



การประเมินการปนเปื้อนและการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิก
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
Contamination Assessment and Source Apportionment of Polycyclic
Aromatic Hydrocarbon in Eastern Inner Gulf of Thailand

อนุช เหนือคลอง
Anuch Nuaklong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การประเมินการปนเปื้อนและการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิก
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
Contamination Assessment and Source Apportionment of Polycyclic
Aromatic Hydrocarbon in Eastern Inner Gulf of Thailand

อนุช เหนือคลอง
Anuch Nuaklong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินการปนเปื้อนและการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ผู้เขียน นางสาวอนุช เหนือคลอง

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ดร.दनัย ทิพย์มณี) (ดร.ธนิตา อารีรบ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

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

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)

..... กรรมการ
(ดร.อัศมน ลิ้มสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้างู๋สง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรอง ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวอนุช เหนือคลอง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวอนุช เหนือคลอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประเมินการปนเปื้อนและการจำแนกแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
ผู้เขียน	นางสาวอนุช เหนือคลอง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ทำการจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) โดยวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) 15 ชนิดในตะกอนดิน จากบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกครอบคลุมจังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา และสมุทรปราการ ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2559 จำนวน 39 สถานี จากนั้นประเมินรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs ในดินตะกอน รวมทั้งประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศน์ในตะกอนดิน ทำการสกัดตะกอนดินด้วยวิธี soxhlet และตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปคโตรเมตรี-GC-MS) จำแนกแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในตะกอนดินโดยใช้ diagnostic ratio และ principle component analysis (PCA) ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ($\Sigma 15\text{PAHs}$) อยู่ในช่วง 29.2 ถึง 961 นาโนกรัมต่อน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.9 ± 157 นาโนกรัมต่อน้ำหนักแห้ง พบค่าความเข้มข้นสูงสุดที่สถานี 34 (อยู่ระหว่างชายฝั่งศรีราชากับเกาะสีชัง (และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สถานี 16 ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ห่างจากชายฝั่ง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/An+Phe, Fluor/(Fluor+Pyr), B[a]A/(B[a]A+Chry), Ind/(Ind+B[g,h,i]) ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าตัวอย่างตะกอนดินในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic sources) เนื่องจากบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ทั้งการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจากนิคมอุตสาหกรรมต่าง ๆ การเผาไหม้ปิโตรเลียมจากกิจกรรมการเดินเรือ รวมไปถึงการเผาไหม้ที่มาจากอาหารจากบ้านเรือน ซึ่งจากการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน การประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบค่าความเข้มข้นของสาร PAHs เกือบทุกตัว ยกเว้น B[g,h,i]P ในสถานี 34 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (ERL)

คำสำคัญ: โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, ตะกอนดิน, แหล่งกำเนิด

Thesis Title	Contamination Assessment and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Eastern Inner Gulf of Thailand
Author	Miss Anuch Nuaklong
Major Program	Technology and Environmental Management
Academic Year	2018

ABSTRACT

Source Apportionment of 15 Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) was investigated in marine sediment samples. The 39 of surface sediments from the east coast of the upper Gulf of Thailand were analyzed in order to identify the potential sources, the pattern of spatial distribution of PAHs and potential ecological risk in the surface sediments. Sediment samples were extracted using soxhlet extraction and were analyzed by Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS). Moreover, the diagnostic ratios and principle component analysis (PCA) were applied to apportion the potential source of PAHs in the study areas. The results showed that total concentration of PAHs ($\Sigma 15\text{PAHs}$) were ranged from 29.2 to 961 ng/g dry weight, with and the average of 99.9 ± 157 ng/g dry weight. The concentration was found highest at station 34 which located at the Koh-Sichang Channel, and lowest at station 16 which located at off shore. The result of Diagnostic ratios among $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$, $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$, $\text{B[a]A}/(\text{B[a]A}+\text{Chry})$ and $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B[g,h,i]P})$ were indicated that PAHs in the sediment samples of this study mainly originated from pyrogenic sources and the fossil fuel incomplete combustion, petroleum combustion and domestic combustion. The principal component analysis results conformed that the potential sources of PAHs are the same as diagnostic ratios results. The contamination assessment were concentrations of B [g, h, i] P in station 34 were lower than the Effect Range Low.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), sediment, source

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.दनัย ทิพย์มณี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ธนิศา อารีรบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์ และ ดร.อัศมน ลีมสกุล ที่ให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณปรีชา เสนิสวัสดิ์ ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่สนับสนุนทุนการศึกษาสำหรับการเรียนและทำวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวเหนือคลอง ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการศึกษา

อนุช เหนือคลอง

สารบัญ

	หน้า
หน้าอนุมัติ.....	(2)
บทคัดย่อ.....	(5)
Abstract.....	(6)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(11)
สารบัญภาพ.....	(12)
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	(14)
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 การตรวจเอกสาร	
2.1 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	6
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	9
2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	10
2.4 ความเป็นพิษของสาร PAHs.....	13
2.4.1 สารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity).....	13
2.4.2 การเป็นสารก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity).....	13
2.5 การกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	14
2.6 พื้นที่ในการศึกษา.....	15
2.6.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	15
2.6.2 จำนวนประชากร.....	17
2.6.3 ท่าเรือบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	17
2.7 การศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs.....	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีการวิจัย	
3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง.....	23
3.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา.....	25
3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน.....	25
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน.....	25
3.3.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน.....	26
3.3.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs.....	28
3.3.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS.....	31
3.4 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard.....	32
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ.....	33
3.5.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs.....	34
3.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยใช้ Diagnostic ratio.....	34
3.7 การประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs.....	36
4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	
4.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน.....	37
4.2 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	38
4.3 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	43
4.4 ลักษณะการกระจายตัวของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	44
4.5 องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	55
4.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	56
4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร.....	60
4.7.1 การวิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดของสาร PAHs.....	60
4.7.2 วิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลของสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่าง.....	63
4.8 การประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	83

สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
2.1 รูปแบบและโครงสร้างทางเคมีของสาร PAHs 16 ชนิด.....	7
2.2 สมบัติทางกายภาพ เคมีของสาร PAHs.....	9
2.3 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ.....	11
2.4 การแบ่งชนิดของสาร PAHs.....	13
2.5 จำนวนประชากรบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกแยกตามจังหวัด.....	17
2.6 จำนวนท่าเรือบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกแยกตามจังหวัดและประเภทท่าเรือ.....	18
3.1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ระหว่างวันที่ 5-7 กรกฎาคม พ.ศ.2559.....	24
3.2 สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer ในการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs.....	31
3.3 อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs.....	35
3.4 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน.....	36
4.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b.....	37
4.2 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิด และ Σ PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	40
4.3 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสาร Σ PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออกกับการศึกษาอื่น ๆ.....	42
4.4 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดิน อ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	58
4.5 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก.....	61
4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดินกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	65

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขอบเขตการทำวิจัย.....	4
2.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs จากกิจกรรมมนุษย์ และการกระจายตัวในสิ่งแวดล้อม.....	12
2.2 การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	14
3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	22
3.2 สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	23
3.3 การทำตัวอย่างตะกอนดินให้แห้งด้วยวิธี freeze dry.....	25
3.4 การสกัดตะกอนดินด้วย วิธีซอกเลต (soxhlet extraction).....	26
3.5 เครื่อง rotary evaporator.....	27
3.6 ระเหยตัวทำละลายด้วยแก๊สไนโตรเจน.....	27
3.7 คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography).....	29
3.8 หลอด centrifuge tube.....	29
3.9 แผนผังสรุปวิธีการสกัดและวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดิน.....	30
4.1 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	39
4.2 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	43
4.3 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ $\Sigma 15$ PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน.....	45
4.4 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs 2-3 วง (ก) และ 4-6 วง (ข) บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	46
4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	47
4.6 องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	55
4.7 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) An/(An+Phe) กับ Fluo / (Fluo+Pry) และ (ข) B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/Ind+B[g,h,i]P ในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 Loading Plot ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกด้วยเทคนิค PCA.....	62
4.9 Score plot ของสถานีเก็บตัวอย่าง บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกด้วยเทคนิค PCA.....	64

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

DCM	Deuterated-Fluorene
ERL	Effect Range Low
ERM	Effects Range Median
GC/MS	Gas Chromatograph Mass Spectrometry
HMW	High-Molecular-Weight
LMW	Low-Molecular-Weight PAHs
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PCA	Principal Component Analysis
SQG	Sediment Quality Guideline
SRM	Standard Reference Material

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons หรือ PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ (Bouloubassi, *et al.*, 2012) เป็นกลุ่มสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง (Qin, *et al.*, 2014) มีฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง PAHs จัดเป็นสารมลพิษที่ย่อยสลายได้ยากที่สุดในสิ่งแวดล้อม องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency หรือ US-EPA) กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด เป็นอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้น

สาร PAHs มีแหล่งกำเนิดใหญ่ 2 แหล่ง คือ จากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น น้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม คาร์บอนที่มาจากยานพาหนะ การปนเปื้อนจากน้ำมัน การเผาไหม้สารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก PAHs เป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ดังนั้นอนุภาคของ PAHs จะอยู่ในน้ำได้ไม่นาน และตกตะกอนลงไปในตะกอนดิน (Luo, *et al.*, 2008; Parinos, *et al.*, 2013; Liu, *et al.*, 2014) จึงพบ PAHs ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนดินมากกว่าในน้ำ (Nasher, *et al.*, 2013; Retnam, *et al.*, 2013; Zong, *et al.*, 2014)

จากนโยบายในการพัฒนาประเทศไทยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2524-2529) เกิดเป็นแผนพัฒนาเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Seaboard) โดยกำหนดพื้นที่ 3 จังหวัดชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา ให้เป็นศูนย์กลางความเจริญและแหล่งที่ตั้งของอุตสาหกรรมหลักของประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2524) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และมีการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึก ซึ่งมีกิจกรรมการขนส่งน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

พื้นที่ชายฝั่งในแถบนี้จึงคาดว่าจะมีการปนเปื้อนของ PAHs ในปริมาณที่สูง (Wilcke, *et al.*, 1999; Boonyatumanond, *et al.*, 2006; Somtrakoon, *et al.*, 2009) และในปัจจุบันเพื่อต่อยอดแผนพัฒนาเศรษฐกิจภาคตะวันออก ซึ่งดำเนินมากกว่า 30 ปี รัฐได้ประกาศเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษตามแผนงานพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor หรือ EEC) ซึ่งเป็นแผนยุทธศาสตร์ภายใต้ไทยแลนด์ 4.0 ครอบคลุม 3 จังหวัด คือ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559) ทำให้ชายฝั่งทะเลในพื้นที่ดังกล่าวหลีกเลี่ยงปัญหาการปนเปื้อน PAHs ได้ยาก อีกทั้งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกยังเป็นบริเวณที่แม่น้ำสายหลักของไทยไหลลงทะเล จึงเป็นพื้นที่รองรับสาร PAHs ที่ปนเปื้อนมาจากกิจกรรมบนแผ่นดิน

จากงานวิจัยการกระจายตัวของ PAHs ที่ผ่านมาพบว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อการกระจายตัวและการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดิน (Chunharat, *et al.*, 2015; Zhang, *et al.*, 2016a) โดยเฉพาะในเขตที่มีความเข้มข้นของ PAHs ค่อนข้างสูง ได้แก่ ชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่าค่า PAHs อยู่ในช่วง 168-2,468 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (Chunharat, *et al.*, 2015) และทางตอนเหนือของอ่าวหลวงตง ในประเทศจีน ค่า PAHs อยู่ในช่วง 192-624 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (Zhang, *et al.*, 2016a) โดยทั่วไปจากงานวิจัยพบว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจมาจากแหล่งอุตสาหกรรมหรือบางครั้งก็มาจากการเผาไหม้จากภาคเกษตรกรรม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวและการสะสมตัวของ PAHs และทำการประเมินระดับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่อ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการวางมาตรการป้องกันแก้ไข ติดตามและตรวจสอบผลกระทบจากกิจกรรมมนุษย์ในพื้นที่ศึกษา

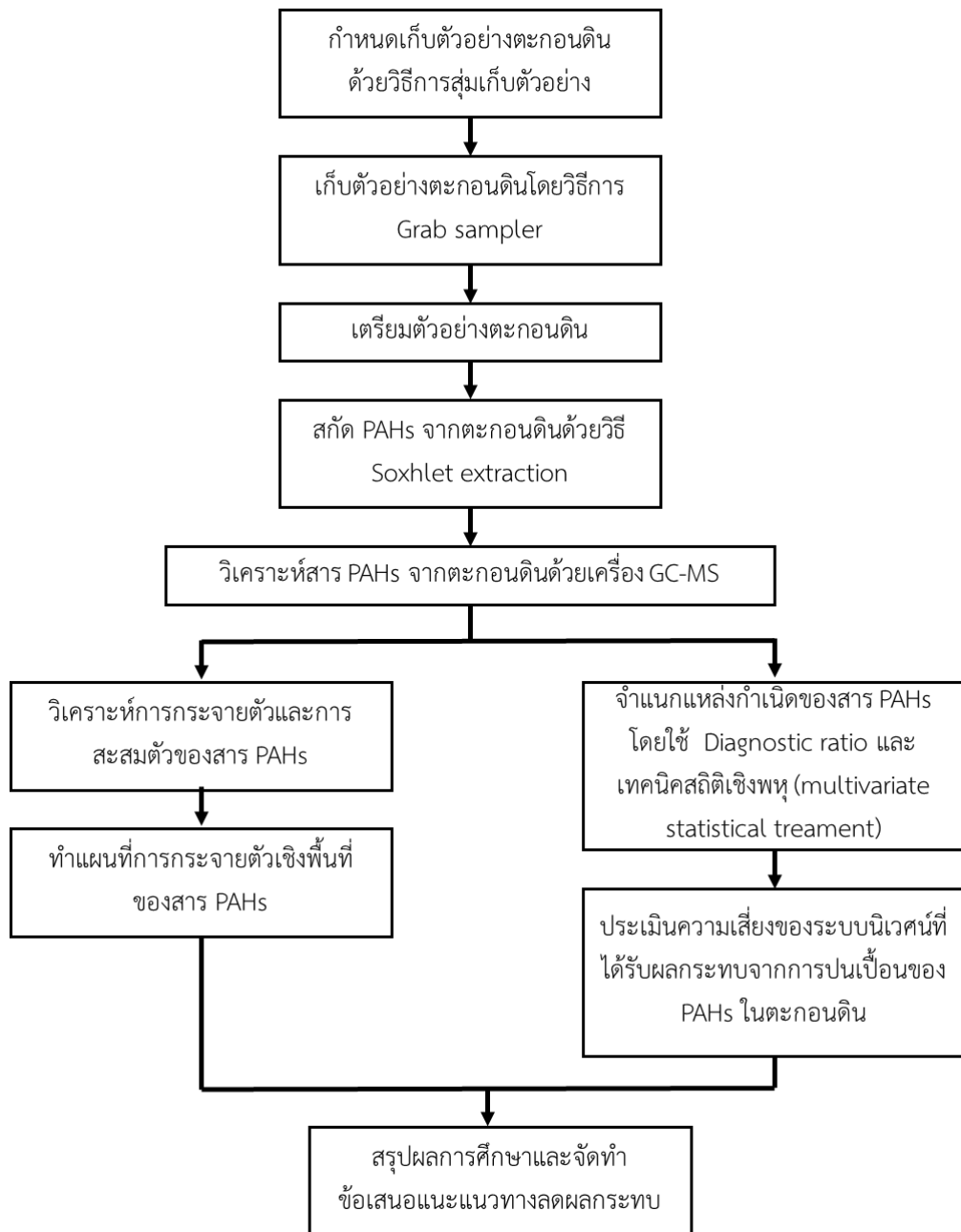
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดและรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs ในตะกอนดิน ชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

1.2.2 ประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศน์ที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าในอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยใช้ Grab sampler ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบและความเข้มข้น PAHs จำนวน 15 ชนิด และจัดทำแผนที่แสดงลักษณะกระจายและสะสมตัวของ PAHs เชิงพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 รวมทั้งจำแนกแหล่งกำเนิด PAHs โดยใช้ Diagnostic ratio และสถิติเชิงพหุ (Multivariate statistical treatment) นอกจากนี้นำผลวิเคราะห์ที่ได้ประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศน์ โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานตามภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตการทำวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ประเมินความเสี่ยงและผลกระทบที่มีต่อระบบนิเวศในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

1.4.2 นำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประกอบการพิจารณากำหนดแนวทางควบคุม ป้องกัน และแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

บทที่ 2

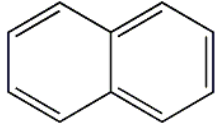
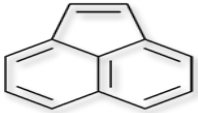
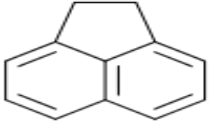
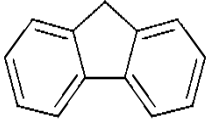
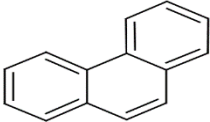

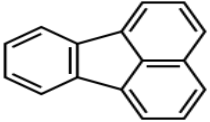
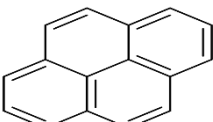
การตรวจเอกสาร

2.1 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

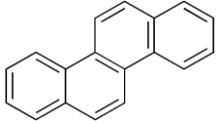
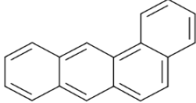
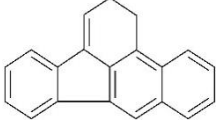
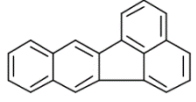
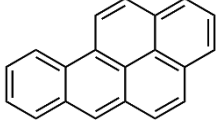
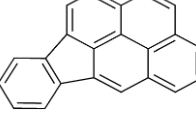
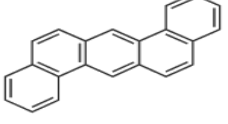
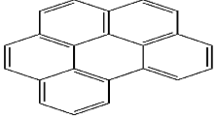
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นสารพิษและเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่มของสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Curtosi *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010) มีสมบัติในการละลายน้ำต่ำ และเนื่องจากมีความคงทนในสิ่งแวดล้อมสูง PAHs จะไปสะสมในตะกอนดินซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตหน้าดินในระยะยาว (Liu *et al.*, 2012) และมีการถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตในลำดับขั้นการบริโภคห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป ซึ่งในที่สุดก็เข้าสู่มนุษย์

สาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง จะมีจุดเดือดสูง และความดันไอต่ำ การย่อยสลายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเกิดขึ้นได้ยากกว่า PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ทำให้ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงสะสมตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน (Nasher *et al.*, 2013; Retnam *et al.*, 2013; Zong *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตาม PAHs แต่ละชนิดมีลักษณะและความเป็นพิษแตกต่างกัน ก่อให้เกิดมะเร็งและส่งผลกระทบต่อการก่อกลายพันธุ์ต่างกัน องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency; US-EPA) กำหนดให้ PAHs ที่พึงให้ความสำคัญ 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Ace), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phe), Anthracene (An), Fluoranthene (Fluo), Pyrene (Pyr), Benzo[a]anthracene (B[a]A), Chrysene (Chry), Benzo[b]fluoranthene (B[b]F), Benzo[k]fluoranthene (B[k]F), Benzo[a]pyrene (B[a]P), Indeno (1,2,3-cd) pyrene (Ind), Dibenzo[a,h]anthracene (D[a,h]A) และ Benzo[g,h,i]perylene (B[g,h,i]P) (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 รูปแบบและโครงสร้างทางเคมีของสาร PAHs 16 ชนิด

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

ตารางที่ 2.1 รูปแบบและโครงสร้างทางเคมีของสาร PAHs 16 ชนิด (ต่อ)

PAHs	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	โครงสร้างทางเคมี
Chrysene	Chry	228	
Benzo[a]anthracene	B[a]A	228	
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	
Benzo[a]pyrene	B[a]P	252	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Ind	276	
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

สาร PAHs เป็นกลุ่มสารประเภทไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน โดยวงเบนซีน 2 วงที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงเบนซีนอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่แตกต่างกันมากกว่า 100 ชนิด ส่วนใหญ่จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง (Mabey, *et al.*, 1982) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 PAHs เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วจึงละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ความสามารถในการละลายน้ำและการระเหยของ PAHs จะลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลหรือจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น อาจแบ่ง PAHs ออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight PAHs) คือ สารที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 4 วง และ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight PAHs) คือ สารที่มีวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 4 วงขึ้นไป

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพ เคมีของสาร PAHs

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

ที่มา : (Mabey, *et al.*, 1982)

2.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ จากธรรมชาติ (natural source) และจากกิจกรรมมนุษย์ (anthropogenic source) (Tolosa, *et al.*, 2004) ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดก่อให้เกิด PAHs ที่แตกต่างกันไป (ตารางที่ 2.3) ดังนี้

1) แหล่งกำเนิด PAHs จากธรรมชาติ มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น การเกิดไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด (Wolska, *et al.*, 2012) PAHs ที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่ในอากาศและถูกน้ำฝนชะล้างลงน้ำ จึงอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้ (Herngren, *et al.*, 2010)

2) แหล่งกำเนิด PAHs จากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมันดิบ ควีนจากท่อไอเสียรถยนต์ การเผาขยะ และการเผาตอพงข้าวของเกษตรกร ในกรณีนี้ความเข้มข้นของ PAHs ในสิ่งแวดล้อมจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างบริเวณที่ปนเปื้อนกับแหล่งกำเนิด และการเคลื่อนย้ายของ PAHs (Kanaly and Harayama, 2000) PAHs จากกิจกรรมมนุษย์แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามกระบวนการเกิด ดังนี้

ก) PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (pyrogenic sources) เป็นสาร PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4 - 6 วง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แก่ ไม้ ถ่านหิน และน้ำมัน นอกจากนี้ยังมี น้ำชะจากเกษตรกรรม บ้านเรือน น้ำทิ้งจากขยะ และการเผาไหม้จากบ้านเรือน เช่น การทำอาหารจำพวกปิ้ง ย่าง

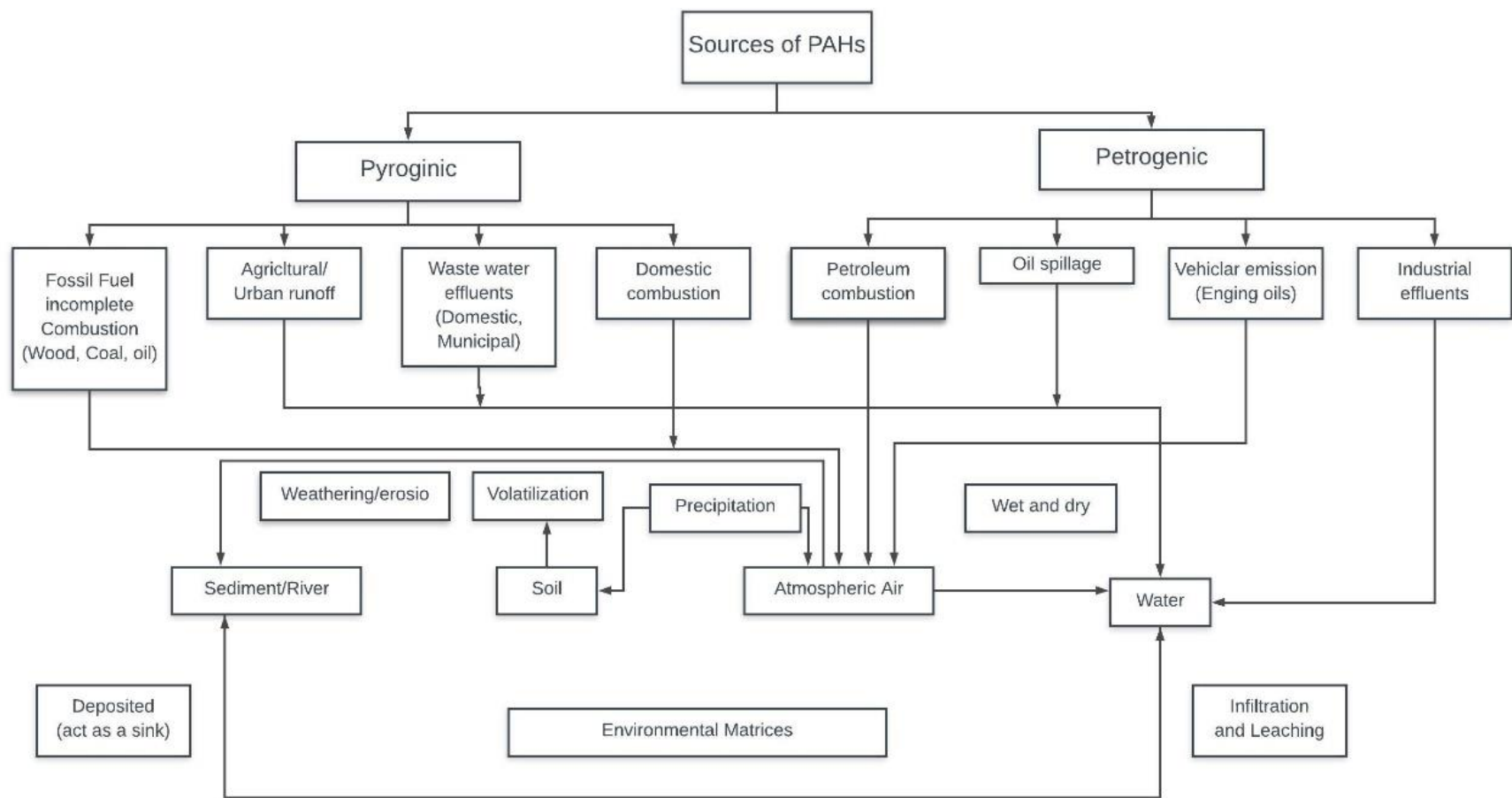
ข) PAHs ที่เกิดจากปิโตรเลียม (petrogenic source) คือ PAHs ที่มีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ โมเลกุลของสารกลุ่มนี้มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 2-3 วง (Hong, *et al.*, 2016) ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม การรั่วไหลของน้ำมัน การรั่วไหลของน้ำมันจากยานพาหนะ รวมไปถึงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วย

แหล่งกำเนิดที่มาจากพวกน้ำชะและน้ำทิ้งต่าง ๆ ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ส่วนแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะปนเปื้อนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ (Genualdi, *et al.*, 2009) โดยมีลมเป็นตัวพัดพาไป และสามารถตกลงสู่พื้นล่างได้โดยการชะของน้ำค้างหรือน้ำฝน (precipitation) เข้าไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำ สุดท้ายไปสะสมตัวอยู่ในตะกอนดิน (Compaan and Laane, 1992; Fabbri, *et al.*, 2003; Ollivon, *et al.*, 1999)

ตารางที่ 2.3 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ

แหล่งที่มา (Source)	สาร PAHs ที่พบ
กระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน	Phe, Fluo และ Pyr
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chry, Pyr และ Fluo
กระบวนการเผาไหม้	B[a]P และ Fluo
เชื้อเพลิงจากน้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรม	Fluo, Pyr และ Chry
การเผาไหม้ฟางข้าว	Ind, B[a]P และ D[a,h]A
เตาเผาขยะ	Pyr, Phe และ Fluo
การใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลในยานพาหนะ	Fluo, Pyr, B[b]F และ B[k]F

ที่มา : (ATSDR, 1995)



ภาพที่ 2.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs จากกิจกรรมมนุษย์ และการกระจายตัวในสิ่งแวดล้อม (Hamid, et al., 2016)

2.4 ความเป็นพิษของสาร PAHs

2.4.1 สารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

PAHs เป็นสารมลพิษที่ควรให้ความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งได้ แบ่งเป็น 2 กลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่น่าจะก่อมะเร็งในคน (ตารางที่ 2.4) โดยการจัดกลุ่มดังกล่าวใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น คาร์บอนหริ้ น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ และเป็นการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์ได้รับ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่น ๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (Christensen and Arora, 2007)

ตารางที่ 2.4 การแบ่งชนิดของสาร PAHs

กลุ่มสารก่อมะเร็ง	กลุ่มไม่ก่อมะเร็ง
Benzo(a)anthracene	Acenaphthene
Benzo(a)pyrene	Acenaphthylene
Benzo(b)fluoranthene	Anthracene
Benzo(k)fluoranthene	Benzo(g,h,i)perylene
Chrysene	Fluoranthene
Dibenz(a,h)anthracene	Fluorene
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Phenanthrene
	Pyrene

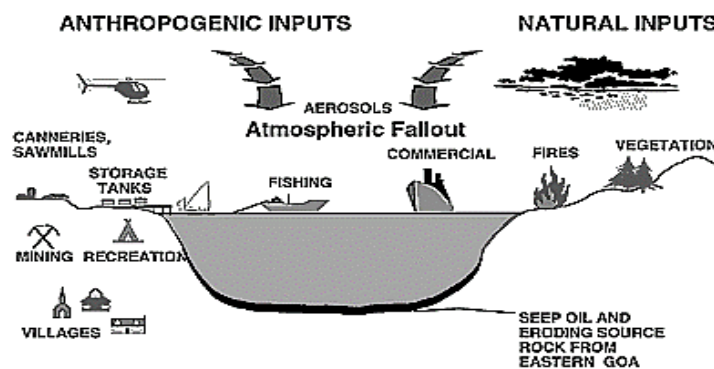
2.4.2 การเป็นสารก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์ด้วย โดย PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์โดยเอนไซม์ cytochrome P - 450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซีนได้เป็นสารอนุพันธ์ epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟตเป็นตำแหน่งที่เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง

2.5 การกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง ทั้งจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ จากเส้นทางธรรมชาติ ได้แก่ การซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ PAHs ในแหล่งน้ำธรรมชาติและดิน ส่วนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญ คือ กิจกรรมที่มีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์นี้ทำให้เกิด PAHs แตกต่างกันไปขึ้นกับวัสดุที่นำมาเผาไหม้ ดังนั้น จึงพบ PAHs กระจายตัวอยู่ทั่วไปในดิน และอาจถูกแพร่ไปไกลจากแหล่งกำเนิด เช่น ที่อยู่อาศัยและโรงงานอุตสาหกรรม คาดว่าปริมาณของสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดินส่วนใหญ่ั้นมาจากกระบวนการปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของยานพาหนะ (ภาพที่ 2.2)

สาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่งแตกต่างกันไปไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และ PAHs ที่เกิดขึ้นก็จะออกสู่ชั้นบรรยากาศและสะสมตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ ในเขตเมืองจึงมักพบความเข้มข้นของสาร PAHs สูง (Oros and Ross, 2005) และจากการที่ PAHs มีอัตราการแพร่กระจายและความสามารถในการสะสมในอนุภาคสูง PAHs จึงเคลื่อนตัวได้ง่ายในอากาศ แพร่กระจายโดยการเกาะติดกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศ และตกลงสู่พื้นล่างโดยแรงโน้มถ่วงของโลก หรือถูกชะลงมาสู่แหล่งน้ำด้วยน้ำค้างหรือน้ำฝน จากนั้นสาร PAHs จะกระจายตัวอยู่ในน้ำรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอย และท้ายที่สุดก็ตกสะสมอยู่ในตะกอนดิน PAHs ส่วนที่เข้าสู่แหล่งน้ำโดยตรง เมื่อปนเปื้อนในน้ำจะรวมตัวกัน หรือเกาะกับคอลลอยด์ (colloids) และตกตะกอนสะสมอยู่กับดินตะกอน (sediment) จึงมักพบว่าสาร PAHs ในดินตะกอนมีค่าสูงกว่าในน้ำประมาณ 3 - 5 เท่า (Gocht, *et al.*, 2001; Nasher, *et al.*, 2013; Retnam, *et al.*, 2013; Zong, *et al.*, 2014)



ภาพที่ 2.2 การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม

2.6 พื้นที่ศึกษา

อ่าวไทยตอนบนมีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิด ครอบคลุมพื้นที่หลายจังหวัด และเป็นที่ยอมรับน้ำจากแม่น้ำทั้ง 4 สาย คือ แม่น้ำกลอง ท่าจีน เจ้าพระยา และบางปะกง มีความลึกเฉลี่ย 15 เมตร ชายฝั่งมีความยาวถึง 404 กิโลเมตร (สุมาลี สุขตานนท์, 2560) การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ปริณู หล่อพิทยากร, 2558) บริเวณอ่าวไทยตอนบนถือว่าเป็นศูนย์กลางการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจ มีการใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การประมง การเพาะเลี้ยงชายฝั่ง การท่องเที่ยว การคมนาคมขนส่ง และนิคมอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.6.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน

ประเทศไทยมีการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอ่าวไทยตอนบน เพื่อการเกษตร อุตสาหกรรม และแหล่งชุมชนเมือง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี ซึ่งเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศไทยรองจากกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ อุตสาหกรรมการเกษตร การแปรรูปอาหารทะเล อาหารสัตว์ มันสำปะหลัง การประกอบรถยนต์ และปิโตรเคมี นอกจากนี้ยังมีท่าเรือน้ำลึกตั้งอยู่ด้วย คือ ท่าเรือแหลมฉบัง สำหรับอ่าวสัตหีบซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับจอดเรือ อีกทั้งยังมีเกาะสีชังตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกห่างจากอำเภอสัตหีบซึ่งเป็นท่าเรือขนถ่ายสินค้าส่งออกที่สำคัญ

พื้นที่ส่วนใหญ่ปลูกพืชไร่ที่สำคัญ คือ มันสำปะหลังและสับปะรด มีนาข้าวสลับอยู่บ้าง บางพื้นที่มีการปลูกผลไม้สลับกับยางพาราเป็นบางส่วน นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ป่าชายเลนอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเล ด้านปศุสัตว์มีการเลี้ยงไก่และเป็ด สำหรับจังหวัดฉะเชิงเทราพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าวและพืชไร่ บางพื้นที่ใช้เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น บ่อกุ้ง บ่อปลา เป็นต้น

การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากนาข้าว เป็นพืชสวนเพื่อการส่งออก และมีการขยายตัวของพื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งตลอดแนวชายฝั่งทะเล นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยวอย่างรวดเร็ว

2) ชายฝั่งทะเลฝั่งบนของอ่าวไทยตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ 4 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเขตบางขุนเทียนเป็นชุมชนที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น รองลงมาคือบางปู และเทศบาลเมืองสมุทรปราการ

เขตจังหวัดสมุทรปราการเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมฟอกหนังจำนวนมาก และยังมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ ส่วนเขตจังหวัดสมุทรสาครมีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และยังมีอุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลิตภัณฑ์พลาสติก ปิโตรเคมีอีกด้วย สำหรับเขตจังหวัดสมุทรสงครามมีอุตสาหกรรมน้อยกว่าในเขตจังหวัดอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอเมือง ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตและบรรจุอาหารทะเล

บริเวณปากแม่น้ำที่สำคัญ ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำท่าจีน ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินโคลน จึงเหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่จังหวัดสมุทรสงครามและสมุทรสาครบางส่วน มีการปลูกไม้ผลและทำนาบริเวณชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาเกลือและนาเกลือ ส่วนพื้นที่ชายฝั่งในเขตจังหวัดสมุทรปราการ และเขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร มีลักษณะเป็นเลนซึ่งเหมาะแก่การเพาะเลี้ยงกุ้งและปลาน้ำจืด ส่วนพื้นที่บริเวณบางพลีและบางปูเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม

3) ชายฝั่งทะเลฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบน ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะเป็นหาดโคลน ซึ่งแต่เดิมเป็นป่าชายเลนน้ำเค็มหนาแน่น แต่ปัจจุบันเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นนาเกลือและฟาร์มหอย ชุมชนส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเล

การใช้ที่ดินด้านการเกษตร ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เพื่อการปลูกไม้ยืนต้นและไม้ผลที่นิยมปลูกกันทั่วไป ได้แก่ มะพร้าว มะม่วง สับปะรด และขนุน มีพื้นที่ปลูกพืชไร่สลับเป็นบางส่วน และมีพื้นที่ส่วนน้อยที่เป็นนาเกลือและนาข้าว

พื้นที่อุตสาหกรรมยังมีไม่มาก โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์จากการเกษตรและการประมงรวมทั้งห้องเย็นเก็บสัตว์น้ำโรงงานส่วนใหญ่เป็นขนาดกลางและขนาดเล็ก แหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ บ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

2.6.2 จำนวนประชากร

จำนวนประชากรที่อาศัยตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบนปี พ.ศ. 2559 แยกตามจังหวัดได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 จำนวนประชากรบริเวณอ่าวไทยตอนบนแยกตามจังหวัด (ระบบสถิติทางการทะเบียน, 2559)

จังหวัด	จำนวนประชากร (คน)		
	ชาย	หญิง	รวม
กรุงเทพมหานคร	2,687,253	2,999,393	5,686,646
ชลบุรี	726,918	756,131	1,483,049
ฉะเชิงเทรา	345,179	359,220	704,399
เพชรบุรี	232,821	247,831	480,652
สมุทรปราการ	619,911	673,642	1,293,553
สมุทรสาคร	268,832	287,887	556,719
สมุทรสงคราม	93,179	100,890	194,069
รวม	4,974,093	5,424,994	10,399,087

