.00"	34.7	9-Nov-11	7.53	-18
15	12° 20' 49.20"	100° 55' 34.68"	30.9	9-Nov-11	7.14	-142
16	12° 20' 49.20"	101° 12' 1.80"	31.0	10-Nov-11	7.58	-105
17	12° 20' 52.80"	101° 28' 41.88"	32.5	10-Nov-11	7.35	-137
18	12° 20' 48.12"	101° 44' 34.80"	27.0	10-Nov-11	7.55	-228
21	12° 4' 41.52"	100° 22' 41.88"	35.3	11-Nov-11	7.54	-126
22	12° 4' 43.32"	100° 39' 12.60"	34.3	11-Nov-11	7.58	-178
23	12° 4' 40.80"	100° 55' 34.68"	34.9	11-Nov-11	7.56	-133
24	12° 4' 40.08"	101° 12' 4.68"	42.4	11-Nov-11	7.30	-172
25	12° 4' 34.32"	101° 28' 18.48"	45.1	11-Nov-11	7.58	-204
26	12° 4' 44.40"	101° 45' 2.88"	39.7	10-Nov-11	7.55	-293
27	12° 4' 45.12"	102° 1' 36.12"	29.3	10-Nov-11	7.11	-282
29	11° 48' 33.48"	100° 6' 9.72"	35.3	12-Nov-11	7.54	-312
31	11° 48' 26.28"	100° 39' 13.32"	42.8	12-Nov-11	7.54	-298
32	11° 48' 28.80"	100° 55' 40.08"	49.0	16-Nov-11	7.47	-285
35	11° 48' 24.48"	101° 45' 7.20"	54.5	16-Nov-11	7.46	-126
36	11° 48' 31.32"	102° 1' 36.48"	49.7	16-Nov-11	7.38	-138
38	11° 32' 18.24"	100° 5' 57.48"	44.1	18-Nov-11	7.40	-100
39	11° 32' 18.60"	100° 22' 27.12"	48.3	18-Nov-11	7.36	-92
40	11° 32' 16.80"	100° 39' 2.88"	50.0	18-Nov-11	7.43	-75

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Bottom Depth (m)	Sampling date	pH	Eh (mV)
41	11° 32' 17.88"	100° 53' 15.72"	50.4	17-Nov-11	7.37	-182
42	11° 32' 20.40"	101° 12' 7.92"	57.4	17-Nov-11	7.39	-208
43	11° 32' 17.52"	101° 28' 36.48"	61.1	17-Nov-11	7.45	-158
44	11° 32' 17.52"	101° 44' 55.68"	61.3	17-Nov-11	7.47	-112
47	11° 16' 9.48"	99° 49' 51.60"	44.1	18-Nov-11	7.37	-98
48	11° 15' 58.68"	100° 6' 14.40"	48.3	18-Nov-11	7.34	-62
49	11° 16' 9.12"	100° 22' 44.40"	52.0	19-Nov-11	7.44	-104
50	11° 16' 10.92"	100° 39' 15.12"	54.1	19-Nov-11	7.32	-70
57	10° 59' 54.60"	99° 49' 40.44"	50.2	20-Nov-11	7.39	-72
58	10° 59' 56.04"	100° 6' 19.80"	52.4	20-Nov-11	7.36	-74
59	10° 59' 55.32"	100° 22' 38.28"	55.7	20-Nov-11	7.35	-102
60	10° 59' 51.00"	100° 38' 57.48"	59.9	20-Nov-11	7.5	-88
61	11° 0' 1.08"	100° 54' 5.40"	60.9	20-Nov-11	7.37	-94
62	10° 59' 54.60"	101° 12' 7.92"	61.8	20-Nov-11	7.38	-103
63	10° 59' 51.36"	101° 20' 28.32"	67.8	19-Nov-11	7.40	-88
65	10° 42' 11.52"	99° 32' 26.88"	40.6	27-Nov-11	7.50	-260
66	10° 43' 42.60"	99° 49' 49.80"	52.5	28-Nov-11	7.54	-252
67	10° 43' 46.92"	100° 6' 18.00"	58.7	28-Nov-11	7.49	-90
68	10° 43' 46.92"	100° 22' 43.68"	59.3	28-Nov-11	7.48	-140
69	10° 43' 48.72"	100° 39' 12.60"	62.3	28-Nov-11	7.59	-125
70	10° 43' 43.68"	100° 54' 53.28"	63.2	28-Nov-11	7.57	-156
71	10° 43' 36.48"	101° 8' 16.80"	63.2	29-Nov-11	7.54	-103
74	10° 27' 51.12"	99° 49' 35.04"	51.0	21-May-12	7.72	-186
75	10° 27' 34.92"	100° 5' 53.88"	63.0	21-May-12	7.76	-103
76	10° 27' 37.80"	100° 26' 55.32"	62.0	21-May-12	7.56	-75
77	10° 27' 36.00"	100° 38' 53.88"	64.0	21-May-12	7.60	-95
78	10° 27' 36.00"	100° 55' 37.92"	63.3	29-Nov-11	7.54	-95
79	10° 27' 31.32"	101° 8' 16.80"	65.0	29-Nov-11	7.54	-95
80	10° 11' 24.00"	99° 16' 30.00"	17.1	21-May-12	7.31	-379
81	10° 11' 36.60"	99° 33' 1.80"	40.0	21-May-12	7.35	-388
82	10° 11' 21.12"	99° 49' 38.28"	45.0	21-May-12	7.33	-356
83	10° 11' 20.76"	100° 5' 51.36"	52.0	22-May-12	7.50	-260
84	10° 11' 24.72"	100° 22' 29.28"	60.0	22-May-12	7.40	-140
85	10° 11' 23.28"	100° 38' 46.68"	65.0	22-May-12	7.44	-105

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Bottom Depth (m)	Sampling date	pH	Eh (mV)
86	10° 11' 26.52"	100° 55' 31.80"	69.0	22-May-12	7.48	-155
87	10° 11' 18.96"	101° 5' 37.32"	64.0	22-May-12	7.56	-52
88	9° 55' 6.24"	99° 20' 4.92"	23.0	23-May-12	7.27	-350
89	9° 55' 25.68"	99° 33' 0.36"	29.0	23-May-12	7.59	-220
90	9° 55' 7.32"	99° 49' 43.68"	35.0	23-May-12	7.51	-140
91	9° 55' 11.28"	100° 6' 9.72"	43.0	23-May-12	7.54	-65
92	9° 55' 10.20"	100° 22' 30.00"	55.0	23-May-12	7.56	-110
93	9° 55' 12.00"	100° 38' 35.88"	60.0	22-May-12	7.58	-116
94	9° 55' 12.00"	100° 55' 30.00"	67.0	22-May-12	7.54	-120
95	9° 55' 36.12"	101° 5' 33.00"	68.0	22-May-12	7.46	-139
97	9° 39' 42.84"	99° 20' 59.64"	15.0	23-May-12	7.35	-328
98	9° 38' 36.60"	99° 33' 31.32"	15.0	23-May-12	7.29	-369
99	9° 41' 34.80"	99° 47' 43.08"	14.0	23-May-12	7.26	-353
100	9° 39' 6.48"	100° 5' 52.80"	14.0	24-May-12	7.34	-186
101	9° 38' 57.12"	100° 22' 41.52"	30.0	24-May-12	7.50	-56
102	9° 39' 1.80"	100° 38' 49.20"	49.0	24-May-12	7.45	-95
103	9° 39' 0.00"	100° 55' 17.40"	56.0	24-May-12	7.45	-30
104	9° 39' 1.08"	101° 5' 36.96"	59.0	24-May-12	7.43	-37
108	9° 22' 28.20"	99° 50' 1.68"	14.0	25-May-12	7.44	-379
109	9° 22' 48.00"	100° 5' 59.28"	16.0	25-May-12	7.2	-233
110	9° 23' 7.08"	100° 22' 20.28"	33.0	25-May-12	7.61	-52
111	9° 22' 48.00"	100° 38' 54.60"	39.0	24-May-12	7.29	-66
112	9° 22' 45.48"	100° 55' 13.80"	59.0	24-May-12	7.39	-64
113	9° 22' 47.64"	101° 7' 39.36"	63.0	24-May-12	7.64	-26
115	9° 6' 43.56"	100° 6' 11.16"	22.0	25-May-12	7.09	-86
116	9° 6' 36.00"	100° 22' 20.28"	28.0	25-May-12	7.29	-60
117	9° 6' 35.28"	100° 38' 48.48"	30.0	25-May-12	7.40	-76
118	9° 6' 36.72"	100° 55' 21.72"	40.0	25-May-12	7.44	-70
119	9° 6' 37.08"	101° 5' 21.12"	53.0	26-May-12	7.41	-45
121	8° 50' 24.72"	100° 5' 52.80"	15.0	26-May-12	7.38	-375
122	8° 50' 24.00"	100° 22' 31.08"	24.0	26-May-12	7.34	-74
123	8° 50' 21.12"	100° 38' 56.40"	30.0	26-May-12	7.38	-53
124	8° 50' 17.88"	100° 55' 23.88"	38.0	26-May-12	7.37	-56
125	8° 50' 28.68"	101° 5' 34.80"	51.0	26-May-12	7.82	-20



ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Bottom Depth (m)	Sampling date	pH	Eh (mV)
129	8° 34' 15.60"	100° 25' 25.32"	21.0	26-May-12	7.31	-34
130	8° 34' 12.72"	100° 38' 53.52"	25.0	26-May-12	7.48	-30
131	8° 34' 12.00"	100° 55' 27.12"	33.0	26-May-12	7.60	-20
132	8° 35' 4.92"	101° 11' 58.92"	53.0	26-May-12	7.45	-80
133	8° 35' 22.20"	101° 28' 57.72"	56.0	27-May-12	7.64	-21
136	8° 18' 0.00"	100° 22' 23.88"	9.0	27-May-12	7.38	-195
137	8° 18' 6.12"	100° 38' 48.12"	24.0	27-May-12	7.29	-74
138	8° 18' 4.32"	100° 55' 26.40"	31.0	27-May-12	7.53	-218
139	8° 18' 0.00"	101° 11' 49.20"	50.0	27-May-12	7.47	-11
144	8° 2' 17.52"	100° 24' 31.32"	10.0	28-May-12	7.33	-113
145	8° 1' 49.80"	100° 39' 7.92"	22.0	28-May-12	7.34	-120
147	8° 1' 54.12"	101° 11' 48.12"	48.0	28-May-12	7.48	-123
148	8° 1' 48.00"	101° 28' 30.00"	47.0	28-May-12	7.51	-35
149	8° 2' 10.32"	101° 45' 6.48"	60.0	28-May-12	7.5	-118
150	8° 2' 0.60"	101° 56' 18.60"	69.0	28-May-12	7.56	-125
153	7° 45' 14.40"	100° 38' 42.72"	21.0	29-May-12	7.49	-91
154	7° 45' 18.00"	100° 55' 23.88"	28.0	29-May-12	7.42	-130
155	7° 45' 18.00"	101° 11' 53.88"	44.0	29-May-12	7.67	-109
156	7° 45' 28.08"	101° 28' 16.68"	46.0	29-May-12	7.59	-107
157	7° 45' 33.12"	101° 44' 53.88"	49.0	29-May-12	7.54	-130
158	7° 45' 24.48"	102° 1' 15.60"	67.0	28-May-12	7.52	-140
159	7° 45' 36.00"	102° 12' 0.00"	67.0	28-May-12	7.72	-98
163	7° 29' 37.32"	100° 55' 25.32"	25.0	29-May-12	7.40	-107
164	7° 29' 46.32"	101° 11' 49.92"	40.0	29-May-12	7.46	-105
165	7° 29' 48.12"	101° 28' 18.12"	45.0	29-May-12	7.46	-80
166	7° 29' 35.52"	101° 44' 40.92"	44.0	30-May-12	7.45	-140
167	7° 29' 34.80"	102° 1' 22.80"	50.0	30-May-12	7.52	-70
168	7° 29' 24.00"	102° 17' 35.88"	59.0	30-May-12	7.46	-20
169	7° 29' 24.00"	102° 24' 47.88"	60.0	30-May-12	7.44	-114
172	7° 13' 8.40"	100° 46' 36.12"	16.0	31-May-12	7.56	-110
173	7° 13' 18.12"	100° 55' 23.88"	18.0	30-May-12	7.68	-99
174	7° 13' 19.92"	101° 11' 17.88"	25.0	30-May-12	7.46	-158
175	7° 13' 23.88"	101° 28' 7.68"	42.0	30-May-12	7.49	-30
176	7° 13' 27.48"	101° 45' 59.40"	49.0	30-May-12	7.65	-15
177	7° 13' 20.28"	102° 4' 37.20"	47.0	30-May-12	7.48	-30

## ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

Stations	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Bottom Depth (m)	Sampling date	pH	Eh (mV)
178	7° 13' 12.00"	102° 17' 52.80"	46.0	30-May-12	7.56	-110
182	6° 58' 56.28"	101° 8' 29.40"	9.0	31-May-12	7.48	-135
183	6° 57' 14.40"	101° 28' 15.60"	18.0	31-May-12	7.60	-2
184	6° 57' 54.00"	101° 44' 42.00"	40.0	31-May-12	7.50	-80
185	6° 56' 57.12"	102° 1' 21.00"	38.0	31-May-12	7.58	-83
186	6° 56' 52.08"	102° 17' 46.68"	43.0	31-May-12	7.43	-60
189	6° 40' 56.28"	101° 50' 3.48"	33.0	1-Jun-12	7.47	-60
190	6° 40' 55.20"	102° 1' 13.80"	38.0	31-May-12	7.65	-95
191	6° 40' 59.88"	102° 17' 40.92"	44.0	31-May-12	7.69	-24



## ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์

### ภาคผนวก ข-1 การเตรียม silica gel column

- 1) นำซิลิกาเจล(ขนาด70-230 mesh)ไปอบที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง(เพื่อเป็นการทำความสะอาดซิลิกาเจลก่อน) เก็บใส่ decicator เพื่อรอการบรรจุลงคอลัมน์
- 2) จากนั้นทำการ activate โดยการซั่งซิลิกาเจลดังกล่าว 7 กรัม ใส่ลงขวด duran แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น deactivate ด้วยการเติมน้ำ 5% (v/w) เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ สำหรับ Copper powderทำการ Activate ทองแดงด้วยการแช่ใน Conc. HCl คนด้วยแท่งแก้วแล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ตามด้วย methanal, dichloromethane และ hexane อย่างละ 3 ครั้ง แล้วแช่ทิ้งไว้ใน hexane เพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศ
- 3) บรรจุเยื่อแก้วที่ทำความสะอาดด้วย hexane แล้วลงไปตักกลางของคอลัมน์แก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ชนิดที่มีวาล์วเปิด-ปิด หลังจากนั้นเติมเฮกเซนลงไปประมาณครึ่งคอลัมน์ และค่อยๆเติมซิลิกาเจลที่มีเฮกเซนในลักษณะที่ชั้นหนึ่ดลงไปเบาๆ โดยให้มีความสูงของชั้นซิลิกาเจลประมาณ 17 เซนติเมตร
- 4) ทำให้ซิลิกาเจลเรียงตัวกันแน่นโดยการเคาะข้างคอลัมน์เบาๆ ทำการปรับอัตราการไหลของ hexane เป็น 2 ml/min โดยระวังอย่าให้เฮกเซนอยู่ต่ำกว่าระดับของซิลิกาเจล จากนั้นเติมผงทองแดงให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร เพื่อกำจัดกำมะถันในตัวอย่าง ล้างคอลัมน์โดยการชะด้วย hexane ก่อนการใช้งาน(ปริมาตรไม่น้อยกว่าปริมาตรของ hexane ที่มีอยู่ในคอลัมน์)

## ภาคผนวก ข-2 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs และ PHCs

ทำการสกัดแยกเฉพาะส่วน PAHs และ PHCs จากสารละลายที่ผ่านการสกัดแบบ Soxhlet มาแล้ว โดยใช้คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography)

- 1) ใช้ hexane ส่วนที่อยู่เหนือซิลิกาเจลทิ้งไป ให้มีระดับของ hexane ที่เหลืออยู่สูงกว่าแนวซิลิกาเจลเล็กน้อย
- 2) เทสารละลายที่สกัดได้จากการสกัดแบบ Soxhlet ลงในคอลัมน์ซิลิกาเจลที่ได้ทำการเตรียมไว้
- 3) เมื่อสารละลายไหลผ่านคอลัมน์จนเกือบหมด ให้ชะคอลัมน์ด้วย hexane 15 ml ปรับอัตราการไหลของ hexane เป็น 1 หยด/วินาที จนกระทั่งระดับของสารละลายเกือบถึงแนวซิลิกาเจลแล้วเติมตัวทำละลายผสมระหว่าง dichloromethane:hexane(4:6) เป็น eluent ปริมาตร 50 ml (IOC/UNESCO, 1982) สำหรับการวิเคราะห์ PHCs และใช้ Toluene:Hexane(4:6) เป็น eluent ปริมาตร 50 ml (Gogou et al., 1997) สำหรับการวิเคราะห์ PAHs เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์
- 4) นำสารละลายที่เก็บได้จากข้อที่ 3 ไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary evaporator ให้เหลือ 1-2 ml และปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 5 ml ด้วย hexane สำหรับการวิเคราะห์ PAHs หลังจากลดปริมาตรแล้วให้นำไปเป่าเบาๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนจนเกือบแห้ง เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น cyclohexane ปรับปริมาตรเป็น 200  $\mu$ l
- 5) เก็บตัวอย่างที่ได้จากข้อที่ 4 ใส่ไว้ในขวดแก้วสีชาขนาดเล็ก เพื่อบรรจุการวิเคราะห์ปริมาตร PAHs และ PHCs ต่อไป

### ภาคผนวก ข-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตะกอนดินด้วยวิธี Walkley Black Method

#### 1) หลักการวิเคราะห์

การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนใช้วิธีวอลกี – แบล็ค (Walkley – Black Method) ซึ่งพัฒนาปรับปรุงโดย Loring and Rantala (1992) วิธีนี้เป็นวิธีที่แยกสารอินทรีย์ออกจากอินทรีย์คาร์บอนอื่นๆ เช่น แกรฟไฟท์ ถ่านหิน และอินทรีย์คาร์บอนที่เชื่อมต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารอินทรีย์ที่วิเคราะห์โดยวิธีนี้ เป็นสารอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ทางเคมี ซึ่งถือเป็นสารอินทรีย์ในรูปที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายในสิ่งแวดล้อม

หลักการของวิธีการนี้ คือ อินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนจะถูกออกซิไดซ์ด้วยไดโครเมต (dichromate) ในสภาวะที่เป็นกรด โดยเติมไดโครเมตให้มีปริมาณที่มากเกินไป หลังจากอินทรีย์คาร์บอนถูกออกซิไดซ์ไปหมดแล้ว หาปริมาณไดโครเมตที่เหลือโดยการรีดิวซ์ด้วยสารละลายเฟอร์รัส (ferrous solution) และใช้ไดฟีนีลลามีน (diphenylamine) เป็นอินดิเคเตอร์ เติมกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ลงไปเพื่อให้สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้น แต่เนื่องจากไดโครเมตจะทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) จึงป้องกันการสูญเสียไดโครเมตไปในปฏิกิริยานี้โดยเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (silver sulfate)

#### 2) การเตรียมรีเอเจนต์

1. สารละลาย  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ใน conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
ละลาย  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  2.5 กรัม ใน conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 l
2. สารละลายมาตรฐาน 1 N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   
ละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  49.04 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางเป็น 1 l โดยใช้ขวดปรับปริมาตร
3. สารละลาย 0.5 N ammonium ferrous sulfate solution ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )  
ละลาย  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 ml ซึ่งมี conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  อยู่ 20 ml จากนั้นเจือจางให้เป็น 1 l
4. ไดฟีนีลลามีนอินดิเคเตอร์  
ละลาย diphenylamine ( $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ ) ประมาณ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 2 ml และกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 100 ml

## 3) วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนแห้งที่บดละเอียดแล้ว ปริมาณ 0.5 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
2. เติมสารละลาย 1 N  $K_2Cr_2O_7$  10 ml
3. เติมสารละลาย  $Ag_2SO_4$  ใน conc.  $H_2SO_4$  20 ml
4. แกว่งเบาๆ และให้ความร้อน  $90^\circ C$  ประมาณ 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
5. เติมน้ำกลั่น 150 ml โดยประมาณ ตามด้วย conc.  $H_3PO_4$  10 ml และ NaF 0.2 กรัม
6. เติมไดฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด
7. ไทเทรตด้วย 0.5 N ferrous solution จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะเป็นสารละลายสีเขียวใส (brilliant green) บันทึกปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต

## 4) การ Standardization

1. ดำเนินตามวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ตามหัวข้อ 2 โดยไม่มีดินตะกอน
2. บันทึกปริมาตรสารละลาย 0.5 N ferrous solution ที่ใช้ในการไทเทรต 1 N  $K_2Cr_2O_7$  10 ml
3. ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ

## 5) การคำนวณผล

เปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน หาได้จากสมการ ผ-1 และเทียบเป็น ปริมาณสารอินทรีย์ โดยคูณด้วย 1.72 ตามสมการ ผ-2

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

$$\% \text{ สารอินทรีย์} = \% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} \times 1.72 \quad \text{สมการ ผ-2}$$

เมื่อ 1.72 = ค่า factor สำหรับคูณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ให้เป็นปริมาณ สารอินทรีย์

S = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 N ที่ใช้ไป ในการไทเทรต blank (ml)

T = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)

F = ค่าที่ได้จากการคำนวณ (12/4000 คือ milli-equivalent weight ของคาร์บอน)

## 6) การหาความถูกต้องของการวิเคราะห์สารอินทรีย์

ใช้เดกซ์โทรส (dextrose;  $C_6H_{12}O_6$ ) เป็นสารมาตรฐาน ตามทฤษฎีเดกซ์โทรส 1 กรัม จะมีคาร์บอนอยู่ 39.99% ซึ่งเดกซ์โทรส 0.01 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเดกซ์โทรส ตามสมการ ผ-3 หากวิธีการวิเคราะห์ถูกต้อง ค่าคาร์บอนที่ได้ควรมีค่าใกล้เคียงกับ 39.99%

$$\% \text{ คาร์บอนในเดกซ์โทรส} = 10 \times (1-T/S) \times F \quad \text{สมการ ผ-3}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad F &= (1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times (100/\text{น้ำหนักเดกซ์โทรส}) \\ &= 30 \text{ เมื่อเดกซ์โทรส น้ำหนัก 0.01 กรัม} \end{aligned}$$

## ภาคผนวก ข-4 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคตะกอนด้วยวิธี pipette method

## 1) หลักการวิเคราะห์

ซึ่งดินตะกอนแห้ง 10-20 กรัม กำจัดสารอินทรีย์ด้วย 10% (v/v)  $H_2O_2$  และกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตด้วย 50% (v/v) HCl จากนั้นอบแห้งซึ่งน้ำหนักแน่นอน (เทคนิค 4 ตำแหน่ง) แยกขนาดอนุภาคตะกอนโดยใช้วิธีการร่อนเปียกผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 63 ไมโครเมตร ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง คือ อนุภาคขนาดทราย ส่วนที่ลอดผ่านตะแกรงนำไปหาสัดส่วนของขนาดอนุภาคทรายแป้ง (2 - 63 ไมโครเมตร) และขนาดอนุภาคดินเหนียว (เล็กกว่า 2 ไมโครเมตร) โดยการตกตะกอนอย่างอิสระในน้ำ (sedimentation method) ตามกฎของสโตรก (Stoke's Law) หาปริมาณอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ที่เหลือล่องลอยอยู่ในมวลน้ำเหนือระยะที่กำหนด โดยการปิเปตสารละลายที่ระดับที่กำหนดในปริมาตรที่แน่นอนมาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ล่องลอยอยู่

เวลาอนุภาคขนาดใหญ่กว่าขนาดที่กำหนดทั้งหมด ตกตะกอนลงต่ำกว่าระยะทางที่กำหนด คำนวณได้จากกฎของสโตรก ดังสมการที่ ผ-4

$$k = 175 \sqrt{\frac{\eta h}{t(\rho_k \rho_f)}} \quad \text{สมการ ผ-4}$$

เมื่อ  $k$  คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ไมครอน)

- $\eta$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลาง (น้ำ) (poises)
- $h$  คือ ระยะทางจากผิวหน้าของตัวกลาง (น้ำ) ถึงระดับที่ต้องการ (เซนติเมตร)
- $t$  คือ ระยะเวลาจากที่เริ่มตกตะกอนจนถึงตอนที่ตุดสารละลายออกโดย ใช้ปิเปต (นาทีก)
- $\rho_k$  คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคตะกอน
- $\rho_f$  คือ ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) ของตัวกลาง (น้ำ)