2.6.3 ท่าเรือบริเวณอ่าวไทยตอนบน

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของอ่าวไทยตอนบน เป็นบริเวณที่แม่น้ำสายสำคัญของประเทศไทยไหลลงสู่ทะเล อีกทั้งยังมีลักษณะเป็นอ่าวกึ่งปิดและมีชายฝั่งทะเลที่ทอดยาวหลายกิโลเมตร ทำให้กลายเป็นพื้นที่เหมาะสมสำหรับการสร้างท่าเรือ เช่น ท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี เป็นท่าเรือน้ำลึกหลักในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ อ่าวไทยตอนบนนับเป็นชายฝั่งที่มีท่าเรือมากที่สุด มีจำนวนทั้งสิ้น 138 ท่า ประกอบด้วยท่าเรือสินค้า 109 ท่า และท่าเรือประมง 29 ท่า ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 จำนวนท่าเรือบริเวณอ่าวไทยตอนบนแยกตามจังหวัดและประเภทท่าเรือ

จังหวัด	ประเภทของท่าเรือ (ท่า)		
	ท่าเรือสินค้า	ท่าเรือประมง	รวม
กรุงเทพมหานคร	27	1	28
ชลบุรี	11	13	24
ฉะเชิงเทรา	15	3	18
เพชรบุรี	3	6	9
สมุทรปราการ	40	2	42
สมุทรสาคร	10	2	12
สมุทรสงคราม	3	2	5
รวม	109	29	138

2.7 การศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs

ในประเทศไทยมีการศึกษา PAHs ในตะกอนดินอยู่บ้าง Boonyatumanond, *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดินจากคลอง แม่น้ำ ปากแม่น้ำ และบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทย ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ที่พบอยู่ที่ 2290 ± 2556 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่พบมีทั้ง petrogenic source และ pyrogenic source เช่นเดียวกับ Chunharat, *et al.* (2015) ศึกษาตะกอนดินในพื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีนิคมอุตสาหกรรม เก็บตัวอย่างตะกอนดินในช่วงเดือนสิงหาคม 2553 - พฤษภาคม 2554 พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs ที่พบอยู่ในช่วง $1,527.07 \pm 100.26$ นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลไม่มีผลต่อการกระจายตัวและการสะสมของสาร PAHs แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่พบมาจาก pyrogenic source ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล

ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557 เกิดเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมัน กลางทะเลอ่าวไทย จังหวัดระยอง Pongpiachan, *et al.* (2017) ได้ศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดินในบริเวณดังกล่าวทั้งหมด 69 สถานี ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs อยู่ที่ 32.5 ± 61.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง จากการจำแนกแหล่งกำเนิดโดยใช้ diagnostic ratio และเทคนิคสถิติเชิงพหุประสงค์ได้ว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมัน

ในต่างประเทศมีการศึกษาเกี่ยวกับสาร PAHs จำนวนมาก โดยเฉพาะในประเทศจีน Zhang, *et al.* (2016a) ได้ทำการศึกษาสาร PAHs ในน้ำทะเลและในตะกอนดิน บริเวณทางตอนเหนือของอ่าวหลาวตอง ในประเทศจีน ตรวจวัดความเข้มข้น PAHs ที่แปรผันตามฤดูกาล ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบในน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 145.96 - 896.58 นาโนกรัม/ลิตร ส่วนในตะกอนดินนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 191.99 - 624.44 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจากการเผาในที่โล่งบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมและการเผาไหม้ถ่านหิน (Xu, *et al.*, 2006) Zhang, *et al.* (2016b) ได้ศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณปากแม่น้ำลู่อาน ซึ่งตั้งอยู่ทางใต้ของอ่าวหลาวตอง ในประเทศจีน พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบอยู่ในช่วง 5.1 - 545.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นทั่วโลก ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ของแม่น้ำลู่อานอยู่ในระดับต่ำ แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจาก pyrogenic source ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ He, *et al.* (2014) ที่พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในระดับต่ำเพื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ และแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic source เช่นกัน

การศึกษการปนเปื้อนของสาร PAHs ของตะกอนดินในประเทศจีนมีอย่างแพร่หลายเนื่องจากประเทศจีนมีการทำอุตสาหกรรมต่าง ๆ จำนวนมาก (Men, *et al.*, 2009) ซึ่งเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนสาร PAHs Qian, *et al.* (2016) ศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณเขตน้้ำขึ้นน้ำลงบริเวณชายฝั่งอ่าว Bohai ทางตอนเหนือของประเทศจีน พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบอยู่ในช่วง 37.2 - 206.6 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่วิเคราะห์นั้นมาจากหลายแหล่ง แต่แหล่งกำเนิดหลัก ๆ ที่วิเคราะห์ออกมาได้นั้นมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ Gu, *et al.* (2016) ศึกษาสาร PAHs ของตะกอนดินในประเทศจีนเช่นเดียวกัน แต่เป็นในบริเวณอ่าว Zhelin ซึ่งแหล่งกำเนิดหลักมาจากแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมและการเผาไหม้พวกชีวมวลจากการเกษตร

นอกจากนี้ยังมีการศึกษา PAHs ที่ปนเปื้อนในแหล่งอื่นควบคู่กันไป โดย Hong, *et al.* (2016) ได้ศึกษา PAHs ในน้ำทะเล ตะกอนดิน และในหอยนางรม บริเวณชายฝั่ง Dalian ทางตอนเหนือของประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างในฤดูหนาวและฤดูร้อน ความเข้มข้นของสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมมีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากบ้านเรือนในทั้ง 2 ฤดู เช่นเดียวกับการศึกษาของ Arias, *et al.* (2010) ที่พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจากอุตสาหกรรมเช่นกัน แต่ก็มีบางส่วนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวลเนื่องจากทางตอนใต้ของพื้นที่ที่ศึกษานั้นมีการทำเกษตรกรรมทำให้วิเคราะห์ได้ว่าสาร PAHs มาจากส่วนนี้ด้วย โดยแหล่งเกิดที่กล่าวมาข้างต้นล้วนเป็น pyrogenic source ทั้งสิ้น การศึกษา PAHs ไม่ได้ศึกษาแค่ในตะกอนดินชายฝั่งทะเลเท่านั้นแต่มีการศึกษาตะกอนดินในน้ำจืด Li, *et al.* (2012) ได้ศึกษาตะกอนดินในอ่างเก็บน้ำ และลำธารซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 28 สถานี เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบอยู่ในช่วง 539 - 6281.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่พบในการศึกษานี้ค่อนข้างซับซ้อน แต่ที่มีส่งผลมากที่สุดมาจากการเผาไหม้ถ่านหินในโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้ง Chizhova, *et al.* (2013) ศึกษาสาร PAHs ในน้ำทะเล บริเวณทะเลญี่ปุ่น วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC เนื่องจากตัวอย่างอยู่ในสถานะของเหลว พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ที่ 8.5 นาโนกรัม/ลิตร ซึ่งแหล่งที่มาของสาร PAHs มาจากบรรยากาศและสมอยู่ในน้ำ เช่นเดียวกับ Ren, *et al.* (2010) ได้ศึกษาสาร PAHs ในน้ำทะเลและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เช่นเดียวกัน พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วง 30.40 - 120.29 นาโนกรัม/ลิตร ซึ่งการกระจายตัวของสาร PAHs กระจายอยู่ทั้งในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นทะเลเปิดทำให้สาร PAHs มีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในบริเวณที่ศึกษา Yan, *et al.* (2016) ได้ศึกษาสาร PAHs ในน้ำเช่นเดียวกัน แต่ตัวอย่างที่เก็บจะเก็บจากปากแม่น้ำที่มีกิจกรรมของมนุษย์ที่แตกต่างกันออกไป โดยเก็บตัวอย่างตามฤดูกาล พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามฤดูกาล

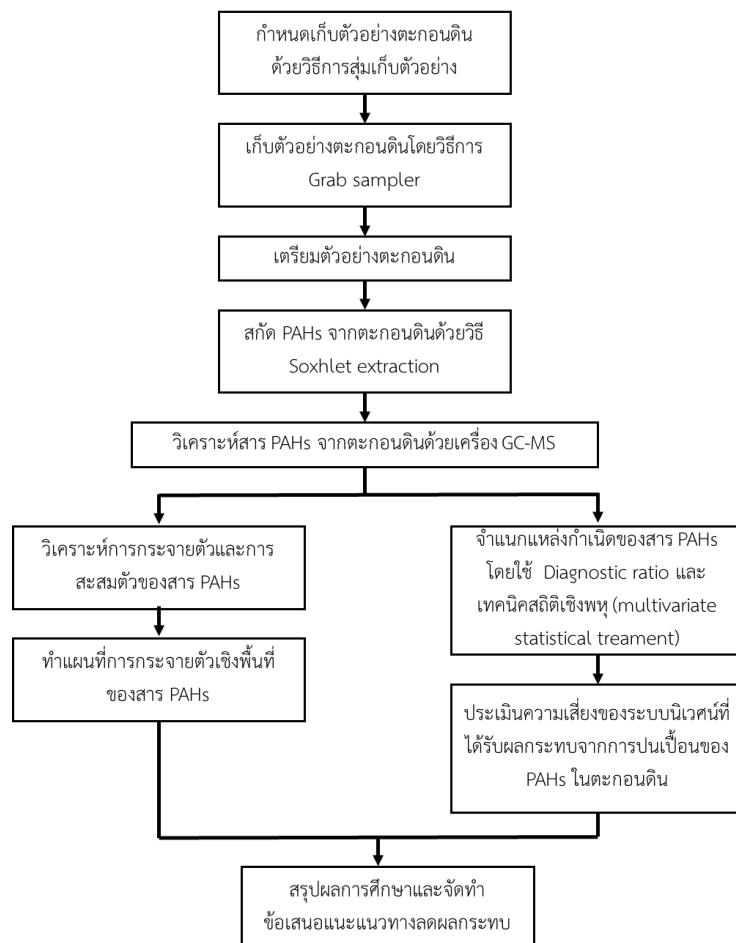
นอกจากจะมีการศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดินแล้ว ยังมีการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินอีกด้วย โดยมีเกณฑ์ในการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs อยู่หลากหลาย ซึ่ง Zhang, *et al.* (2016a) ; Zhang, *et al.* (2016b) และ Gu, *et al.* (2016) ได้ทำการการศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ควบคู่ไปกับการศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs ในประเทศจีน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินที่อ้างอิงมาจาก Long, *et al.* (1995) ซึ่งใช้ค่า Effects range (ERL) และค่า Effects range median (ERM) ในการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs นอกจากนั้นยังมีเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินที่อ้างอิงมาจาก Swartz (1999) และ NOAA (1999) ซึ่งการศึกษาของนฤมล บัวงาม (2557) ใช้เกณฑ์ดังกล่าวในการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs

Li, *et al.* (2012) ศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินที่อ้างอิงมาจาก Long, *et al.* (1995) ซึ่งใช้ค่า Effects range (ERL) และค่า Effects range median (ERM) ในการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs เช่นกัน แต่ได้อ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของสาร PAHs บางตัวเพิ่มเติมมาจาก Mai, *et al.* (2002) และ Liu, *et al.* (2009) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ He, *et al.* (2014) และ Peyman, *et al.* (2014) ที่ใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินของสาร PAHs ของ Long, *et al.* (1995) ควบคู่กับเกณฑ์ของ MacDonald, *et al.* (1996) ที่ใช้ค่า Threshold Effect Levels (TEL) และค่า Probable Effect Levels (PEL) ในการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

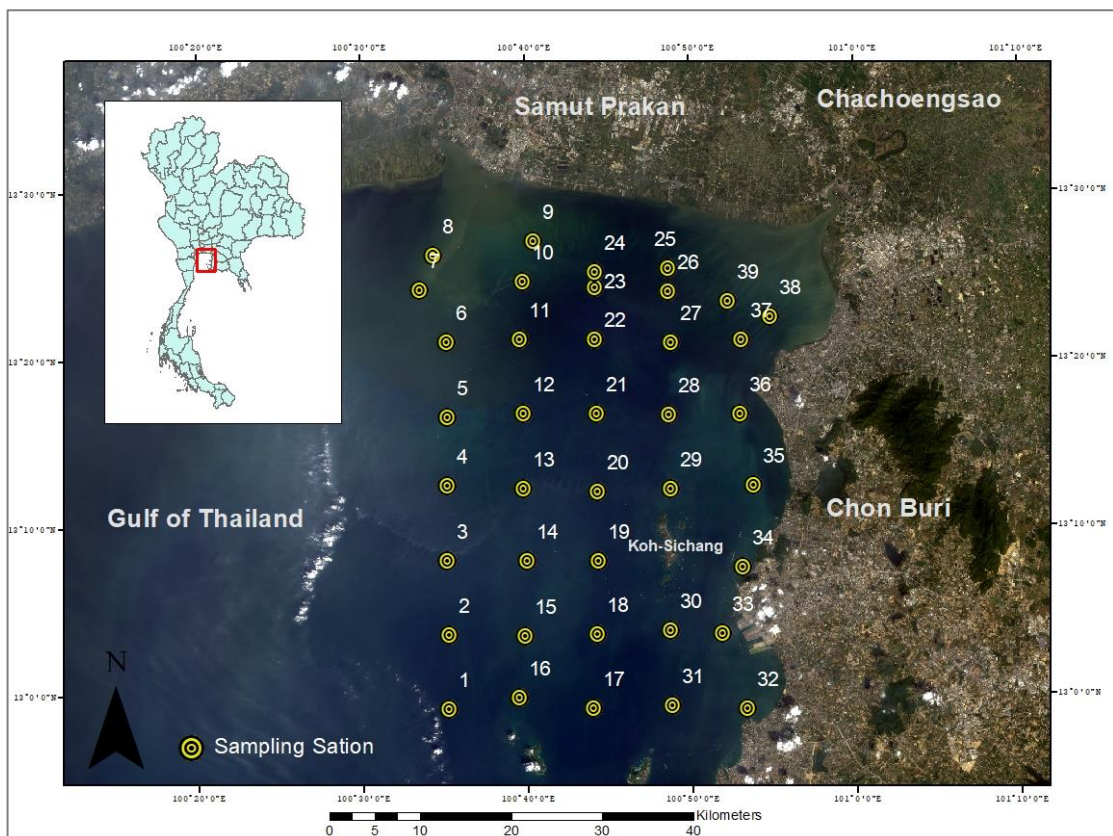
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่งโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อหาแหล่งกำเนิดและประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศน์ที่ได้รับผลจากการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินตะกอน 39 สถานี ในพื้นที่อ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยเรือเกษตรศาสตร์-1 ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2559 กำหนดสถานีด้วยกริดขนาด 8 x 8 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,000 ตารางกิโลเมตร สุ่มตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าในแต่ละสถานี โดยใช้ Smith McIntyre grab sampler โดยมีตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 3.2 และรายละเอียดพิภพตัดตำแหน่งเก็บตัวอย่างดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.2 สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ตารางที่ 3.1 พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ระหว่างวันที่ 5-7 กรกฎาคม พ.ศ.2559

สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	
	X	Y		X	Y
St.1	100.58592	12.98658	St.21	100.7377	13.27927
St.2	100.58718	13.06028	St.22	100.7364	13.353
St.3	100.58538	13.1337	St.23	100.7368	13.40533
St.4	100.58586	13.20872	St.24	100.7369	13.42077
St.5	100.58627	13.27655	St.25	100.8114	13.42313
St.6	100.58549	13.35148	St.26	100.8104	13.40057
St.7	100.55857	13.40281	St.27	100.8133	13.34957
St.8	100.57289	13.43747	St.28	100.811	13.27854
St.9	100.67403	13.45153	St.29	100.8127	13.2046
St.10	100.66321	13.4109	St.30	100.8116	13.06335
St.11	100.6601	13.35409	St.31	100.8131	12.98896
St.12	100.663	13.27962	St.32	100.8885	12.98529
St.13	100.66294	13.20581	St.33	100.8638	13.06021
St.14	100.66623	13.13369	St.34	100.8845	13.12626
St.15	100.66406	13.05861	St.35	100.8967	13.20723
St.16	100.65716	12.9978	St.36	100.8833	13.27882
St.17	100.73292	12.98689	St.37	100.885	13.35238
St.18	100.73698	13.06003	St.38	100.9146	13.37479
St.19	100.73881	13.13279	St.39	100.8711	13.39108
St.20	100.73801	13.20185			

3.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินในงานวิจัยนี้ ใช้ Smith McIntyre grab sampler ในการเก็บตัวอย่าง เมื่อได้ตะกอนดินแล้ว ตักเฉพาะตะกอนดินที่อยู่ด้านบนใน Grab วางลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminum foil) ห่อให้มีมิดชิด ใส่ในถุงพลาสติกสะอาด จดบันทึกรายละเอียด เช่น พิกัดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่าง วันที่เก็บตัวอย่าง และเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างตะกอนที่เก็บรักษาไว้ด้วยการ Freeze dry ดังภาพที่ 3.3 เลือกเศษขยะ เศษเปลือกหอยที่ไม่ต้องการออกจากตัวอย่างแห้ง จากนั้นบดตัวอย่างดินตะกอนจนละเอียด และนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 250 ไมครอน เพื่อให้ตะกอนร่วนและเป็นเนื้อเดียวกัน ห่อเก็บตัวอย่างดินตะกอนด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ก่อนบรรจุในถุงพลาสติก รอการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.3 การทำตัวอย่างตะกอนดินให้แห้งด้วยวิธี freeze dry

3.3.2 การสกัด PAHs จากตะกอนดิน

ชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งมาประมาณ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลแบบความละเอียด 2 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด จากนั้นใส่ลงในเซลลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 × 100 มิลลิเมตร ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane; DCM) โดยวิธีสกัดแบบ Soxhlet เติม Internal Standard PAHs 15 ชนิด (ประกอบด้วย Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 11H-Benzo[a]fluorine, 1 1 H-Benzo[b]fluorine, Benz[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[e]pyrene, Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3 - cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene, Benzo[g,h,i]perylene) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สกัดตะกอนดินด้วยวิธีชอกเลต (soxhlet extraction) ดังภาพที่ 3.4 โดยใช้ DCM 150 มิลลิตร เป็นตัวทำละลาย ต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