ในการทดลองนี้ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมโครเมตร มีองค์ประกอบเป็นควอตซ์ (quartz) กระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 20°C ความถ่วงจำเพาะของควอตซ์ในน้ำ ( $\rho_k$ ) มีค่าเท่ากับ 2.65 ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของน้ำ ( $\rho_f$ ) มีค่าเท่ากับ 0.998 และค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำ ( $\eta$ ) มีค่าเท่ากับ 0.0100

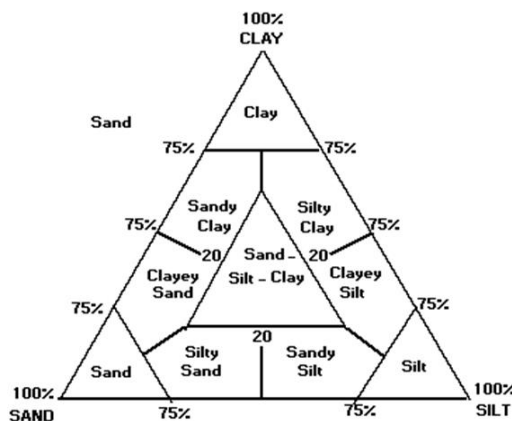
ดังนั้น หากต้องการให้อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $k$ ) ใหญ่กว่า 2 ไมโครเมตร ตกตะกอนลงต่ำกว่าระดับผิวน้ำ ( $h$ ) 5 เซนติเมตร เมื่อคำนวณจากสมการ ผ-1 จะต้องใช้เวลา ( $t$ ) เท่ากับ 231.727 นาทีก หรือ 3 ชั่วโมง 52 นาทีก

## 2) วิธีการวิเคราะห์

1. แยกเอาสิ่งที่ไม่ใช่เนื้อตะกอน เช่น กิ่งไม้ เปลือกหอย ออกจากตะกอน
2. อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5°C มั่นกวนตะกอนขณะยังหมาดอยู่ เพื่อป้องกัน ตะกอนกอดตัวกันแน่นจนน้ำภายในไม่สามารถระเหยออกได้
3. ชั่งตะกอนแห้งประมาณ 10-20 กรัม
4. เท 10% (v/v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ให้ท่วมตะกอน แกว่งให้สารละลายสัมผัสตะกอนจนทั่ว ทิ้งไว้ข้ามคืน
5. หากอนุภาคดินตะกอนยังแยกจากกันไม่หมด ให้เติม 10% (v/v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> เพิ่มอีกประมาณ 10 ml ทิ้งไว้อีก 1 คืน
6. กำจัด H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ที่เหลือโดยการให้ความร้อนจนเกือบเดือด
7. ตั้งให้ตกตะกอน เหน้ส่วนใสออกจนเหลือเพียงท่วมดินตะกอน
8. เติม 50% (v/v) HCl ประมาณ 10 มิลลิลิตร คนจนไม่เห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นอีก
9. รินน้ำส่วนใสทิ้ง
10. อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5°C



11. ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
12. ร้อนตะกอนแห้ง โดยชะด้วยน้ำผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 63 ไมครอน
13. นำตะกอนที่ค้างบนตะแกรงมาอบแห้งที่อุณหภูมิ  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักตะกอนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 63 ไมโครเมตร
14. เทตะกอนส่วนที่ผ่านตะแกรง ใส่ลงในกระบอกตักตะกอน ขนาดปริมาตร 1,000 ml นำไปทำการตักตะกอนที่อุณหภูมิคงที่  $20^{\circ}\text{C}$
15. เติม 10% (w/v)  $(\text{NaPO}_3)_6$  (sodium hexametaphosphate) 10 ml เพื่อให้เม็ดดินกระจายตัวอย่างอิสระ
16. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร 1,000 ml ของกระบอกตักตะกอน
17. ตั้งกระบอกตักตะกอนลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งตั้งไว้ที่  $20^{\circ}\text{C}$
18. ใช้แท่งคนตะกอน กวนภายในกระบอกตักตะกอน จนอนุภาคภายในกระบอกตักตะกอนฟุ้งกระจายทั่ว
19. เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากหยุดกวน
20. เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 52 นาที ใช้ไมโครปิเปต ขนาด 5 ml จุ่มปลายลงที่ระดับต่ำจากผิวหน้า 5 เซนติเมตร ดูดน้ำที่ระดับความลึก 5 ml
21. อบน้ำที่ ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิ  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  และชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักตะกอนที่มีอยู่ในน้ำ 5 มิลลิลิตร เพื่อคำนวณน้ำหนักตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน (ขนาดดินเหนียว) ที่มีอยู่ทั้งหมดในน้ำ 1,000 ml
22. คำนวณสัดส่วนของอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือว่าน้ำหนักรวมของทุกขนาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำค่า %sand, %silt และ %clay ไปเทียบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมเพื่อหาลักษณะเนื้อดินว่าเป็นเนื้อดินชนิดใด (รูปที่ ข-1)



รูปที่ ข-1 ไดอะแกรมสามเหลี่ยมแสดงลักษณะเนื้อดิน

**ภาคผนวก ค**  
**สัดส่วนและประเภทของตะกอน**

ตารางที่ ค-1 สัดส่วนขนาดตะกอนของตะกอนดินผิวหน้าอ่าวไทยและประเภทของตะกอน

Stations	Proportion (%)			Sediment name
	Clay	Silt	Sand	
1	0.70	17.1	82.2	sand
2	11.3	11.3	77.4	sand
3	60.9	38.1	0.96	silty clay
5	16.7	10.4	72.9	clayey sand
6	3.88	2.40	93.7	sand
9	1.91	19.7	78.4	sand
12	15.0	19.4	65.6	silty sand
13	10.7	15.0	74.3	silty sand
14	10.2	22.9	67.0	silty sand
15	8.29	10.1	81.6	sand
16	3.25	16.4	80.4	sand
17	53.0	24.4	22.6	sand silt clay
18	47.0	26.1	26.9	sand silt clay
21	49.2	17.2	33.7	sandy clay
22	10.4	19.4	70.2	silty sand
23	52.5	23.6	24.0	sand silt clay
24	21.7	26.0	52.3	sand silt clay
25	48.1	18.0	33.9	sandy clay
26	11.2	18.2	70.6	silty sand
27	12.9	20.0	67.1	silty sand
29	10.3	18.6	71.2	silty sand
31	4.41	17.4	78.2	sand
32	42.2	23.9	33.9	sand silt clay
35	40.6	55.4	4.01	clayey silt
36	8.22	1.20	90.6	sand
38	19.1	22.6	58.4	silty sand
39	37.0	20.7	42.4	sand silt clay
40	33.1	23.1	43.9	sand silt clay
41	60.1	15.0	24.9	sandy clay
42	55.1	29.2	15.7	silty clay
43	47.7	48.3	4.00	silty clay

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Stations	Proportion (%)			Sediment name
	Clay	Silt	Sand	
44	79.7	17.5	2.76	clay
47	14.2	14.9	71.0	silty sand
48	16.3	12.6	71.1	clayey sand
49	17.9	25.3	56.8	silty sand
50	61.2	18.4	20.5	sandy clay
51	49.1	28.8	22.1	sand silt clay
52	48.9	21.2	29.9	sand silt clay
53	65.8	17.9	16.3	silty clay
56	7.56	17.2	75.3	sand
57	45.0	22.3	32.8	sand silt clay
58	21.2	23.6	55.3	sand silt clay
59	16.2	8.78	75.1	sand
60	22.4	21.5	56.2	sand silt clay
61	52.1	20.0	27.9	sand silt clay
62	48.3	50.6	1.15	clayey silt
63	9.06	33.4	57.6	silty sand
65	2.42	13.5	84.1	sand
66	56.0	35.9	8.14	silty clay
67	35.4	18.8	45.8	clayey sand
68	51.7	17.9	30.4	sandy clay
69	62.8	16.3	20.9	sandy clay
70	29.6	8.69	61.7	clayey sand
71	37.4	37.4	25.2	sand silt clay
74	62.6	35.6	1.77	silty clay
75	48.4	45.2	6.37	silty clay
76	34.1	34.4	31.6	sand silt clay
77	50.1	33.9	16.0	silty clay
78	69.0	12.2	18.8	sandy clay
79	71.0	17.8	11.2	silty clay
80	58.7	26.6	14.6	silty clay
81	52.8	42.9	4.34	silty clay
82	42.2	55.0	2.76	clayey silt
83	40.2	58.1	1.69	clayey silt
84	41.5	55.4	3.11	clayey silt
85	47.6	48.1	4.33	clayey silt
86	55.0	34.2	10.8	Silty clay

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Stations	Proportion (%)			Sediment name
	Clay	Silt	Sand	
87	40.3	35.8	23.9	sand silt clay
88	44.0	30.6	25.5	sand silt clay
89	74.6	23.8	1.68	silty clay
90	45.5	51.8	2.74	clayey silt
91	36.7	62.6	0.75	clayey silt
92	49.7	48.4	1.89	silty clay
93	42.4	44.3	13.3	clayey silt
94	47.6	34.7	17.8	silty clay
95	58.8	19.5	21.7	sandy clay
97	49.0	31.4	19.6	silty clay
98	58.4	28.3	13.3	silty clay
99	45.8	51.6	2.53	clayey silt
100	64.5	30.3	5.16	silty clay
101	74.1	24.0	1.91	silty clay
102	47.1	51.9	0.96	clayey silt
103	55.1	38.4	6.43	silty clay
104	52.0	32.8	15.2	silty clay
108	52.3	43.1	4.59	silty clay
109	50.5	47.8	1.72	silty clay
110	53.8	43.1	3.13	silty clay
111	66.8	26.5	6.73	silty clay
112	68.6	23.7	7.66	silty clay
113	49.9	41.9	8.20	silty clay
115	42.2	55.3	2.45	clayey silt
116	47.6	33.2	19.2	silty clay
117	39.0	29.7	31.3	sand silt clay
118	27.1	40.5	32.5	sand silt clay
119	51.1	42.1	6.88	silty clay
121	52.3	46.0	1.71	silty clay
122	58.1	39.5	2.47	silty clay
123	41.8	33.1	25.1	sand silt clay
124	41.1	44.4	14.5	clayey silt
125	54.0	43.2	2.83	silty clay
129	61.4	28.9	9.74	silty clay
130	58.7	28.3	13.0	silty clay

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Stations	Proportion (%)			Sediment name
	Clay	Silt	Sand	
131	7.26	43.0	49.8	silty sand
132	4.81	42.5	52.7	silty sand
133	38.7	29.7	31.5	sand silt clay
136	60.6	29.8	9.58	silty clay
137	18.9	18.5	62.6	clayey sand
138	60.6	29.6	9.79	silty clay
139	61.7	36.4	1.96	silty clay
144	30.6	17.1	52.3	clayey sand
145	22.4	24.0	53.6	sand silt clay
147	74.0	23.8	2.22	silty clay
148	40.6	21.4	38.0	sand silt clay
149	56.9	31.4	11.6	silty clay
150	24.0	29.4	46.6	sand silt clay
153	30.0	22.0	48.0	sand silt clay
154	36.2	23.5	40.4	sand silt clay
155	55.8	21.0	23.2	sand silt clay
156	13.4	30.8	55.8	silty sand
157	49.4	19.5	31.1	sandy clay
158	60.9	30.1	9.00	silty clay
159	19.1	22.1	58.8	silty sand
163	28.1	22.1	49.8	sand silt clay
164	60.7	31.5	7.84	silty clay
165	51.3	22.0	26.8	sand silt clay
166	35.6	22.9	41.5	sand silt clay
167	58.6	32.1	9.30	silty clay
168	44.4	42.0	13.6	silty clay
169	58.1	37.2	4.69	silty clay
172	29.4	18.7	52.0	clayey sand
173	4.69	18.1	77.2	sand
174	18.8	13.0	68.2	clayey sand
175	30.7	23.1	46.2	sand silt clay
176	43.6	21.9	34.5	sand silt clay
177	50.3	30.8	18.9	silty clay
178	54.9	23.6	21.5	sand silt clay
182	6.62	13.2	80.2	sand

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

Stations	Proportion (%)			Sediment name
	Clay	Silt	Sand	
183	3.18	15.7	81.1	sand
184	21.9	22.2	55.8	sand silt clay
185	54.9	23.0	22.2	sand silt clay
186	45.9	23.3	30.8	sand silt clay
189	16.8	16.9	66.3	clayey sand
190	23.7	15.6	60.7	clayey sand
191	50.1	23.8	26.2	sand silt clay



**ภาคผนวก ง**  
**องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย**

ตารางที่ ง-1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ปริมาณ PHCs และปริมาณ ΣPAHs ของดินตะกอน

Stations	Organic carbon (%)	PHCs (µg/g) dry weight as chrysene	ΣPAHs (ng/g) dry weight
1	0.61	0.07	82.8
2	0.59	0.22	133.0
3	1.07	0.09	92.6
5	0.55	0.13	44.6
6	0.60	0.19	211
9	1.72	0.34	-
12	0.39	0.17	68.6
13	0.30	0.24	-
14	0.49	0.19	134
15	1.03	0.22	63.0
16	0.65	0.66	170
17	1.29	0.20	36.0
18	1.23	0.35	23.8
21	0.22	0.16	157
22	0.43	0.04	-
23	0.43	0.35	-
24	0.65	0.49	-
25	1.62	0.14	-
26	2.19	0.34	-
27	1.67	0.28	109
29	0.47	0.29	81.6
31	0.79	0.22	-
32	1.03	0.36	-
35	1.40	0.27	-
36	0.44	0.18	56.1
38	0.41	0.23	39.0
39	0.64	0.21	-
40	0.23	0.22	-
41	1.14	0.21	-
42	1.56	0.51	-
43	1.09	0.25	-
44	1.44	0.37	-
47	1.19	0.28	47.9
48	0.81	0.15	-
49	0.52	0.24	-

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Stations	Organic carbon (%)	PHCs ( $\mu\text{g/g}$ ) dry weight as chrysene	$\Sigma\text{PAHs}$ ( $\text{ng/g}$ ) dry weight
50	0.63	0.19	-
51	1.04	0.23	137
52	2.14	0.23	28.3
53	0.64	0.65	66.5
56	1.51	0.03	45.6
57	1.13	0.22	-
58	0.81	0.17	-
59	0.46	0.21	53.7
60	0.92	0.33	-
61	0.75	0.28	-
62	1.66	0.23	89.6
63	0.90	0.37	27.3
65	0.82	0.32	52.9
66	1.13	0.28	-
67	0.39	0.43	-
68	0.53	0.24	-
69	0.31	0.19	-
70	0.58	0.16	-
71	0.68	0.18	33.3
74	1.21	0.33	67.9
75	1.06	0.31	-
76	0.58	0.10	-
77	0.59	0.27	-
78	0.55	0.25	75.3
79	0.64	0.23	39.0
80	1.48	0.42	29.5
81	1.71	0.60	21.7
82	1.47	0.46	46.9
83	1.11	0.16	-
84	0.94	0.33	216
85	0.68	0.34	-
86	0.61	0.36	-
87	0.46	0.18	36.1
88	1.69	0.10	143
89	0.70	0.05	-
90	1.71	0.07	-
91	1.48	0.14	-
92	0.76	0.33	-
93	0.79	0.21	-
94	0.62	0.15	94.9



ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Stations	Organic carbon (%)	PHCs ( $\mu\text{g/g}$ ) dry weight as chrysene	$\Sigma\text{PAHs}$ ( $\text{ng/g}$ ) dry weight
95	0.54	0.16	-
97	1.68	0.32	79.7
98	1.45	0.03	79.3
99	1.42	0.06	-
100	1.29	0.07	-
101	0.47	0.27	214
102	1.37	0.31	-
103	0.63	0.20	-
104	1.76	0.23	-
108	1.23	0.40	68.7
109	1.27	0.25	-
110	0.85	0.38	-
111	0.83	0.34	30.7
112	0.88	0.25	-
113	0.77	0.28	-
115	1.12	0.25	52.6
116	0.83	0.19	-
117	0.59	0.31	-
118	0.72	0.33	77.8
119	0.63	0.19	-
121	1.10	0.27	21.2
122	1.16	0.28	-
123	0.62	0.24	-
124	0.78	0.27	-
125	0.56	0.30	-
129	0.67	0.32	63.9
130	0.71	0.32	-
131	0.75	0.50	30.5
132	0.55	0.28	26.7
133	0.32	0.30	50.7
136	0.60	0.36	94.1
137	0.53	0.66	-
138	0.72	0.28	-
139	0.79	0.30	-
144	0.68	0.23	99.0
145	0.48	0.26	-
147	0.59	0.20	-
148	0.11	0.39	54.0
149	0.61	0.35	-
150	0.43	0.27	-