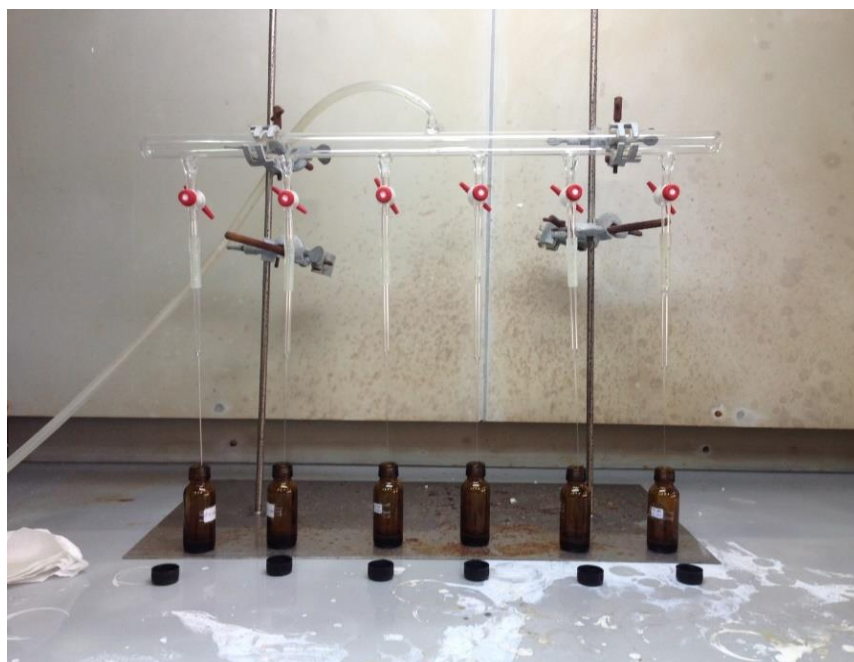


ภาพที่ 3.4 การสกัดตะกอนดินด้วย วิธีชอกเลต (soxhlet extraction)

นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง rotary evaporator ให้เหลือปริมาตรประมาณ 1 - 2 มิลลิตร ดังภาพที่ 3.5 ถ่ายใส่ขวดสีชาขนาด 20 มิลลิตร แล้วนำไปเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน ดังภาพที่ 3.6 เพื่อระเหยตัวทำละลายให้เหลือประมาณ 100 - 200 ไมโครลิตร เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น hexane ปริมาตร 5 มิลลิตร



ภาพที่ 3.5 เครื่อง rotary evaporator

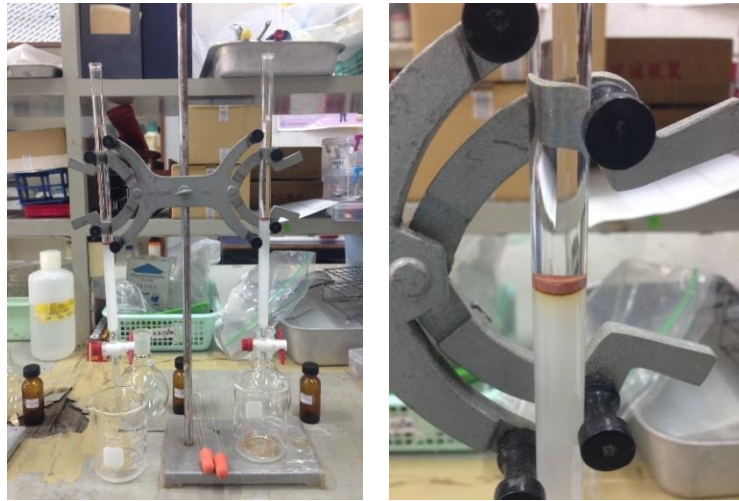


ภาพที่ 3.6 ระเหยตัวทำละลายด้วยแก๊สไนโตรเจน

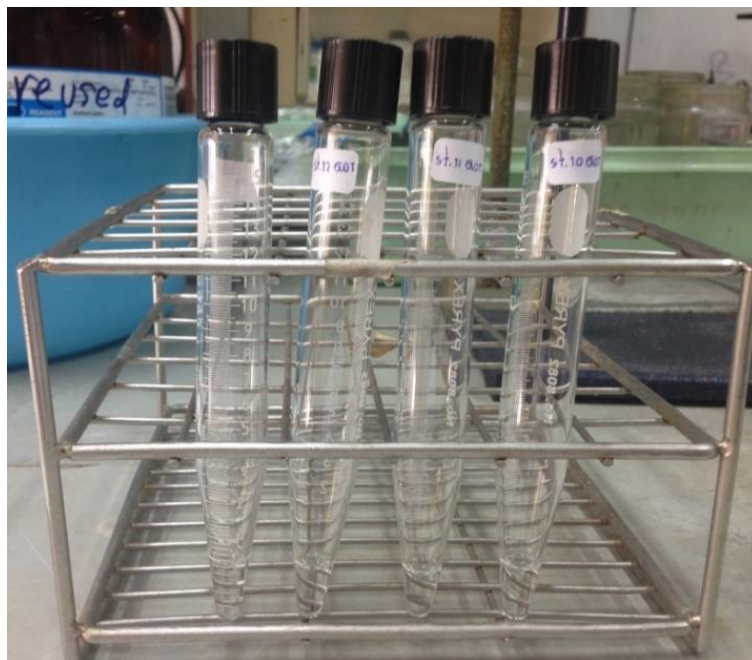
3.3.3 วิธีการสกัดแยกส่วน PAHs (fractionation)

นำสารละลาย hexane ที่ได้ไปสกัดแยกส่วนไฮโดรคาร์บอน และ clean-up ด้วยวิธี คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ silica gel column เพื่อแยก aliphatic hydrocarbon และ PAHs ออกจากกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

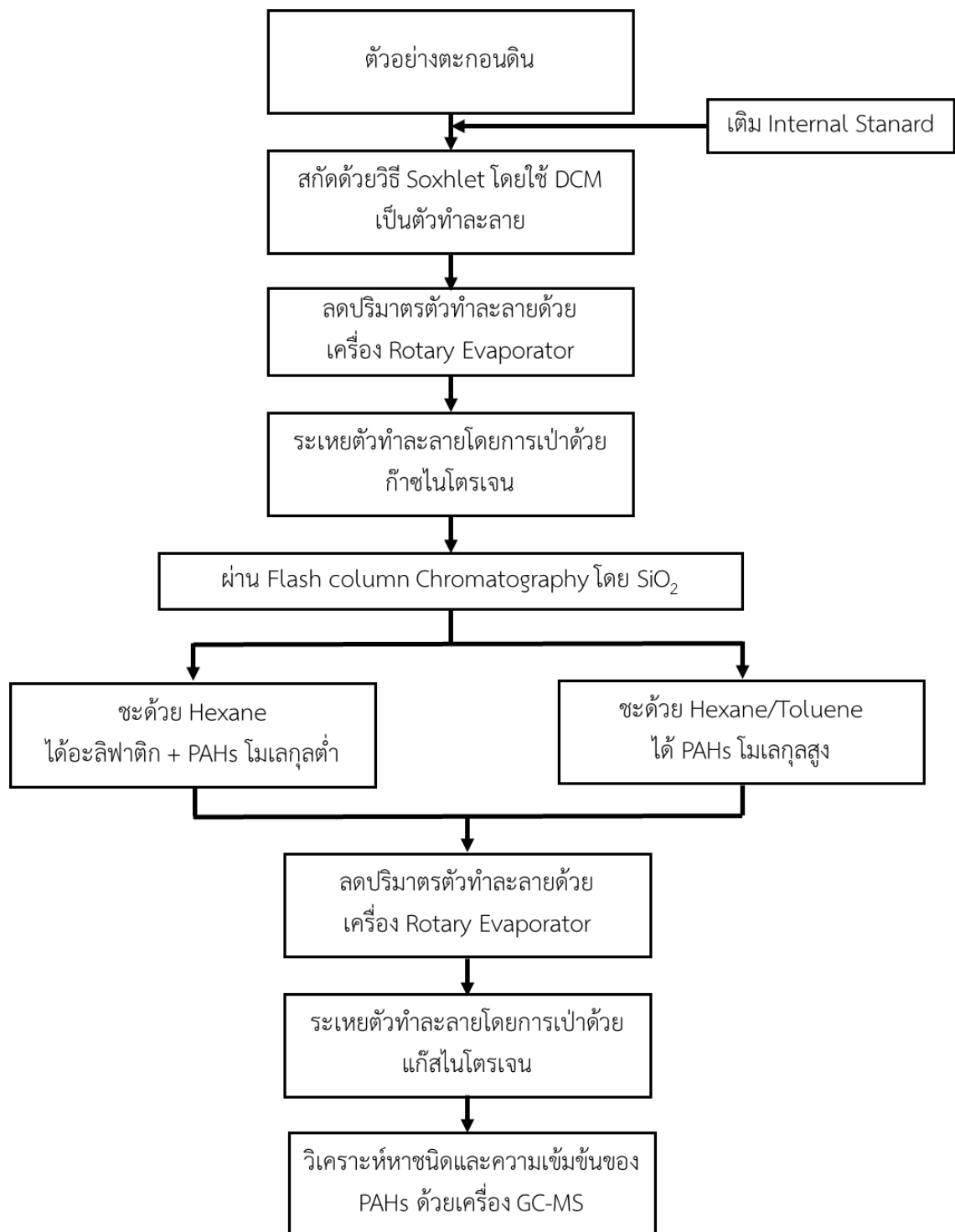
- 1) เตรียมซิลิกาเจล (silica gel) สำหรับบรรจุลงในคอลัมน์โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C ด้วยเตาเผา Isotemp Programmable muffle Furnace เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น เพื่อรอบรรจุลงในคอลัมน์
- 2) ทำการ activate ซิลิกาเจล โดยชั่งซิลิกาเจลที่อบแล้วมา 5 กรัม ใส่ในขวด duran นำไปอบที่ 220 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการ deactivate ด้วยการเติมน้ำกลั่น 5% เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้
- 3) ทำการ activate ผงทองแดง (Copper powder) ด้วยการแช่ใน Conc. HCl คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ตามด้วย methanol, DCM และ hexane อย่างละ 3 ครั้ง แล้วแช่ทิ้งไว้ใน hexane เพื่อไม่ให้สัมผัสอากาศ
- 4) เตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แก้วที่มีวาล์วปิด-เปิด ใช้ใยแก้วที่ผ่านการเผา 450 °C ด้วยเตาเผา ปิดส่วนล่างของคอลัมน์ จากนั้นเติม hexane ลงไปประมาณครึ่งคอลัมน์ ค่อย ๆ เติมซิลิกาเจลจนมีลักษณะชั้นหนืด ปล่อยให้ hexane ไหลผ่าน silica gel ระวังอย่าให้คอลัมน์แห้งโดยระดับของ hexane ต้องอยู่เหนือระดับของ silica gel เสมอ
- 5) ทำการปรับอัตราการไหลของ hexane ให้อยู่ที่ 1 มิลลิลิตร/นาที เติมผงทองแดงที่เตรียมไว้ ในคอลัมน์ ปรับรูปทรงโดยเคาะข้าง ๆ คอลัมน์เบา ๆ (ภาพที่ 3.7)
- 6) เมื่อระดับ hexane ไหลจนเกือบถึงระดับของผงทองแดงให้เติมตัวอย่างลงไปตามด้วย hexane 15 มิลลิลิตร รอจน hexane ไหลเกือบถึงแนวผงทองแดง จึงเติมตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีนกับเฮกเซน (Toluene : Hexane) อัตราส่วน 4 : 6 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เพื่อชะสาร PAHs เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ใส่ในขวดกันกลม
- 7) นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator ถ่ายใส่หลอด centrifuge tube (ภาพที่ 3.8) และเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายจนเกือบแห้ง เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น cyclo-hexane และปรับปริมาตรให้เป็นประมาณ 100 - 200 ไมโครลิตร ถ่ายใส่ขวด screw vial ชนิดฝาเป็น silicone septa (Gogou, *et al.*, 1997) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph Mass Spectrometry (GC-MS) ต่อไป



ภาพที่ 3.7 คอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography)



ภาพที่ 3.8 หลอด centrifuge tube



ภาพที่ 3.9 แผนผังสรุปวิธีการสกัดและวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดิน

3.3.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs ด้วยเครื่อง GCMS-QP2010 Ultra โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer ในการวิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของสาร PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	คอลัมน์แคปิลลารี (capillary column) รุ่น Rtx ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร ความหนา ของฟิล์มเหลว 0.5 ไมโครเมตร
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มิลลิลิตร/นาที
	อุณหภูมิของ Injector	280 °C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร (splitless)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Quadrupole
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI ⁺)
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIM (Selected Ion Monitoring)

3.4 การคำนวณค่าความเข้มข้นของสาร PAHs โดยใช้ Internal Standard

การคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนอาศัย Internal Standard ซึ่งประกอบไปด้วย Deuterated-PAHs 4 ชนิด ในการคำนวณ โดยอัตราส่วนระหว่าง peak area ของ Native-PAHs ในตัวอย่าง กับ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

$$\frac{W_{\text{Nat}}}{W_{\text{Deu}}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deu}}} \quad (3-1)$$

โดยที่

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

จากสมการ 3-1 สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ Peak ของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่ Peak ของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่างมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{\text{RRF}} \times \frac{1}{V} \quad (3-2)$$

โดยที่

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 ปริมาณตัวอย่างตะกอนดิน Factor
V	=	ปริมาณตัวอย่างตะกอนดิน (g)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและการกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของสาร PAHs โดยหาค่าผลรวม ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพหุ (Multivariate Statistical Treatment) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) การวิเคราะห์องค์ประกอบหรือปัจจัย (factor analysis) ทางสถิติของการวิจัยที่มุ่งลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่มาก เนื่องจากตัวแปรที่มีบางตัวมีลักษณะหรือมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน จะถูกจัดรวมกลุ่มเดียวกัน ส่วนตัวแปรบางตัวไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มตัวแปรในลักษณะนี้ได้จึงต้องตัดทิ้งไป ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรืออันดับ (interval scale) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบมีเหตุผลให้ได้จำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุด เพื่ออธิบายความผันแปรของข้อมูล ดังนั้นในการวิเคราะห์จะเป็นการศึกษาลักษณะการรวมกลุ่มตัวแปรในลักษณะเชิงเส้นตรง (linear combination) (ยูท โภยวรรณ, 2556) สามารถอธิบายได้ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 จะเป็นสมการเส้นตรงแรกที่มีรายละเอียดตัวแปรมากที่สุด จึงส่งผลให้มีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุด

องค์ประกอบที่ 2 จะเป็นสมการเส้นตรงที่รวมรายละเอียดที่เหลือจากองค์ประกอบที่ 1 มากที่สุด ซึ่งองค์ประกอบที่ 2 จะต้องตั้งฉาก (Orthogonal) กับองค์ประกอบที่ 1 หมายความว่า องค์ประกอบที่ 2 จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 เพื่อป้องกันการเกิดปัญหา Multicollinearity

องค์ประกอบที่ 3 และต่อไปจะมีหลักเกณฑ์คือ เป็นสมการเส้นตรงที่รวมรายละเอียดที่ไม่ซ้ำกับองค์ประกอบก่อนหน้าและสามารถรวมรายละเอียดได้มากที่สุดซึ่งในการทำ Principal Component Analysis (PCA) จะได้ค่า น้ำหนักปัจจัย (Factor Loading) ค่าน้ำหนักปัจจัยคือค่าที่บอกกว่าตัวแปรแต่ละตัวควรอยู่กับองค์ประกอบใด โดยน้ำหนักปัจจัยจะมีค่าอยู่ระหว่าง +1.0 ถึง -1.0 ซึ่งยิ่งค่าน้ำหนักเข้าใกล้ 1 มากยิ่งดี

การศึกษารั้วนี้ใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อแบ่งชี้แหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของสาร โดยใช้โปรแกรม SPSS 20.0 เลือกใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1.0

3.5.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs

รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs สามารถวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 ใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Interpolation) เป็นกระบวนการของการใช้ข้อมูลความเข้มข้นของสาร PAHs ในแต่ละสถานีที่ทราบค่า ไปใช้ในการประมาณค่าพื้นที่ที่ยังไม่ทราบจุดอื่น ๆ และแสดงผลออกมาในรูปแบบของแผนที่ โดยใช้วิธี Inverse Distance Weight เป็นการประมาณค่าโดยทำการสุ่มจุดตัวอย่างแต่ละจุดจากตำแหน่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อเซลล์ที่ต้องประมาณค่าได้ ซึ่งจะมีผลกระทบ น้อยลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่ไกลออกไป

3.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยใช้ Diagnostic ratio

การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยใช้ Diagnostic ratios ทำได้โดยการนำสาร PAHs ที่เป็นไอโซเมอร์กันมาพล็อตกราฟเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าสามารถใช้สัดส่วนของ PAHs ในการจำแนกแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดของสาร PAHs นั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) (Page, *et al.*, 1999) ซึ่งสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic คือสาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปิโตรเลียม หรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มวลโมเลกุลต่ำ มีจำนวนวงแหวน 2-3 วง ส่วนสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก pyrogenic คือสารที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันและถ่านหิน เป็นต้น

โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สัดส่วนของไอโซเมอร์ 4 แบบ คือ An/(An+Phe) (Pies, *et al.*, 2008), Fluo/(Fluo+Pry) (De La Torre-Roche, *et al.*, 2009), B[a]A/(B[a]A+Chry) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) (Yunker, *et al.*, 2002) และสัดส่วนมวลโมเลกุล (molecular ratio) 1 แบบ คือ $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$ (Zhang, *et al.*, 2008) เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดว่ามาจาก petrogenic หรือ pyrogenic แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของสารประกอบ PAHs เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

PAH ratio	Value range	Source	Reference
Σ LMW/ Σ HMW	<1	Pyrogenic	Zhang <i>et al.</i> , 2008
	>1	Petrogenic	
Σ COMB/ Σ PAHs	~1	Combustion	Ravindra <i>et al.</i> , 2008a
Fluo/(Fluo + Pyr)	<0.5	Petrol emissions	Ravindra <i>et al.</i> , 2008b
	>0.5	Diesel emissions	
An/(An + Phe)	<0.1	Petrogenic	Pies <i>et al.</i> , 2008
	>0.1	Pyrogenic	
Fluo/(Fluo + Pyr)	<0.4	Petrogenic	De La Torre-Roche <i>et al.</i> , 2009
	0.4–0.5	Fossil fuel combustion	
	>0.5	Grass, wood, coal combustion	
B[a]A/(B[a]A + Chry)	0.2–0.35	Coal combustion	Akyüz and Çabuk, 2010
	>0.35	Vehicular emissions	
	<0.2	Petrogenic	Yunker <i>et al.</i> , 2002
B[a]P/(B[a]P + B[e]P)	>0.35	Combustion	
	~0.5	Fresh particles	Oliveira <i>et al.</i> , 2011
Ind/(Ind + B[g,h,i]P)	<0.5	Photolysis (ageing of particles)	
	<0.2	Petrogenic	Yunker <i>et al.</i> , 2002
Ret/(Ret + Chry)	0.2–0.5	Petroleum combustion	
	>0.5	Grass, wood and coal combustion	
	~1	Wood burning	Yan <i>et al.</i> , 2005
2-methylnaphthalene /Phe	<1	Combustion	Opuene <i>et al.</i> , 2009
	2–6	Fossil fuels	
Σ MePhe/Phe	<1	Petrol combustion	Callen <i>et al.</i> , 2011
	>1	Diesel combustion	
B[b]F/B[k]F	2.5–2.9	Aluminium smelter emissions	
B[a]P/B[g,h,i]P	<0.6	Non-traffic emissions	Katsoyiannis <i>et al.</i> , 2007
	>0.6	Traffic emissions	

Σ COMB – (FLA, PYR, BaA, CHR, BkF, BbF, BaP, IcdP and BghiP); Σ PAHs – sum of total non-alkylated PAHs; Σ LMW – sum of two and three-ring PAHs; Σ HMW – sum of four and five ring PAHs.

3.7 การประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs

การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศน์สามารถประเมินโดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (The sediment quality guideline : SQG) ดังตารางที่ 3.4 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ค่า Effects range (ERL) และค่า Effects range median (ERM) ของ Long, *et al.* (1995) ในการเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิด เพื่อประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน

ชนิด PAHs	ERL ^a	ERM ^a	SLC ^b	TEL ^b	ERL ^b	NOAA TEL ^c	NOAA ERL ^c	NOAA ERM ^c
Nap	-	-	410	30	160	34.6	160	2100
Acy	-	-	50	10	40	5.87	44	500
Ace	-	-	60	10	20	6.71	16	640
Fl	-	-	100	20	20	21.2	19	540
Phe	240	1500	270	90	240	86.7	240	1500
An	85.3	1100	160	50	90	46.9	85.3	1100
Fluo	600	5100	640	110	600	113	600	5100
Pry	665	2500	660	150	660	153	665	2600
B[a]A	261	1600	260	70	260	74.8	261	2600
Chry	384	2800	380	110	380	108	384	2800
B[b]F	320	1880	320	70	320	-	-	1880
B[k]F	280	1620	280	60	280	-	-	1620
B[a]P	430	1600	400	90	430	88.8	430	1600
Ind	-	-	-	-	-	-	-	-
D[a,b]A	430	1600	-	-	-	6.22	63.4	260
B[g,h,i]P	63.4	260	-	-	-	-	-	1600

SLC หมายถึง เกณฑ์คัดกรองว่ามีสารปนเปื้อน (Screening Level Contamination)

^a Long, *et al.* (1995)

TEL หมายถึง ระดับที่เริ่มส่งผลกระทบต่อ (Threshold Effect Level)

^b Swartz (1999)

ERL หมายถึง เกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบต่อ (Effect Range Low)

^c NOAA (1999)

ERM หมายถึง เกณฑ์ขั้นกลางที่ส่งผลกระทบต่อ (Effect Range Median)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร PAHs 15 ชนิด ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.1 ค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b แสดงว่าวิธีวิเคราะห์มีความถูกต้องเชื่อถือได้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

SRM	CODE	N	ค่าที่กำหนดมา	ค่าที่วิเคราะห์ได้	%ค่าความถูกต้อง
			นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง	นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง	
Phenanthrene	Phe	6	406±44	455±17	112.1
Anthracene	An	6	184±18	151±4.7	82.2
Fluoranthene	Fluo	6	651±50	678±26	104.2
Pyrene	Pyr	6	581±39	516±20	88.9
Benz[a]anthracene	B[a]A	6	335±25	198±21	59.0
Chrysene	Chry	6	291±31	302±27	103.8
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	6	453±21	491±329	108.4

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b (ต่อ)

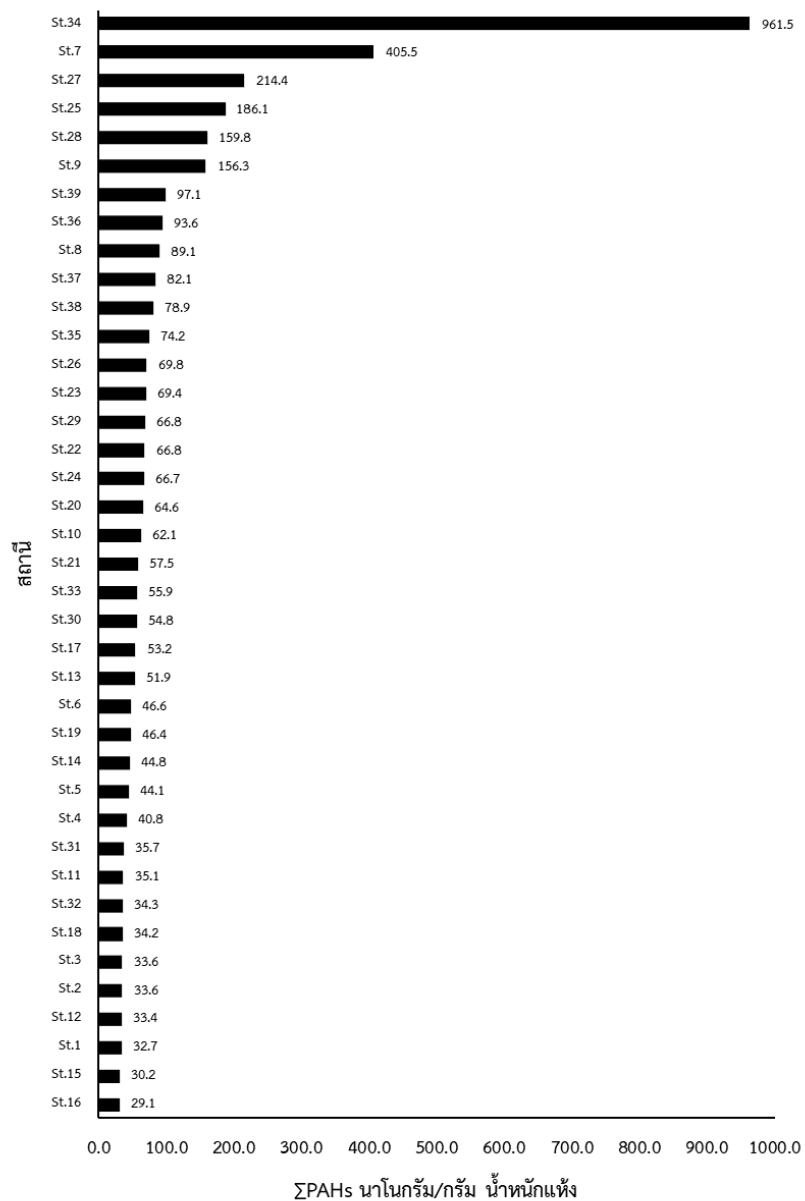
SRM	CODE	N	ค่าที่กำกับมา	ค่าที่วิเคราะห์ได้	%ค่าความถูกต้อง
			นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง	นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง	
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	6	225±18	201±17	89.3
Benzo[e]pyrene	B[e]P	6	325±25	407±13	125.2
Benzo[a]pyrene	B[a]P	6	335±25	214±15	64.0
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	6	341±57	348±25	102.1
Dibenz[a,h]anthracene	D[a,h]A	6	53±10	35±4.7	65.5
Benzo[ghi]perylene	B[g,h,i]P	6	307±45	146±10	47.6

4.2 ตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ผลการศึกษาตัวอย่างตะกอนดินจากอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จำนวน 39 สถานี พบว่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs (Σ PAHs) ทั้ง 15 ชนิด อยู่ในช่วง 29.2 – 961 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.9 ± 157 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบ PAHs ที่วิเคราะห์เกือบทุกชนิด จากการวิเคราะห์พบว่า B[k]F, B[b]F, B[a]P, B[e]P, Pyr, Fluo และ Ind มีระดับความเข้มข้นค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ PAHs ชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สถานีที่อยู่ระหว่างชายฝั่งศรีราชากับเกาะสีชัง เป็นสถานีที่มีค่า Σ PAHs สูงกว่าสถานีอื่น เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยรอบ ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ขนถ่ายสินค้า และมีท่าเรือขนส่งสินค้า ท่าเรือข้ามฟาก ท่อส่งน้ำมัน คลังน้ำมัน และโรงกลั่นน้ำมันอีกด้วย

สถานีที่มี Σ PAHs สูงที่สุด คือ สถานี 34 มีค่าความเข้มข้น 961 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ สถานี 7, 27 และ 25 โดยมีค่าความเข้มข้น 405, 214 และ 186 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1) สถานี 7 อยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เชื่อมต่อกับอ่าวไทย ส่วนสถานี 27 และ สถานี 25 เป็นบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเชื่อมต่อกับอ่าวไทยเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าสถานีดังกล่าวที่มี Σ PAHs สูง เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำทั้งสิ้น ทำให้เกิดการสะสมของ PAHs ในตะกอนดินซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมบนชายฝั่ง มากกว่าสถานีอื่น

สถานีที่มี Σ PAHs ต่ำที่สุด 3 สถานี คือ สถานี 16, 15 และ สถานี 1 มีค่าความเข้มข้น 29.6, 30.2 และ 32.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งเป็นบริเวณที่ห่างจากชายฝั่ง ทำให้การสะสมตัวของ PAHs ในบริเวณดังกล่าวค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำที่พาสาร PAHs จากกิจกรรมที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่ง ไปจมตัวและสะสมตัวอยู่ห่างจากชายฝั่ง เนื่องจากบริเวณที่ห่างจากชายฝั่งไม่มีกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดสาร PAHs



ภาพที่ 4.1 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิดและ ΣPAHs ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

สถานี	Phe	An	Fluo	Pry	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Ind	ΣPAHs
St.1	3.40	3.36	4.23	3.58	0.68	0.69	0.78	0.81	4.13	4.15	2.92	3.08	0.10	0.34	0.45	32.70
St.2	2.99	2.76	3.39	3.44	0.69	0.69	1.02	1.04	4.78	4.84	3.40	3.62	0.09	0.39	0.50	33.63
St.3	3.78	3.36	4.67	3.79	1.03	0.75	1.77	1.84	6.14	6.56	4.78	4.89	0.24	1.54	2.06	47.19
St.4	3.28	3.03	4.27	4.18	0.79	0.92	1.18	1.24	5.47	5.61	4.07	4.16	0.17	1.12	1.32	40.81
St.5	3.67	3.57	4.86	3.92	1.06	0.71	1.79	1.86	5.67	5.82	4.30	4.40	0.17	0.94	1.34	44.08
St.6	3.53	3.01	3.72	4.33	0.69	0.70	2.00	2.06	6.66	6.82	4.75	4.97	0.20	1.50	1.66	46.61
St.7	16.64	15.85	38.34	40.15	8.32	7.21	32.84	33.79	44.68	45.53	38.21	39.17	3.18	16.35	25.21	405.48
St.8	7.90	7.40	9.47	9.69	1.57	1.63	4.57	4.76	9.93	10.12	7.53	7.70	0.45	2.87	3.50	89.09
St.9	9.53	8.89	13.90	16.38	2.10	2.81	10.10	10.47	18.00	18.35	14.59	14.84	1.10	6.84	8.40	156.31
St.10	4.45	0.83	5.84	6.90	2.34	2.34	1.71	2.14	4.85	5.75	7.89	8.07	0.52	3.86	4.57	62.06
St.11	2.86	0.44	3.86	3.77	0.31	1.09	0.60	0.93	4.78	5.06	4.14	4.24	0.21	1.25	1.59	35.15
St.12	2.67	0.25	3.42	3.08	0.85	0.87	0.93	0.97	5.22	5.19	3.71	3.84	0.16	0.84	1.38	33.40
St.13	3.36	0.32	4.26	3.85	0.70	1.04	1.35	2.68	7.58	6.96	6.71	6.89	0.62	2.26	3.34	51.90
St.14	5.03	4.97	6.83	7.15	1.24	1.27	0.40	1.94	4.20	4.29	3.13	3.22	0.07	0.47	0.61	44.83
St.15	2.45	2.26	2.42	1.95	0.50	0.46	0.32	1.49	4.91	5.07	3.37	3.52	0.06	0.53	0.88	30.18
St.16	3.37	3.16	3.39	3.26	0.46	0.47	0.47	0.37	3.88	3.98	2.91	2.98	0.06	0.17	0.22	29.15
St.17	4.46	2.84	5.70	6.59	1.62	1.10	1.70	3.07	6.39	5.64	5.27	5.39	0.24	1.31	1.85	53.18
St.18	4.03	0.30	4.02	4.44	0.83	0.87	0.28	0.67	4.76	4.86	3.66	3.63	0.15	0.79	0.93	34.21
St.19	3.72	3.82	5.22	4.67	0.44	1.22	0.82	1.29	6.16	6.24	4.46	4.57	0.26	1.39	2.14	46.42
St.20	3.80	3.74	6.26	9.22	0.54	0.36	2.70	5.64	6.67	5.19	5.99	10.05	0.35	2.15	1.91	64.58
St.21	3.93	3.69	6.44	5.42	0.51	0.52	2.25	2.35	7.71	7.86	5.78	5.83	0.42	2.02	2.73	57.47

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสาร PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ละชนิดและ Σ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pry	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Ind	Σ PAHs
St.22	5.19	5.33	8.91	8.80	0.58	1.96	2.41	2.47	7.28	7.55	5.50	5.64	0.28	2.18	2.67	66.77
St.23	5.01	4.75	6.49	7.68	0.67	1.97	3.30	3.44	7.89	7.88	6.59	6.62	0.33	3.21	3.63	69.45
St.24	5.11	4.99	6.65	7.77	0.61	0.70	3.47	3.72	1.20	8.89	7.26	7.53	0.45	3.72	4.59	66.66
St.25	7.99	6.97	17.53	16.27	3.28	2.35	12.54	13.16	22.75	23.66	17.47	17.87	1.62	8.84	13.86	186.15
St.26	6.07	5.68	7.35	7.95	0.71	0.71	4.16	4.29	6.47	6.53	4.65	4.96	0.44	4.30	5.53	69.81
St.27	2.99	3.91	2.63	4.66	ND	ND	1.32	0.64	35.00	35.67	46.74	45.14	ND	14.42	21.33	214.45
St.28	7.88	7.41	11.57	10.59	6.98	7.10	16.37	17.04	17.39	17.72	11.76	12.03	1.24	5.90	8.80	159.80
St.29	5.41	4.86	6.26	7.88	0.74	1.01	3.57	3.72	7.38	7.16	5.04	5.70	0.37	3.15	4.58	66.84
St.30	4.63	4.34	6.14	6.29	1.37	1.39	4.08	4.25	4.84	4.94	3.58	3.64	0.30	2.06	2.92	54.78
St.31	4.37	4.11	5.50	5.86	1.12	1.12	1.73	1.80	1.84	1.65	1.47	1.38	0.13	1.54	2.06	35.67
St.32	3.18	3.31	4.90	4.43	0.33	0.34	1.85	1.91	2.78	2.83	1.99	1.85	0.15	1.79	2.71	34.35
St.33	4.72	4.41	6.17	5.51	0.53	0.55	3.21	3.33	5.88	5.76	4.27	4.35	0.41	2.64	4.13	55.88
St.34	6.56	5.99	13.75	14.16	2.15	2.19	10.33	10.71	194.50	197.09	147.46	150.82	13.71	76.89	115.15	961.47
St.35	5.38	4.88	7.19	6.98	2.54	2.18	4.36	4.54	7.57	7.71	5.31	5.69	0.53	3.93	5.44	74.22
St.36	7.25	6.79	10.50	9.96	2.72	2.65	4.93	5.15	6.72	10.63	7.39	7.31	0.51	4.77	6.32	93.59
St.37	5.66	5.30	7.76	8.22	1.65	1.66	3.98	4.17	9.29	9.91	6.91	7.07	0.50	4.44	5.63	82.15
St.38	5.82	5.66	8.33	9.04	2.19	2.26	5.21	5.43	8.85	9.04	6.19	6.34	0.32	1.53	2.72	78.93
St.39	7.16	6.70	10.04	9.67	2.86	2.48	6.01	6.32	9.65	9.84	7.52	7.67	0.64	4.58	5.92	97.08
Mean	5.11	4.44	7.49	7.73	1.54	1.59	4.16	4.55	13.59	14.06	11.25	11.56	0.81	5.10	7.30	100.17
SD	2.55	2.79	6.04	6.33	1.67	1.51	5.87	5.99	30.91	31.28	24.06	24.49	2.22	12.29	18.47	157.35

หมายเหตุ ND = Not detected

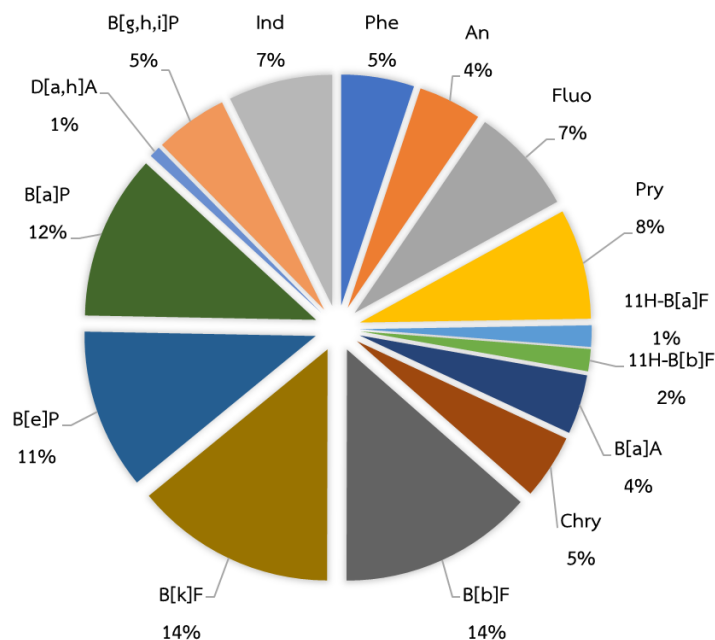
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นรวมของ PAHs ในตะกอนดินจากอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วง 29.9-961 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.8 ± 157 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Pongpiachan, *et al.* (2017) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่น้ำมันรั่วไหล จังหวัดระยอง พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรวมของ PAHs ในพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าในงานวิจัยดังกล่าว แต่มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ Chunharat, *et al.* (2015) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินใกล้ชายฝั่งจำนวน 20 สถานี และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ Zhang, *et al.* (2016) ที่ทำการศึกษาบริเวณปากแม่น้ำลู่อาน เป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจและมีความเจริญทางด้านอุตสาหกรรม พบว่ามีค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ต่ำกว่าการศึกษาดังกล่าว

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสาร Σ PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก กับการศึกษาอื่น ๆ