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

Stations	Organic carbon (%)	PHCs ( $\mu\text{g/g}$ ) dry weight as chrysene	$\Sigma\text{PAHs}$ ( $\text{ng/g}$ ) dry weight
153	0.37	0.26	32.1
154	0.68	0.31	-
155	0.53	0.28	-
156	0.40	0.22	-
157	0.50	0.20	-
158	0.68	0.30	-
159	0.44	0.18	154
163	0.61	0.24	70.4
164	0.64	0.27	-
165	0.49	0.20	-
166	0.50	0.23	-
167	0.43	0.21	-
168	0.72	0.29	72.9
169	0.66	0.30	-
172	0.63	0.19	41.9
173	0.51	0.15	31.5
174	0.63	0.17	-
175	0.61	0.25	-
176	0.33	0.21	42.9
177	0.50	0.22	-
178	0.49	0.25	-
182	0.22	0.21	38.7
183	0.42	0.22	104
184	0.53	0.31	-
185	0.35	0.24	-
186	0.38	0.24	76.3
189	0.41	0.39	120
190	0.43	0.25	-
191	0.39	0.17	-

หมายเหตุ: - หมายถึงสถานีที่ไม่ได้วิเคราะห์ PAHs

ตารางที่ ๕-2 ปริมาณ PAHs (ng/g dry weight) แต่ละชนิด ในดินตะกอนผิวหน้า

สถานี	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	B[g,h,i]	ΣPAHs
1	0.74	N.D.	N.D.	N.D.	0.30	0.22	0.26	0.21	0.13	11.5	0.63	0.52	7.06	6.67	49.5	5.11	82.8
2	3.24	N.D.	N.D.	N.D.	0.64	0.77	0.26	0.20	43.8	35.9	7.26	6.10	2.42	8.18	24.2	N.D.	133
3	57.2	0.56	0.41	0.72	0.50	0.30	0.23	0.19	0.11	4.41	0.57	4.39	8.71	3.12	5.80	5.41	92.6
5	1.05	N.D.	1.5	N.D.	0.06	0.05	0.02	0.12	6.73	5.56	0.64	0.27	1.36	3.39	18.4	5.44	44.6
6	1.13	N.D.	N.D.	N.D.	0.41	1.28	N.D.	0.75	32.7	11.6	12.7	6.19	57.4	10.7	67.0	9.67	211
12	1.23	N.D.	N.D.	0.66	0.37	0.38	0.06	0.21	8.48	7.00	1.23	0.37	2.48	7.08	39.1	N.D.	68.6
14	71.7	2.99	4.09	13.5	0.12	0.26	0.33	0.20	0.22	0.11	4.01	1.20	5.83	5.29	10.7	13.3	134
15	13.1	N.D.	3.65	0.63	17.7	5.38	1.81	7.58	0.18	3.33	0.35	0.49	1.52	0.86	5.71	0.80	63.0
16	7.20	N.D.	1.61	0.94	1.61	3.14	0.94	0.74	2.06	22.8	3.46	32.5	86.4	1.03	3.32	2.69	170
17	3.48	0.22	5.86	0.45	0.12	0.18	0.09	0.14	0.10	8.97	0.31	3.63	3.59	1.02	2.62	5.20	36.0
18	2.02	N.D.	0.51	1.05	0.43	0.24	0.09	0.20	0.13	5.15	0.33	1.85	3.11	1.08	5.18	2.39	23.8
21	117	1.93	3.34	6.22	0.82	1.01	4.58	1.66	0.10	0.46	0.32	1.73	6.28	1.59	4.06	4.15	156
27	89.9	0.96	0.68	1.79	1.48	0.19	0.15	0.11	0.14	0.09	0.37	0.40	4.41	2.03	2.56	3.26	109
29	18.2	N.D.	3.19	1.35	3.97	13.3	3.36	13.4	2.14	3.28	0.49	2.01	2.43	1.50	10.3	2.66	81.6
36	3.14	N.D.	5.84	0.45	7.98	7.81	3.35	15.8	0.10	2.36	0.36	2.56	2.91	0.39	2.58	0.49	56.1
38	5.72	N.D.	2.45	3.63	0.08	0.41	0.08	0.22	0.08	0.09	4.84	1.42	5.61	3.28	5.62	5.42	39.0
47	4.22	N.D.	1.60	N.D.	0.12	0.33	0.13	0.80	0.06	5.21	0.28	1.19	3.33	1.85	10.8	3.10	47.9
51	30.5	0.15	0.32	0.56	47.7	19.2	7.94	8.93	0.09	5.78	1.50	0.78	2.63	1.44	5.74	3.97	137
52	11.2	0.34	1.15	0.82	0.12	1.49	0.51	0.70	0.08	2.40	0.22	1.55	4.56	0.55	1.58	1.03	28.3
53	31.3	0.72	0.64	1.25	0.25	0.26	0.92	0.09	0.08	8.19	4.61	2.29	4.87	2.86	4.67	3.54	66.5
56	6.27	1.59	1.10	3.52	2.09	0.28	1.74	2.00	0.09	3.46	0.25	0.24	3.10	1.37	11.1	7.35	45.6
59	2.15	0.21	0.25	N.D.	2.54	2.21	1.21	11.9	0.13	2.20	1.36	0.28	5.29	3.51	9.32	11.1	53.7
62	4.29	N.D.	1.67	3.66	4.80	42.7	3.98	6.32	0.09	11.9	0.16	0.12	2.43	0.86	5.55	1.01	89.6
63	8.75	N.D.	8.75	0.73	0.10	0.18	0.09	0.12	0.10	0.13	0.25	0.18	1.37	0.82	4.12	0.67	27.3

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

สถานี	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	B[ghi]P	ΣPAHs
65	16.9	0.11	0.26	0.97	13.3	3.51	1.13	1.09	0.12	0.93	0.31	0.34	4.89	1.31	2.56	5.20	52.9
71	11.9	N.D.	0.32	0.63	0.37	0.42	0.16	0.43	0.2	6.78	0.27	0.21	4.74	1.45	2.66	2.82	33.3
74	25.9	1.03	1.32	2.77	11.0	8.53	4.22	6.21	0.1	2.23	1.05	0.26	1.79	0.14	1.10	0.22	67.9
78	8.65	0.38	0.45	0.87	34.8	4.62	3.61	6.98	0.08	7.44	0.12	0.09	2.61	0.57	3.20	0.85	75.3
79	3.94	0.59	10.7	N.D.	2.28	2.32	0.74	4.40	0.08	3.47	0.18	0.14	1.33	1.04	6.59	1.17	390
80	4.17	0.59	0.30	1.52	0.83	0.16	0.09	0.64	0.08	8.65	0.33	0.19	1.19	1.41	6.40	2.93	29.5
81	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.03	3.36	1.49	3.14	0.08	0.67	0.34	0.66	7.59	0.11	0.92	0.27	21.7
82	3.88	0.21	0.29	1.05	12.5	1.26	0.97	4.53	0.17	18.0	0.18	0.14	1.87	0.31	1.07	0.44	46.9
84	31.7	N.D.	3.50	48.5	11.1	5.25	7.54	2.82	0.19	2.85	0.59	3.21	11.0	13.8	35.3	38.3	216
87	8.70	0.49	1.08	9.13	0.07	0.09	0.30	0.06	0.08	10.5	0.40	0.25	2.26	0.86	0.95	0.90	36.1
88	34.0	1.29	1.14	15.0	13.4	2.84	15.1	10.4	3.71	22.5	5.47	5.11	7.77	0.78	2.12	1.99	143
94	2.26	N.D.	2.97	N.D.	5.27	1.25	1.64	2.87	1.81	16.5	5.11	3.67	39.7	0.8	9.61	1.38	94.9
97	19.9	2.84	3.48	42.9	0.06	0.07	0.55	0.78	0.15	1.44	0.14	1.37	2.99	0.36	1.06	1.67	79.7
98	11.3	N.D.	11.2	7.99	4.00	6.15	4.21	4.21	0.14	5.98	0.34	0.26	4.98	2.41	10.1	5.93	79.3
101	39.1	0.84	0.93	1.53	9.83	3.72	0.52	10.3	49.8	21.7	2.76	2.48	52.3	1.84	14.6	1.76	214
108	28.4	N.D.	4.62	N.D.	3.50	0.95	0.32	2.95	4.82	3.90	3.72	0.24	4.61	0.70	8.68	1.27	68.7
111	4.12	N.D.	4.11	N.D.	0.34	0.33	0.19	0.27	0.11	3.61	2.28	2.46	1.33	1.17	6.55	3.78	30.7
115	26.8	0.38	7.55	2.10	0.14	0.22	0.28	0.20	0.14	4.29	0.22	0.94	3.75	1.08	3.36	1.18	52.6
118	14.7	N.D.	4.48	N.D.	2.78	1.13	0.24	2.36	0.08	11.1	5.06	0.22	6.09	4.22	14.8	10.5	77.8
121	6.41	0.19	0.21	0.45	0.79	0.16	0.07	0.49	0.07	3.55	1.10	0.22	2.06	0.52	4.23	0.70	21.2
129	5.39	N.D.	2.08	0.83	15.3	4.18	1.31	9.56	0.37	0.30	0.40	0.27	3.08	1.72	15.5	3.67	63.9
131	1.31	N.D.	3.36	N.D.	1.61	2.17	2.06	7.98	0.1	0.28	0.21	0.21	4.14	1.29	3.10	2.67	30.5
132	11.1	0.42	0.41	1.11	0.07	0.18	0.06	0.16	0.11	6.46	0.19	1.40	2.24	0.39	1.93	0.47	26.7
133	33.6	0.57	0.22	1.97	0.59	0.20	0.08	0.07	0.09	3.79	0.35	0.44	4.60	0.82	1.83	1.54	50.7

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

สถานี	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	B[ghi]P	ΣPAHs
136	N.D.	N.D.	2.38	N.D.	20.6	41.3	6.43	20.9	0.18	0.15	0.13	1.08	0.48	N.D.	0.43	N.D.	94.1
144	12.0	0.41	0.48	1.21	17.9	27.4	7.59	12.2	0.10	2.81	0.24	0.30	6.07	1.40	6.74	2.20	99.0
148	6.45	N.D.	0.73	6.24	4.80	4.15	6.26	7.94	0.20	0.67	0.45	0.26	8.09	0.89	4.14	2.76	54.0
153	4.06	N.D.	1.36	0.51	1.07	0.18	0.19	0.72	0.07	13.7	3.01	0.18	1.52	0.31	4.70	0.52	32.1
159	3.09	N.D.	14.7	N.D.	7.17	2.43	2.88	0.93	0.08	12.4	1.40	0.25	2.29	5.78	85.2	15.4	154
163	1.68	N.D.	1.96	0.73	28.1	7.41	2.22	12.2	0.08	0.89	0.40	0.23	2.68	1.51	9.37	1.00	70.4
168	5.91	N.D.	4.16	N.D.	2.62	0.34	0.79	0.29	1.43	0.63	5.40	6.73	34.0	2.02	4.32	4.35	72.9
172	6.00	N.D.	2.45	1.43	3.2	1.19	0.43	1.98	0.10	1.66	0.23	0.18	5.14	2.84	12.1	2.98	41.9
173	7.53	0.49	0.69	1.07	1.28	1.02	0.42	0.21	0.13	2.40	0.25	0.32	4.23	2.15	5.58	3.68	31.5
176	4.35	N.D.	7.52	6.91	0.44	0.16	0.23	0.14	0.21	4.12	4.67	0.21	3.86	1.58	3.87	4.60	42.9
182	1.65	N.D.	12.1	2.36	0.14	0.33	0.20	0.24	0.18	11.4	0.20	0.20	1.07	0.89	6.84	0.91	38.7
183	1.87	N.D.	1.41	N.D.	0.11	0.70	0.08	0.33	37.0	30.3	1.73	1.72	19.5	2.22	7.27	N.D.	104
186	N.D.	N.D.	3.17	N.D.	4.17	6.61	5.96	41.0	0.13	0.10	0.39	0.39	2.40	1.95	5.96	4.02	76.3
189	N.D.	N.D.	0.37	N.D.	19.1	9.10	8.03	17.7	1.30	24.1	1.50	1.14	29.8	0.93	6.56	0.91	121

ตารางที่ ง-3 สัดส่วน PAHs (%) แต่ละโครงสร้างในดินตะกอนผิวหน้าอ่าวไทย

สถานี	2 วง	3 วง	4 วง	5 วง	6 วง	2-3 วง	4-6 วง
1	0.89	0.63	14.6	69.7	14.2	1.51	98.5
2	2.43	1.07	60.3	30.1	6.15	3.50	96.5
3	61.8	2.68	5.3	21.0	9.21	64.4	35.6
5	2.35	3.60	27.9	46.4	19.8	5.95	94.1
6	0.53	0.80	21.3	67.8	9.62	1.33	98.7
12	1.80	2.05	22.9	62.9	10.3	3.85	96.2
14	53.5	15.7	0.65	16.2	13.9	69.2	30.8
15	20.8	43.3	20.5	12.8	2.63	64.1	35.9
16	4.22	4.28	15.6	73.7	2.18	8.51	91.5
17	9.67	19.0	25.9	28.2	17.3	28.7	71.3
18	8.49	9.38	23.5	44.1	14.6	17.9	82.1
21	75.4	8.55	4.37	7.96	3.69	84.0	16.0
27	82.9	4.69	0.45	7.13	4.87	87.6	12.5
29	22.3	26.7	27.2	18.7	5.10	49.0	51.0
36	5.59	39.4	38.5	15.0	1.57	44.9	55.1
38	14.7	16.9	1.21	44.9	22.4	31.6	68.4
47	8.81	35.3	13.0	32.6	10.3	44.1	55.9
51	22.2	49.5	16.6	7.77	3.94	71.7	28.3
52	39.6	13.9	13.0	27.9	5.56	53.5	46.5
53	47.0	4.69	14.0	24.7	9.62	51.7	48.3
56	13.8	18.8	16.0	32.3	19.1	32.6	67.4
59	4.00	9.71	28.8	30.3	27.2	13.7	86.3
62	4.79	59.0	24.9	9.22	2.09	63.8	36.2
63	32.1	39.1	1.64	21.7	5.47	71.2	28.8
65	31.9	34.3	6.18	15.3	12.3	66.2	33.8
71	35.6	5.23	22.7	23.6	12.8	40.9	59.1
74	38.1	36.4	18.8	6.20	0.53	74.5	25.6
78	11.5	54.6	24.0	7.99	1.89	66.1	33.9
79	10.1	40.8	22.3	21.1	5.66	50.9	49.1
80	14.1	11.6	32.1	27.5	14.7	25.7	74.3
81	N.D.	29.5	24.9	43.9	1.77	29.5	70.5
82	8.27	32.8	50.4	6.96	1.61	41.0	59.0
84	14.7	31.7	6.21	23.2	24.1	46.4	53.6
87	24.1	30.0	30.3	10.7	4.87	54.1	45.9
88	23.9	23.6	36.2	14.4	1.95	47.5	52.6
94	2.38	10.0	24.1	61.3	2.30	12.4	87.6
97	24.9	61.9	3.66	6.97	2.55	86.8	13.2
98	14.3	37.0	18.4	19.8	10.5	51.3	48.7
101	18.3	7.87	38.5	33.7	1.68	26.1	73.9
108	41.4	13.2	17.5	25.1	2.87	54.6	45.4

ตารางที่ ง-3 (ต่อ)

สถานี	2 วง	3 วง	4 วง	5 วง	6 วง	2-3 วง	4-6 วง
111	13.4	15.6	13.7	41.2	16.2	29.0	71.0
115	50.9	19.8	9.34	15.7	4.29	70.6	29.4
118	18.9	10.8	17.7	33.7	19.0	29.7	70.3
121	30.2	8.45	19.7	35.9	5.74	38.7	61.3
129	8.43	35.0	18.1	30.1	8.44	43.4	56.6
131	4.31	23.4	34.2	25.1	13.0	27.7	72.3
132	41.5	8.20	25.5	21.6	3.23	49.7	50.3
133	66.2	6.97	7.95	14.2	4.64	73.2	26.8
136	N.D.	68.3	29.4	2.26	N.D.	68.3	31.7
144	12.1	47.9	22.9	13.5	3.63	60.0	40.0
148	11.9	29.5	27.9	24.0	6.75	41.4	58.6
153	12.6	9.70	45.8	29.3	2.60	22.3	77.7
159	2.01	15.8	10.6	57.9	13.8	17.8	82.2
163	2.38	54.2	21.9	18.0	3.56	56.6	43.4
168	8.10	9.76	4.30	69.1	8.74	17.9	82.1
172	14.3	19.8	9.95	42.1	13.9	34.1	65.9
173	24.0	14.5	10.1	33.0	18.5	38.4	61.6
176	10.2	35.1	11.0	29.4	14.4	45.2	54.8
182	4.27	38.5	31.1	21.5	4.63	42.8	57.2
183	1.79	2.13	64.9	29.0	2.13	3.92	96.1
186	N.D.	18.3	61.9	12.0	7.83	18.3	81.7
189	N.D.	23.7	42.4	32.3	1.53	23.7	76.3