พื้นที่	ช่วงพิสัย	ค่าเฉลี่ย	อ้างอิง
ในประเทศไทย			
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	167.73-2467.61	1,527.07	(Chunharat, <i>et al.</i> , 2015)
อ่าวศรีราชา จ.ชลบุรี	1,310-3,590	2,452	(วรารักษ์ ศรีมูล, 2544)
อ่าวไทย	21.6-216	75.5	(นฤมล บัวงาม, 2557)
พื้นที่น้ำมันรั่วไหล จ.ระยอง	-	32.5	(Pongpiachan, <i>et al.</i> , 2017)
อ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก	29.9-961	99.82	การศึกษาคั้งนี้
ในต่างประเทศ			
Luan River Estuary, China	5.1-545.1	120.8	(Zhang, <i>et al.</i> , 2016)
BohaiSea, China	149.24-1211.81	481.23	(Li, <i>et al.</i> , 2015)
Brisbane River, Australia	148-3079	849	(Duodu, <i>et al.</i> , 2017)
Bhavnagar coast Gujarat, India	5.02-981.18	345	(Dushyant, <i>et al.</i> , 2016)
Qatar, Arabian Gulf	2.6-1025.1	117.3	(Soliman, <i>et al.</i> , 2014)

4.3 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

สาร PAHs ทั้ง 15 ชนิดที่พบในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จำนวน 39 สถานี พบว่ามีสัดส่วนความเข้มข้น (%) ของสาร PAHs แต่ละชนิด เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ B[k]F (14%), B[b]F (14%), B[a]P (12%), B[e]P (11%), Pry (8%), Fluo (7%), Ind (7%), Phe (5%), B[g,h,i]P (5%), Chry (5%), An (4%), B[a]A (4%), 11H-B[a]F (2%), 11H-B[b]F (1%) และ D[a,h]A (1%) แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แผนภาพวงกลมเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

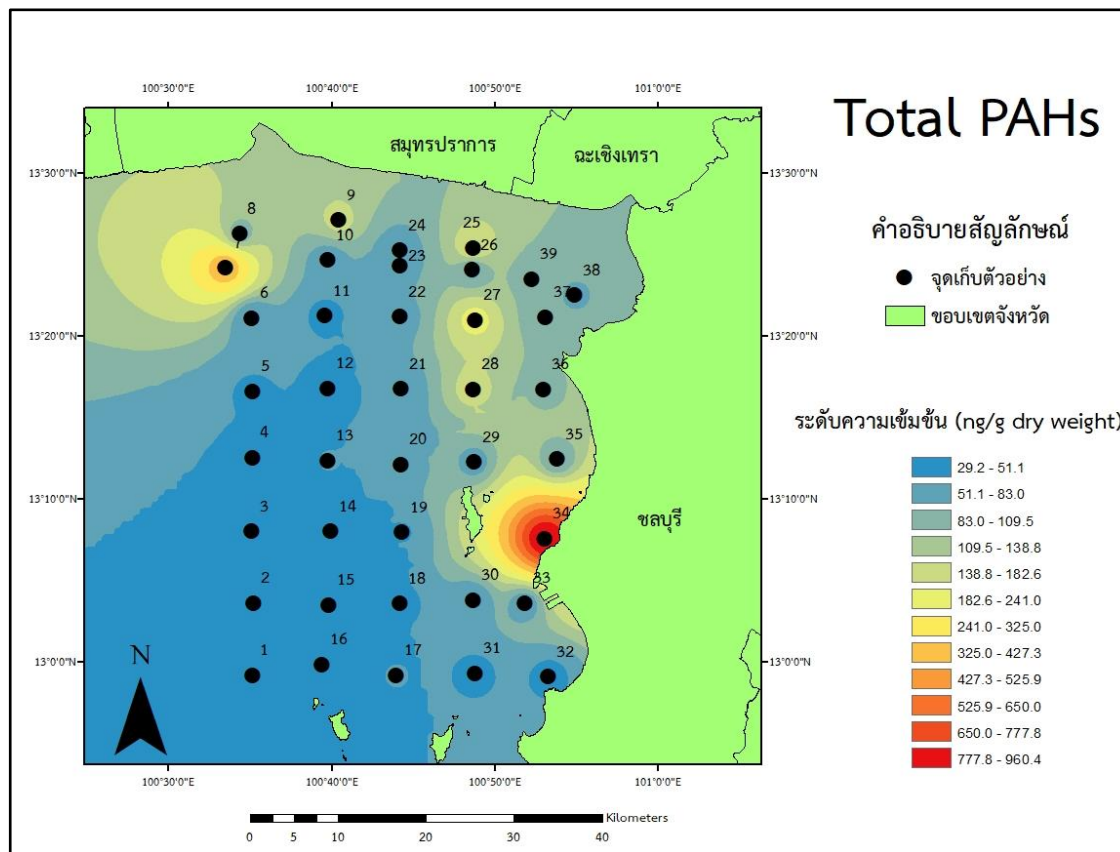
ชนิดของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ได้แก่ B[k]F, B[b]F, B[a]P และ B[e]P (197.1, 194.5, 150.8 และ 147.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง) สถานีที่มีค่าความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 4 ชนิดสูง คือ สถานีที่ 34 ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณท่าเรือสยามคอมเมอร์เชียล ซีพอร์ต เป็นท่าเรือขนาดใหญ่ที่ใช้ในการขนส่งสินค้า มีเรือขนาดใหญ่ที่จอดติดเครื่องอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งบริเวณดังกล่าวยังอยู่ใกล้โรงกลั่นน้ำมัน บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) อีกด้วย สาร PAHs ทั้ง 4 ชนิดที่พบความเข้มข้นสูงในสถานี 34 นั้น พบว่าเป็นสาร PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงทั้งหมด (Soclo, *et al.*, 2000; Deng, *et al.*, 2013)

4.4 ลักษณะการกระจายตัวของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

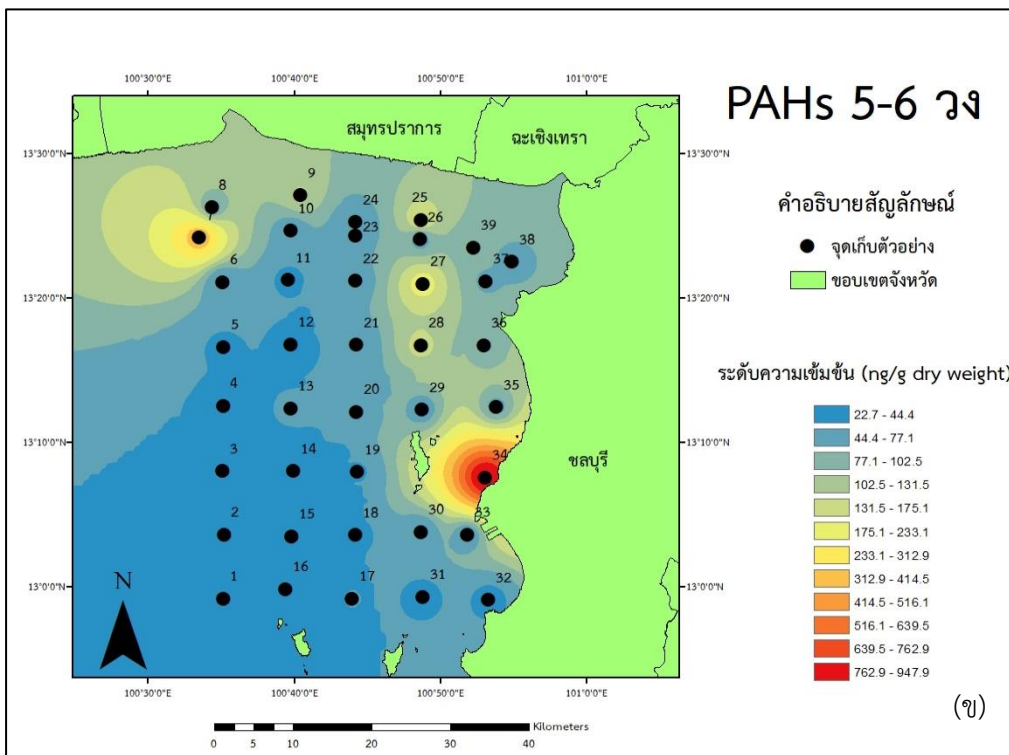
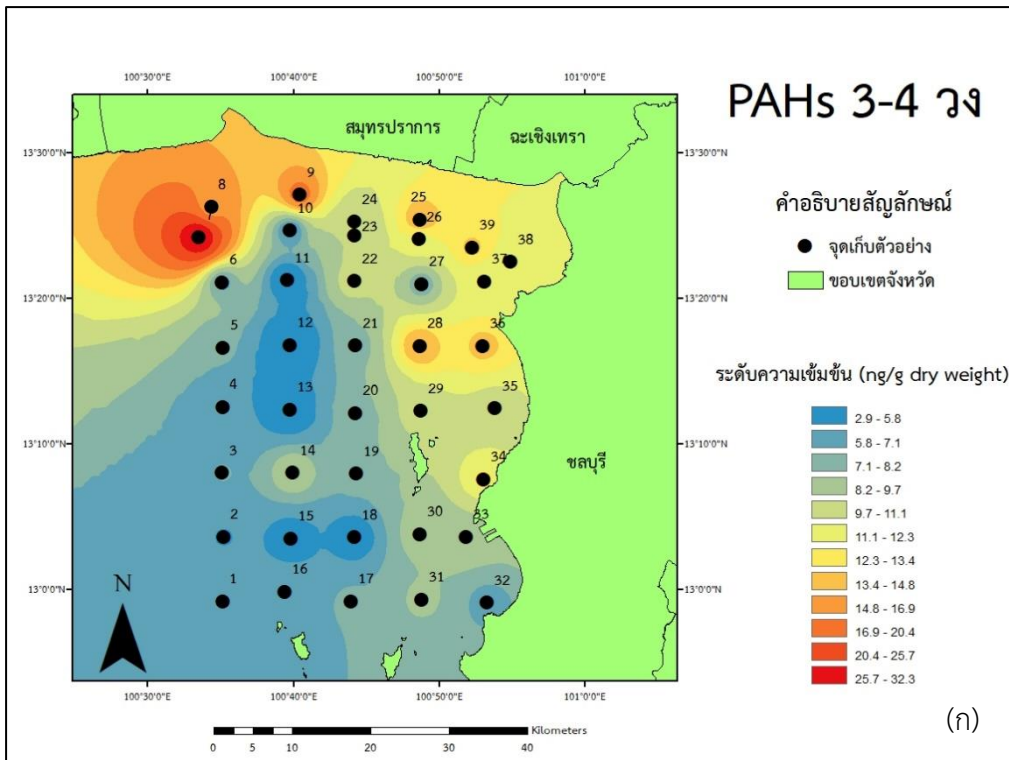
ผลการศึกษาลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยใช้ระดับความเข้มข้นรวม ($\Sigma 15\text{PAHs}$) ทั้งหมด 39 สถานี แสดงดังภาพที่ 4.3 พบว่า สถานี 34 ซึ่งมีค่า $\Sigma 15\text{PAHs}$ ในตะกอนดินสูงที่สุด อยู่ระหว่างชายฝั่งศรีราชากับเกาะสีชัง ซึ่งเป็นที่ขนถ่ายสินค้า และมีท่าเรือขนส่งสินค้า ท่าเรือข้ามฟาก ท่อส่งน้ำมัน คลังน้ำมัน และโรงกลั่นน้ำมัน

เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แบ่งตามชนิดวงแหวนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ประกอบด้วยวงแหวน 3 - 4 วง (Phe, An) โดยสาร PAHs ที่พบมีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม (Mostert, *et al.*, 2010) แสดงดังภาพที่ 4.4 (ก) และกลุ่มที่มีโครงสร้างใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยวงแหวน 5 - 6 วง (Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h],J A และ B[g,h,i]P) เป็นสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ไม้ ถ่านหิน และน้ำมัน (Mai, *et al.*, 2002) แสดงดังภาพที่ 4.4 (ข) ซึ่งในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีการปนเปื้อนของสาร PAHs กลุ่มที่ประกอบด้วยวงแหวน 3 - 4 วง มากกว่ากลุ่มที่ประกอบด้วยวงแหวน 4 - 6 วง จะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีสาร PAHs กลุ่มที่ประกอบด้วยวงแหวน 3 - 4 วง กระจายตัวอยู่นั้น อยู่บริเวณที่ติดกับชายฝั่งทั้งสิ้น ส่วนกลุ่มที่ประกอบด้วยวงแหวน 5 - 6 วง กระจายตัวอยู่เยอะ พบว่าอยู่ใกล้สถานี 34, 27 และ 7 ซึ่งสถานี 34 เป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ท่าเรือขนส่งสินค้า เป็นเส้นทางการเดินเรือ และเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยา

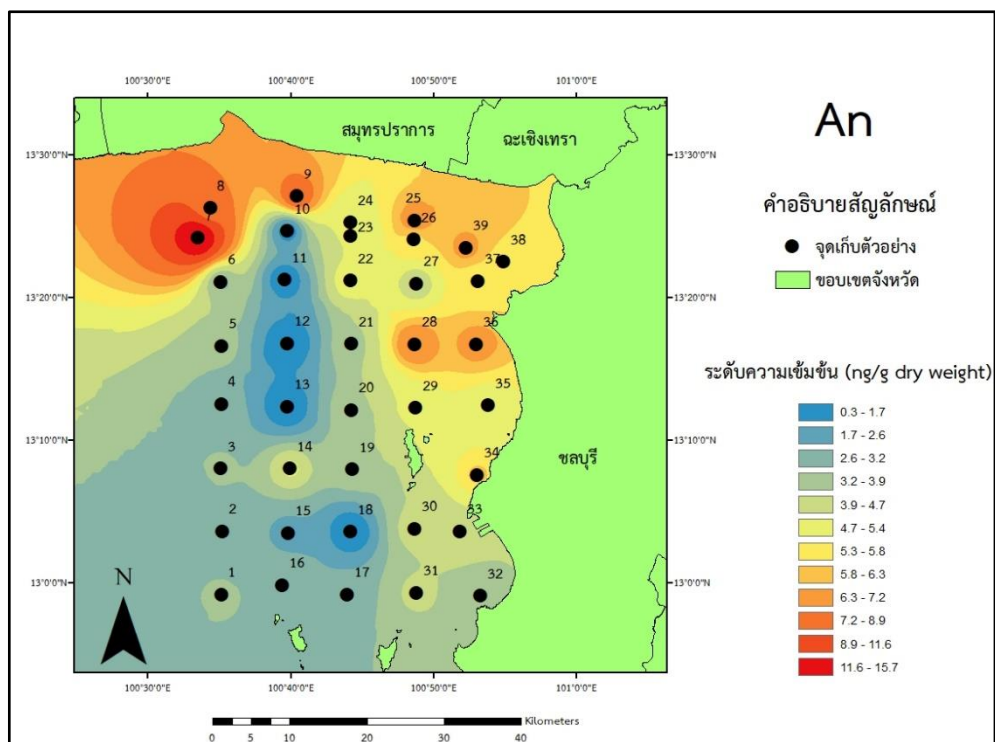
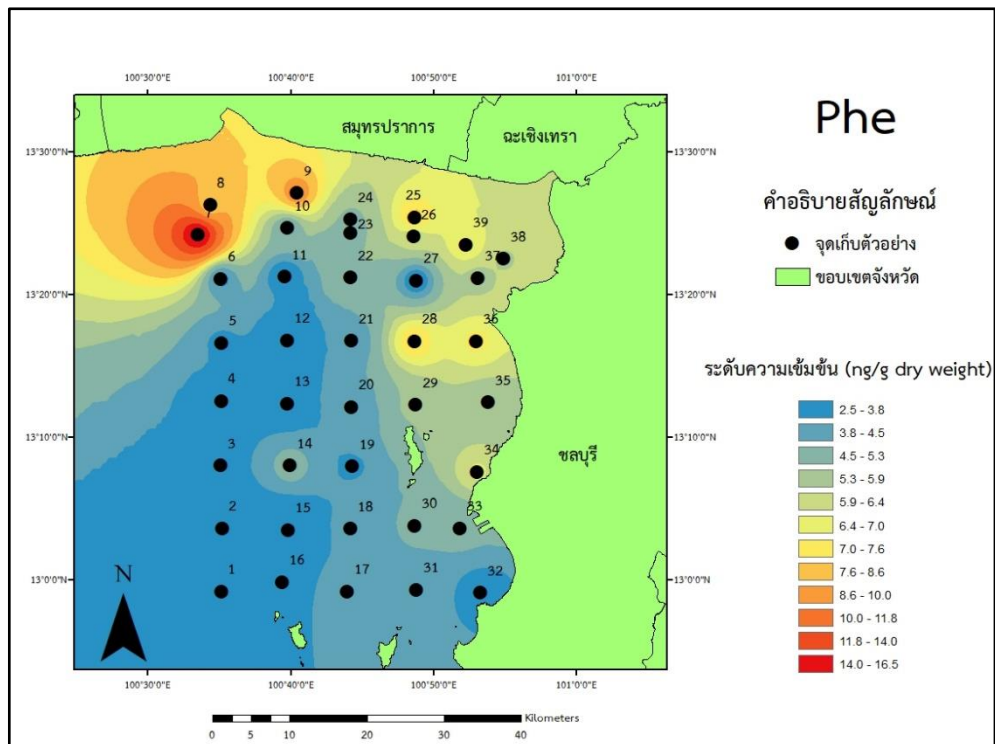
ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีลักษณะเด่นแตกต่างกัน พบว่ามีความเข้มข้นสูงของ Phe, An, Fluo, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A และ Chry บริเวณสถานีใกล้ชายฝั่ง เป็นกลุ่มที่มีโครงสร้างเล็ก (3 - 4 วง) แสดงดังภาพที่ 4.5 ส่วนสาร PAHs ที่มีโครงสร้างใหญ่ (5 - 6 วง) ได้แก่ B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h],J A และ B[g,h,i]P มีความเข้มข้นสูงในสถานี 34 ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับท่าเรือขนส่งสินค้า



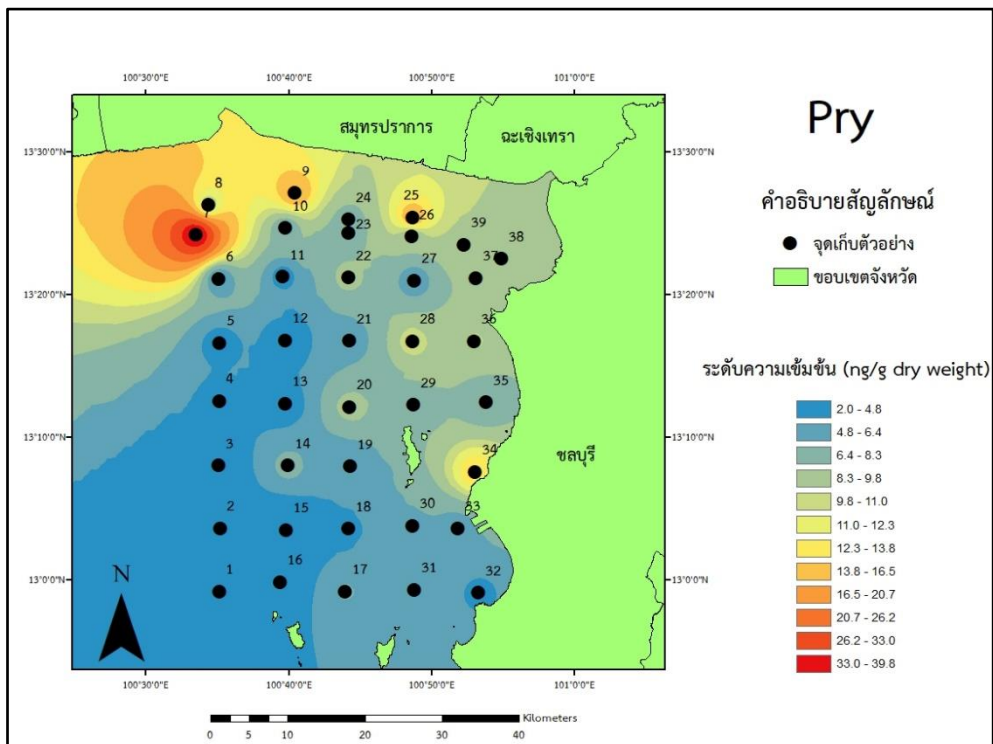
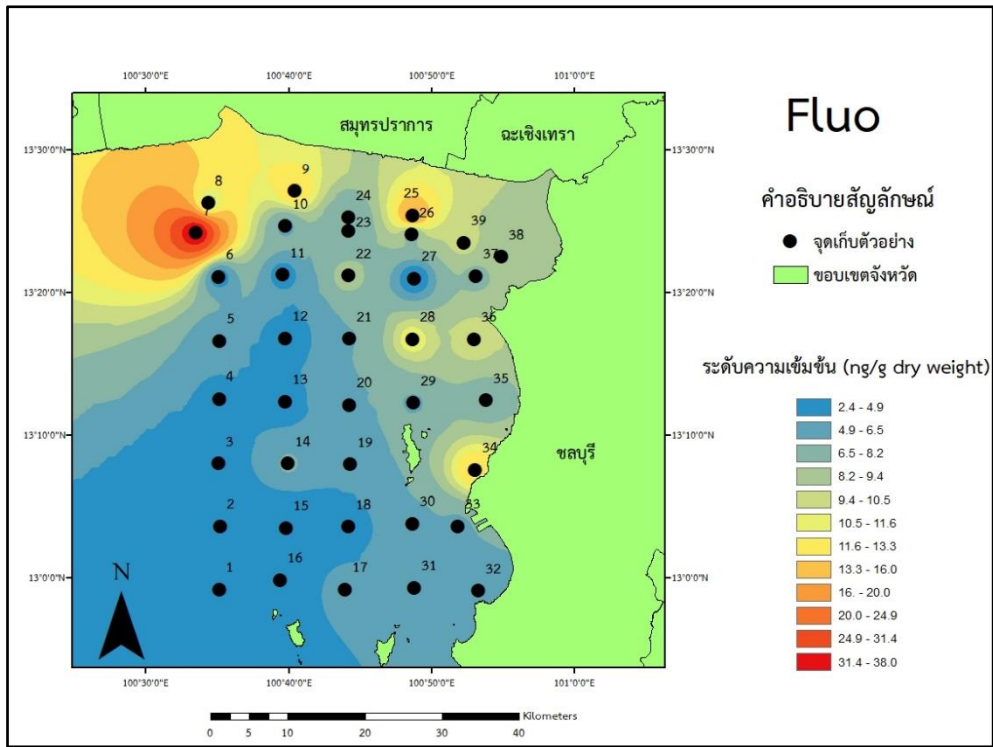
ภาพที่ 4.3 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ $\Sigma 15\text{PAHs}$ ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก



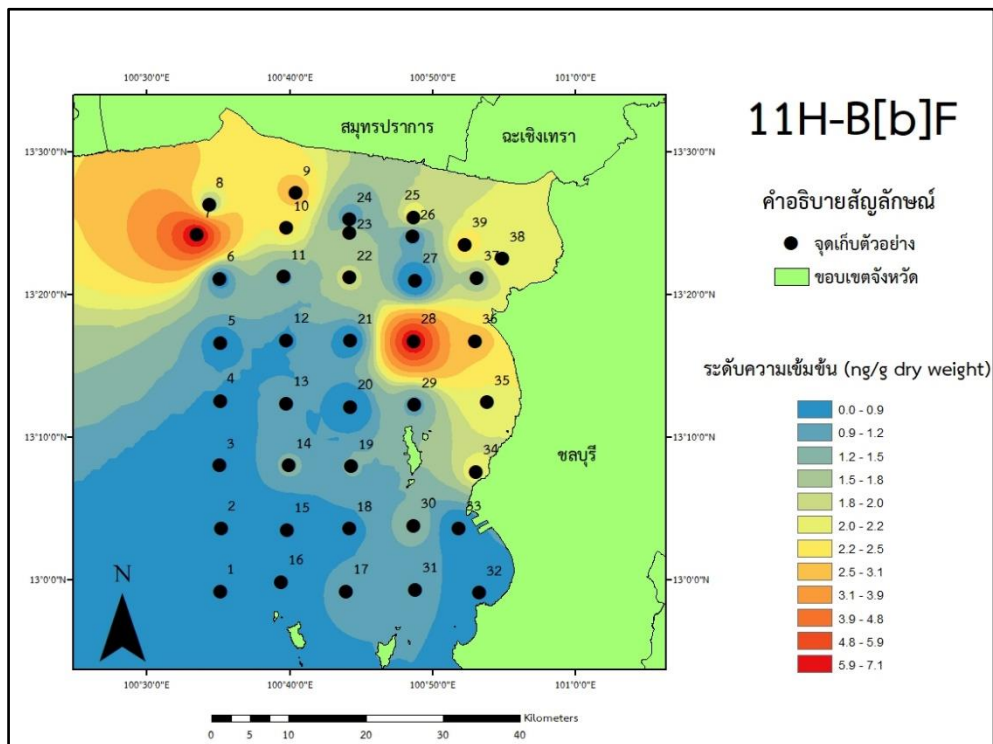
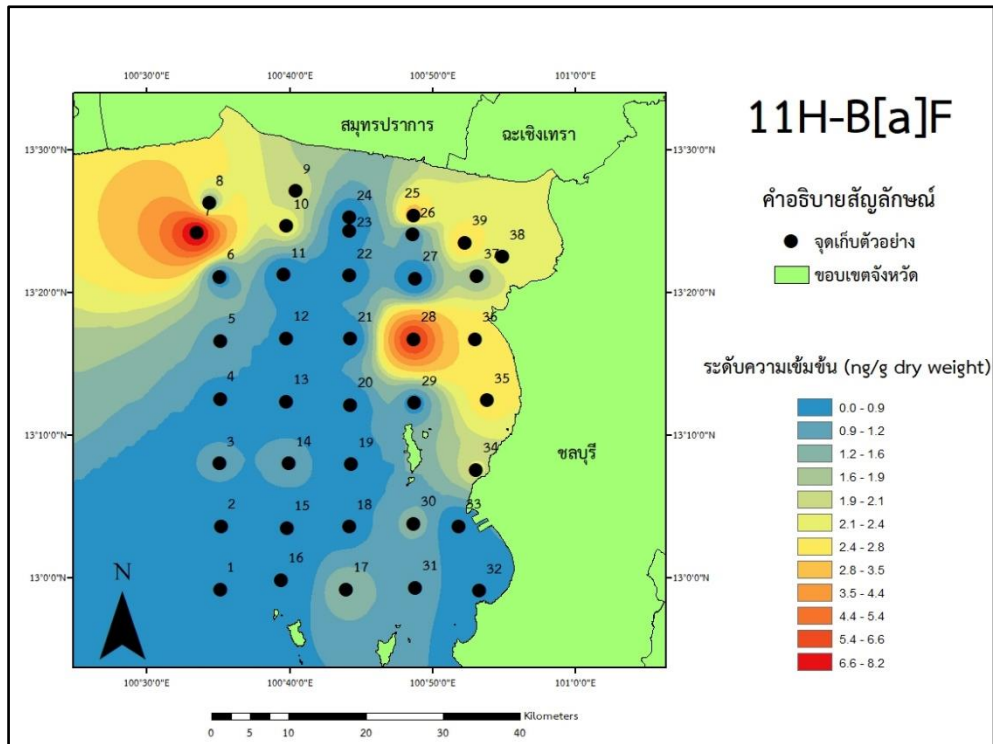
ภาพที่ 4.4 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs 3-4 วง (ก) และ 5-6 วง (ข) บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก



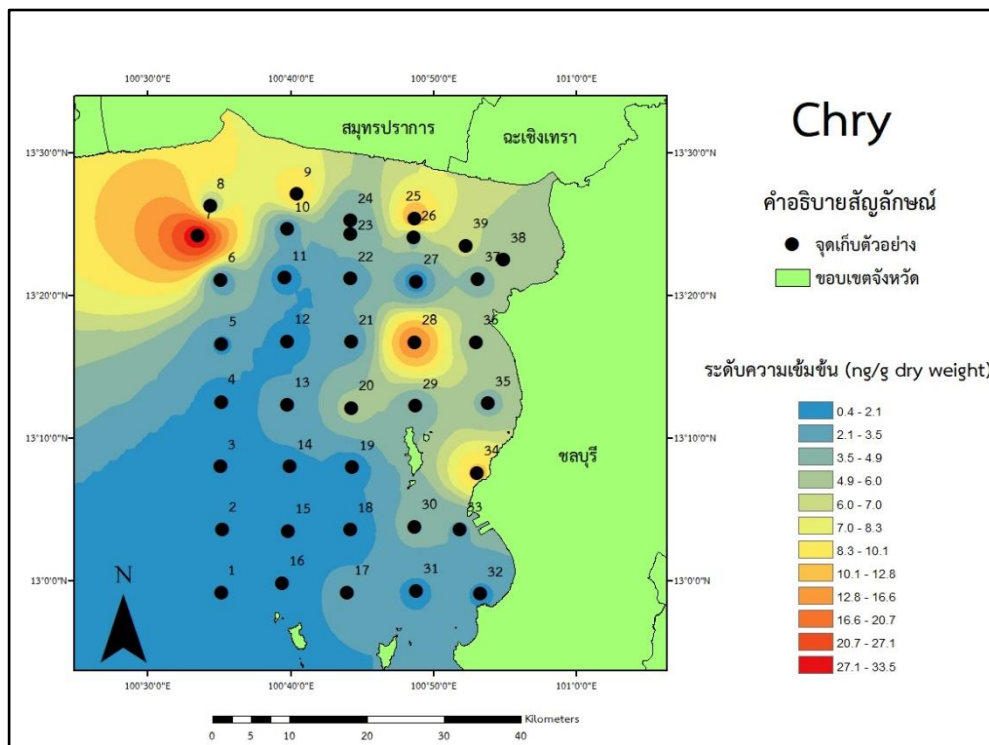
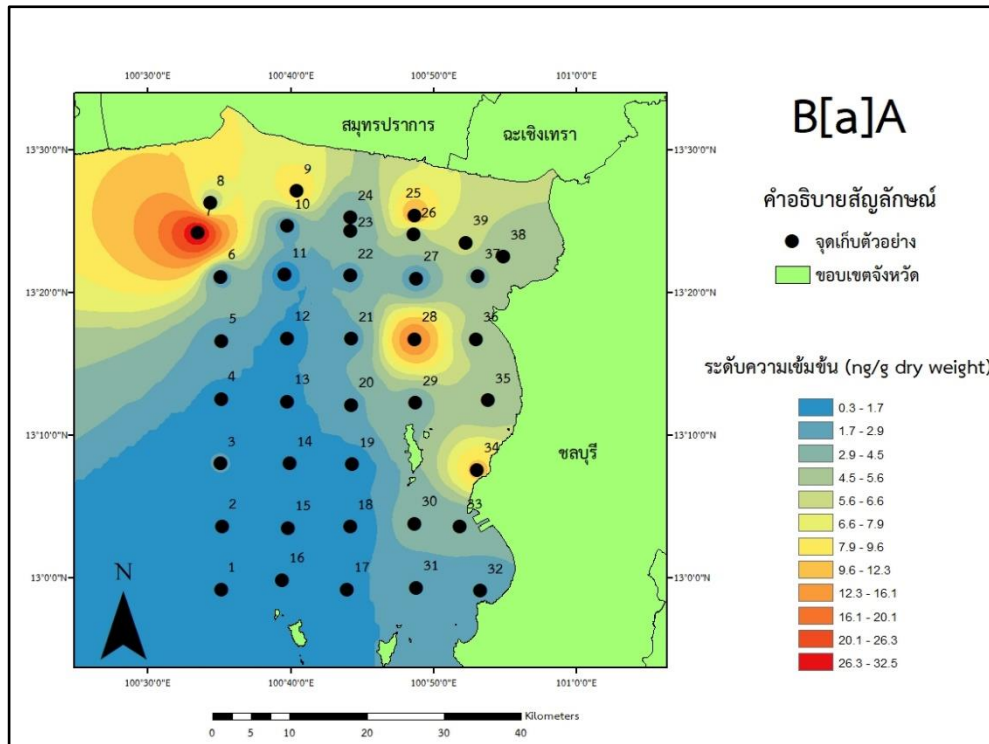
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก



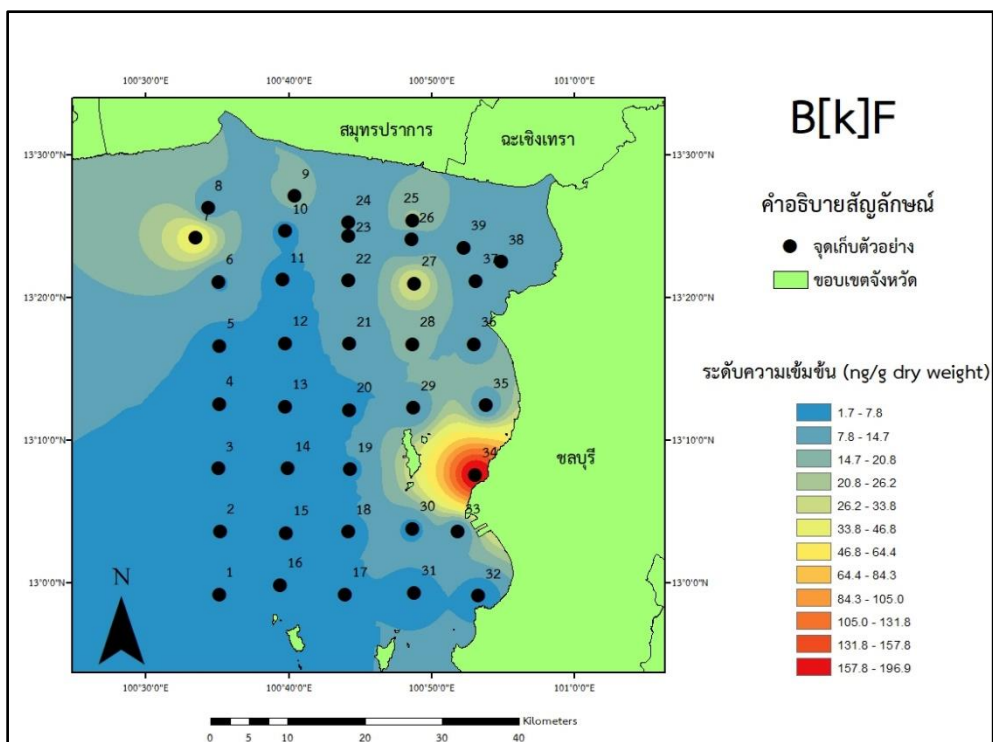
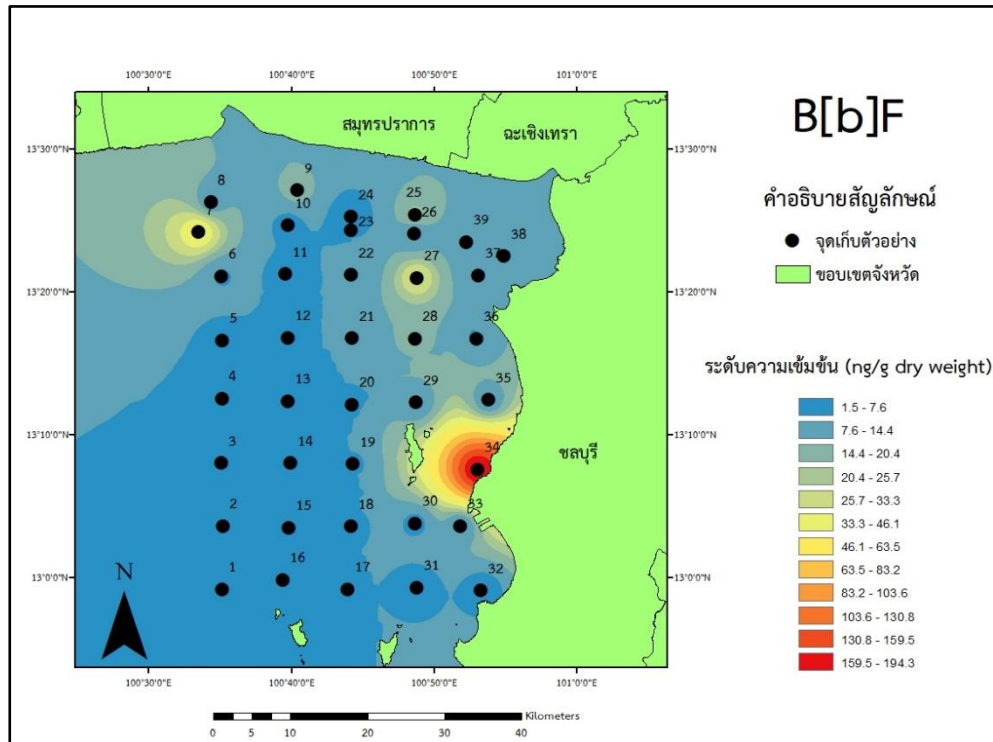
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)



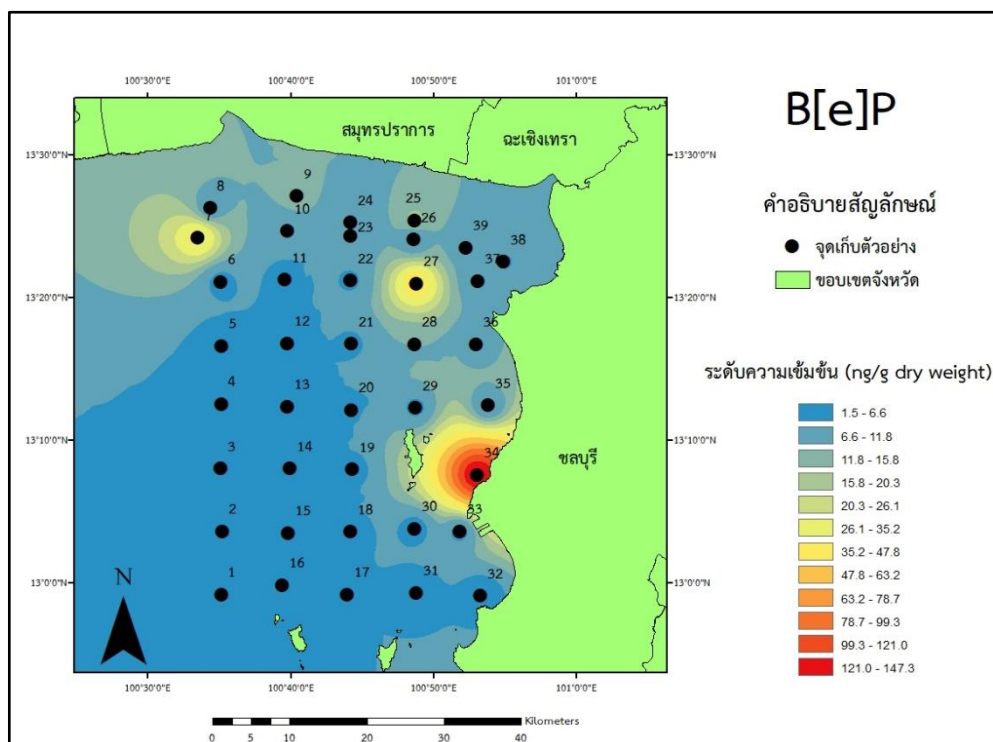
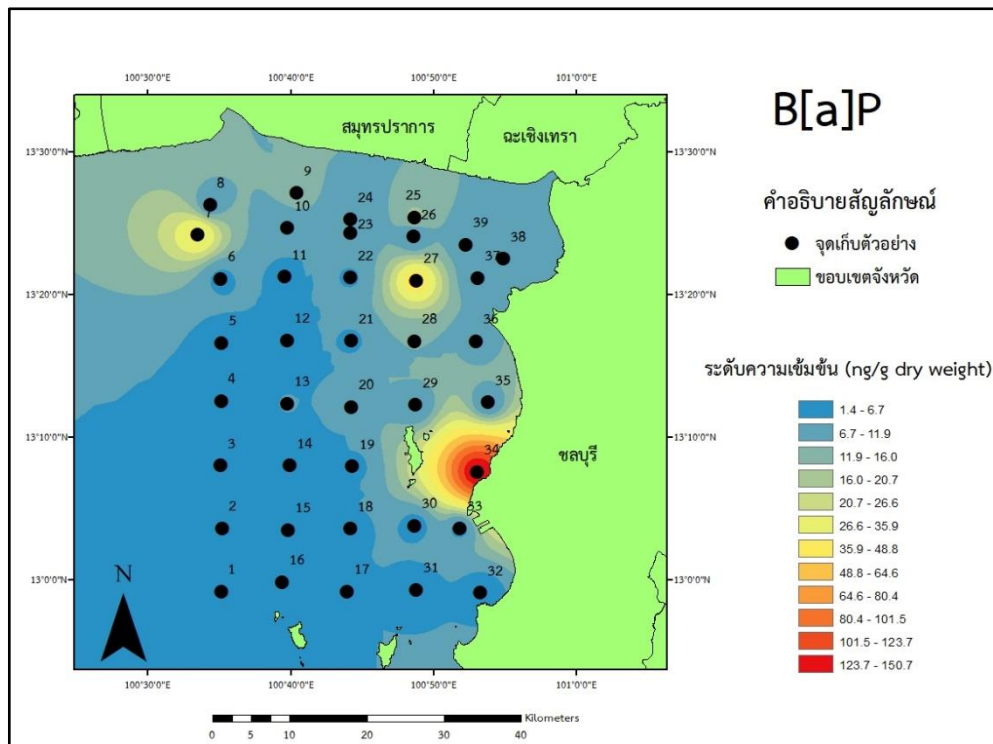
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)



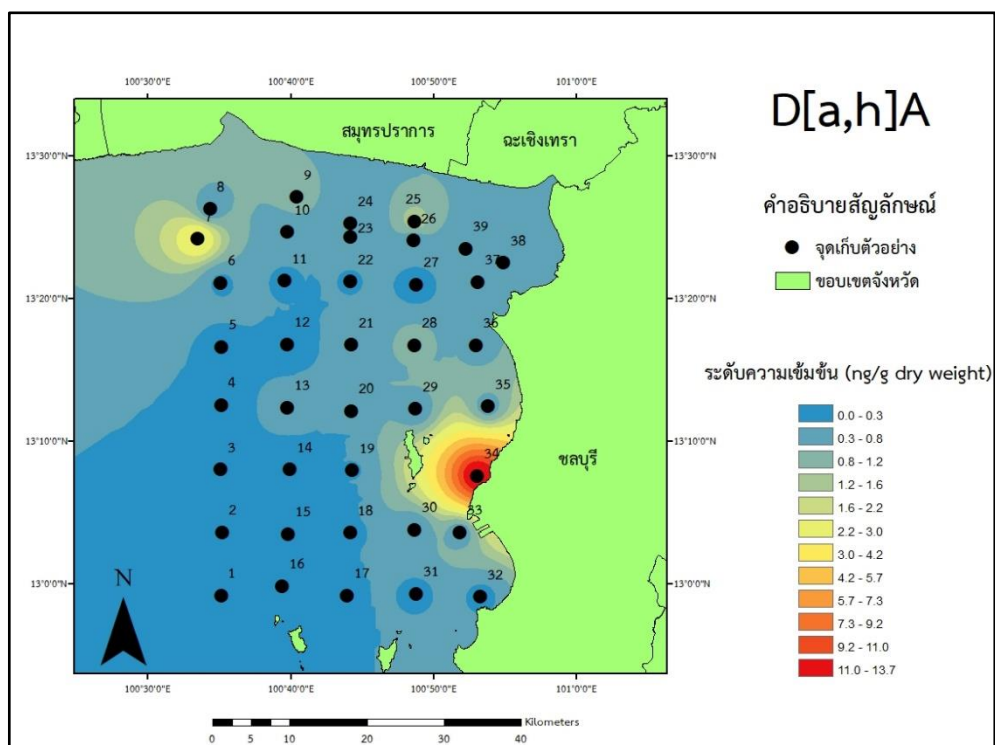
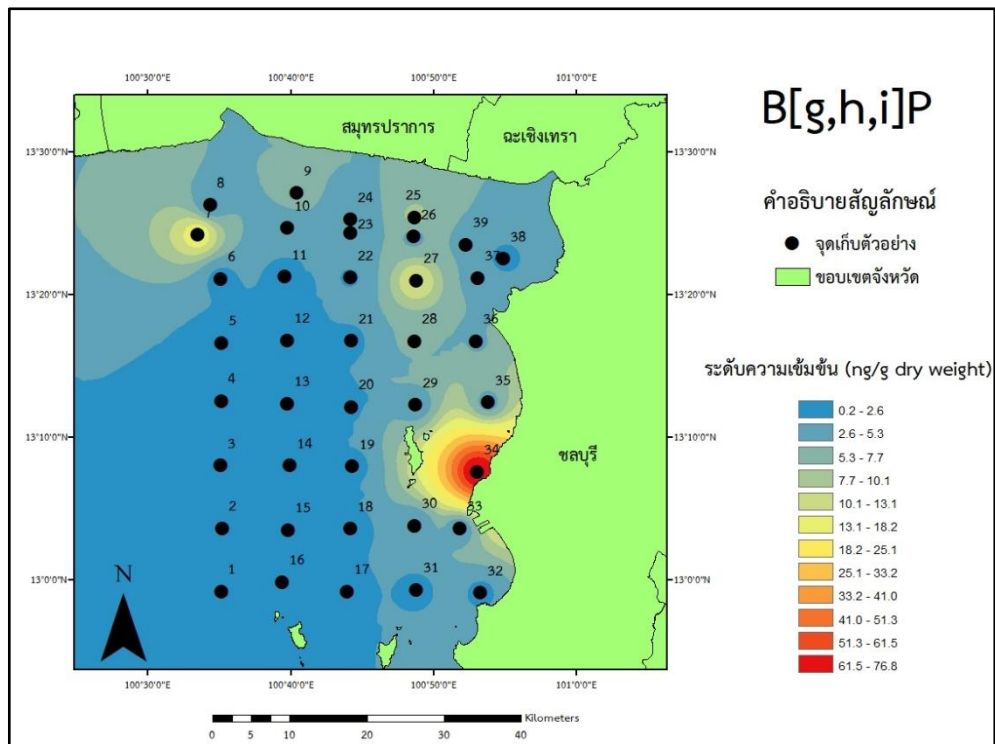
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)



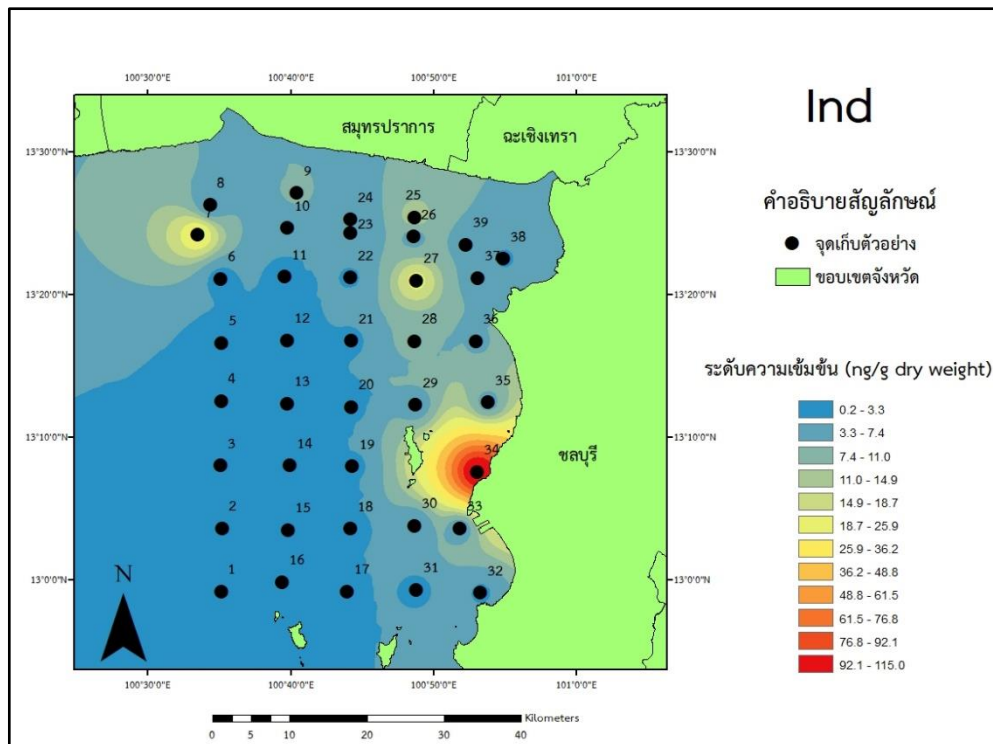
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันตก (ต่อ)



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)



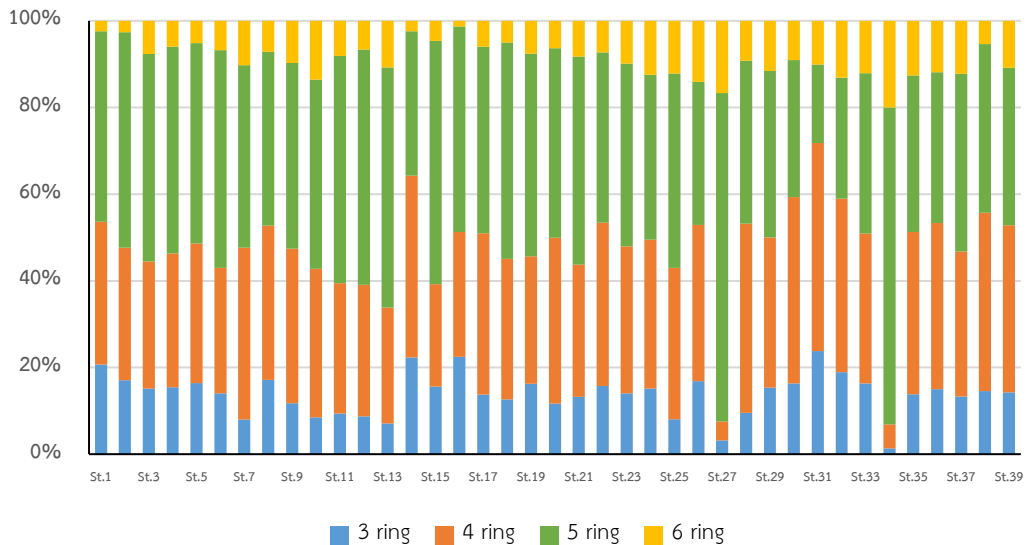
ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่ง ตะวันออก (ต่อ)

4.5 องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยพิจารณาจากจำนวนวงแหวนเบนซีน แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่ามี PAHs 5 วง เป็นองค์ประกอบหลัก (B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, D[a,h]A) รองลงมาเป็น PAHs 4 วง (Fluo, Pry, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A, Chry) คิดเป็น 51.2% และ 26.9% ตามลำดับ ขณะที่ PAHs 6 วง (Ind, B[g,h,i]P) และ PAHs 3 วง (Phe, An) คิดเป็น 12.4% และ 9.5% จะเห็นได้ว่าตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกมี PAHs 4-5 วง เป็นองค์ประกอบหลัก



ภาพที่ 4.6 องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบว่ามี PAHs 4-5 วง เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่ง PAHs 4-5 วง มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง (Mai, *et al.*, 2003) เห็นได้ชัดในสถานี 27 และ 34 ซึ่งมี PAHs 5-6 วง เยอะ แสดงดังภาพที่ 4.6 คาดว่า PAHs ที่พบในสถานี 27 และ 34 น่าจะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน อาจจะเป็นสัญญาณของการใช้ถ่านหินที่เกิดขึ้นในบริเวณทั้ง 2 สถานี (Kavouras, *et al.*, 2001; Zuo, *et al.*, 2007) ส่วนในสถานี 14 และ 31 มี PAHs 3-5 วง เยอะ (ภาพที่ 4.6) น่าจะมีแหล่งกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกันเช่นกัน

4.6 การจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

สาร PAHs ที่มาจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์จะแตกต่างกัน สาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์นั้น แบ่งตามกระบวนการการเกิดได้ 2 ประเภท คือ มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) และมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) โดย PAHs ที่มาจากปิโตรเลียมจะมีโมเลกุลที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 3 - 4 วง (Hong, *et al.*, 2016) ส่วนใหญ่มาจากการคมนาคมขนส่งทางเรือ ขณะที่ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จะมีจำนวนวงแหวนเบนซีน (benzene ring) 5 - 6 วง และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion process)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Diagnostic Ratio หาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนไอโซเมอร์ (isomer ratio) ของ PAHs แต่ละชนิด เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอน โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้สัดส่วนของไอโซเมอร์ 4 แบบ คือ An/(An+Phe) (Pies, *et al.*, 2008), Fluo/(Fluo+Pry) (De La Torre-Roche, *et al.*, 2009), B[a]A/(B[a]A+Chry) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) (Yunker, *et al.*, 2002) และสัดส่วนมวลโมเลกุล (molecular ratio) 1 แบบ คือ $\Sigma\text{LMW}/\Sigma\text{HMW}$ (Zhang, *et al.*, 2008) เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดว่ามาจาก petrogenic หรือ pyrogenic ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของแหล่งกำเนิดแต่ละสัดส่วนไอโซเมอร์ของ PAHs แต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 3.3 ผลการคำนวณค่าสัดส่วนไอโซเมอร์และสัดส่วนโมเลกุลของแต่ละสถานีของอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกแสดงดังตารางที่ 4.4

เมื่อนำ Diagnostic Ratio มาวิเคราะห์จับคู่หาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PAHs แต่ละชนิด โดยหาความสัมพันธ์ของสัดส่วนระหว่าง An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pry) และ B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) อธิบายได้ดังต่อไปนี้

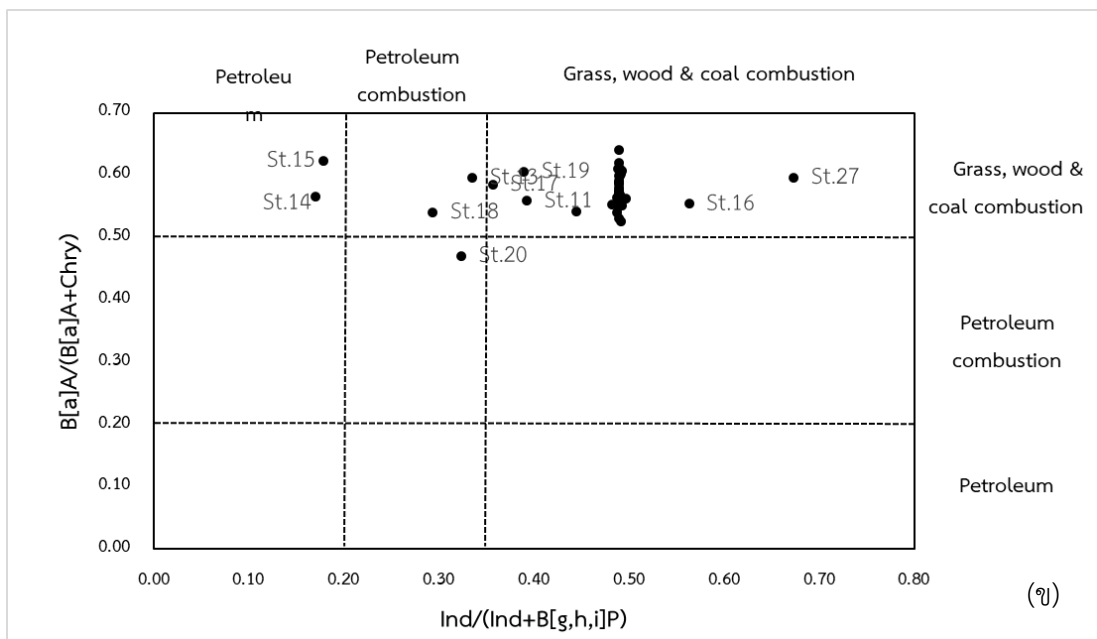