หมายเหตุ: N.D. หมายถึง Not Detected

**ภาคผนวก จ**  
**การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PHCs และ PAHs ในดินตะกอนผิวหน้า**  
**ของอ่าวไทย**

1) การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PHCs

ตารางที่ จ-1 ผลการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ ในการวิเคราะห์ PHCs

สถานี	ความเข้มข้นของ PHCs (ug/g dry weight)			
	ซ้ำ #1	ซ้ำ #2	ค่าเฉลี่ย	%RPD
29	0.291	0.282	0.287	3.15
56	0.022	0.033	0.027	38.0
78	0.254	0.246	0.250	2.84
79	0.233	0.230	0.231	1.28
80	0.419	0.418	0.418	0.25
83	0.159	0.167	0.163	5.26
89	0.050	0.047	0.048	6.92
97	0.310	0.324	0.317	4.27
104	0.221	0.232	0.226	4.46
108	0.405	0.393	0.399	3.07
113	0.281	0.284	0.282	0.97
144	0.228	0.227	0.228	0.43
172	0.189	0.199	0.194	5.14
185	0.235	0.245	0.240	3.86
191	0.160	0.179	0.169	11.1

หมายเหตุ ค่า%RPD ของสถานี 56 มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากการวิเคราะห์สารที่มีในปริมาณน้อยมากจะพบว่ามี ความแตกต่างของการวิเคราะห์ซ้ำมาก

ตารางที่ จ-2 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับ (%recovery) เพื่อทดสอบความถูกต้อง

สถานี	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub> -C <sub>0</sub>	C <sub>A</sub>	%recovery
st.150 (1)	0.442	0.270	0.1720	0.200	86.0
st.150 (2)	0.412	0.270	0.1424	0.200	71.2
st.150 (3)	0.461	0.270	0.1914	0.200	95.7



ตารางที่ จ-3 ผลการวัด blank 10 ซ้ำ

ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	ซ้ำ 6	ซ้ำ 7	ซ้ำ 8	ซ้ำ 9	ซ้ำ 10
0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.003	0.003	0.002

ค่าเฉลี่ย = 0.003

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.001

จากสมการ 3-9 บทที่ 3      LOD = Mean ของ blank + 3SD  
 = 0.003 + (3 X 0.001)  
 = 0.006

จากสมการ 3-10 บทที่ 3      LOQ = Mean ของ blank + 10SD  
 = 0.003 + (10 X 0.001)  
 = 0.013

2) การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์ PAHs

ตารางที่ จ-4 ผลการสกัดและวิเคราะห์ซ้ำ ในการวิเคราะห์ PAHs

สถานี	ความเข้มข้นของ PAHs (ng/g dry weight)			
	ซ้ำ #1	ซ้ำ #2	ค่าเฉลี่ย	%RPD
3	86.0	99.3	92.6	14.4
21	157	154	155	1.60
29	81.1	82.2	81.6	1.30
78	72.3	78.3	75.3	7.90
84	153	153	153	0.50
172	48.8	45.0	46.9	7.91

**ภาคผนวก ฉ**  
**องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย**

ตารางที่ ฉ-1 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าอ่าวไทย

สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pry	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	$\Sigma$ LPAHs/ $\Sigma$ HPAHs	แหล่งกำเนิดหลัก
1	X	X	O	X	X	pyrogenic
2	X	X	X	X	X	pyrogenic
3	X	X	O	X	O	pyrogenic
5	X	O	X	X	X	pyrogenic
6	X	ND	X	X	X	pyrogenic
12	X	O	X	X	X	pyrogenic
14	X	X	X	X	O	pyrogenic
15	X	O	O	X	O	petrogenic
16	X	X	O	X	X	pyrogenic
17	X	O	O	O	X	petrogenic
18	X	O	O	X	X	pyrogenic
21	X	X	O	X	O	pyrogenic
27	X	X	X	X	O	pyrogenic
29	X	O	X	X	X	pyrogenic
36	X	O	O	X	X	pyrogenic
38	X	O	X	X	X	pyrogenic
47	X	O	O	X	X	pyrogenic
51	X	X	O	X	O	pyrogenic
52	X	X	O	X	O	pyrogenic
53	X	X	O	X	O	pyrogenic
56	X	X	O	O	X	pyrogenic
59	X	O	O	X	X	pyrogenic
62	X	O	O	X	O	petrogenic
63	X	X	X	X	O	pyrogenic
65	X	X	O	X	O	pyrogenic
71	X	O	O	X	X	pyrogenic
74	X	X	O	X	O	pyrogenic
78	X	O	O	X	O	petrogenic
79	X	O	O	X	O	petrogenic
80	X	O	O	X	X	pyrogenic
81	X	O	O	X	X	pyrogenic
82	O	O	O	X	X	petrogenic
84	X	X	O	X	X	pyrogenic
87	X	X	O	X	O	pyrogenic
88	X	X	O	X	X	pyrogenic

ตารางที่ ฉ-1 (ต่อ)

สถานี	An/An+Phe	Fluo/Fluo+Pry	B[a]A/B[a]A+Chry	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	$\Sigma$ LPAHs/ $\Sigma$ HPAHs	แหล่งกำเนิดหลัก
94	X	O	O	X	X	pyrogenic
97	X	X	O	O	O	petrogenic
98	X	X	O	X	O	pyrogenic
101	X	O	X	X	X	pyrogenic
108	X	O	X	X	O	pyrogenic
111	X	X	O	X	X	pyrogenic
115	X	X	O	X	O	pyrogenic
118	X	O	O	X	X	pyrogenic
121	X	O	O	X	X	pyrogenic
129	X	O	X	X	X	pyrogenic
131	X	O	X	X	X	pyrogenic
132	X	O	O	X	X	pyrogenic
133	X	X	O	X	O	pyrogenic
136	X	O	X	O	O	petrogenic
144	X	O	O	X	O	petrogenic
148	X	X	X	X	X	pyrogenic
153	X	O	O	X	X	pyrogenic
159	X	X	O	X	X	pyrogenic
163	X	O	O	X	O	petrogenic
168	X	X	X	X	X	pyrogenic
172	X	O	O	X	X	pyrogenic
173	X	X	O	X	X	pyrogenic
176	X	X	O	X	X	pyrogenic
182	X	X	O	X	X	pyrogenic
183	X	O	X	X	X	pyrogenic
186	X	O	X	X	X	pyrogenic
189	X	O	O	X	X	pyrogenic

หมายเหตุ : X = pyrogenic, O = petrogenic, ND = not detected

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ สกุล นางสาวนฤมล บัวงาม รหัสนิต 5487149020

วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(วิทยาศาสตร์เคมี) มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2551

การนำเสนอและตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

นฤมล บัวงาม, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และเสวีย์ฟ้า สื่อ.  
2557. การประเมินการปนเปื้อนจากปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย.  
เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 13, 26-28 มีนาคม 2557, โรงแรม  
เดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ.

Bua-ngam, N., Sompongchaiyakul, P., Khokiattiwong, S. and Xuefa Shi.  
2013. Petroleum hydrocarbons contamination in surficial sediment of the Gulf of  
Thailand. Paper presented at the NRCT – JSPS Joint International Seminar, 15-17  
November 2013, 2013, Chiangmai, Thailand. (Poster presentation)

ประสบการณ์

2555 – ปัจจุบัน ผู้ช่วยวิจัย ภาค วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ประวัติการทำงาน

2551 – 2554 นักวิชาการประมง ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง  
อ่าวไทยตอนบน จังหวัดสมุทรสาคร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง)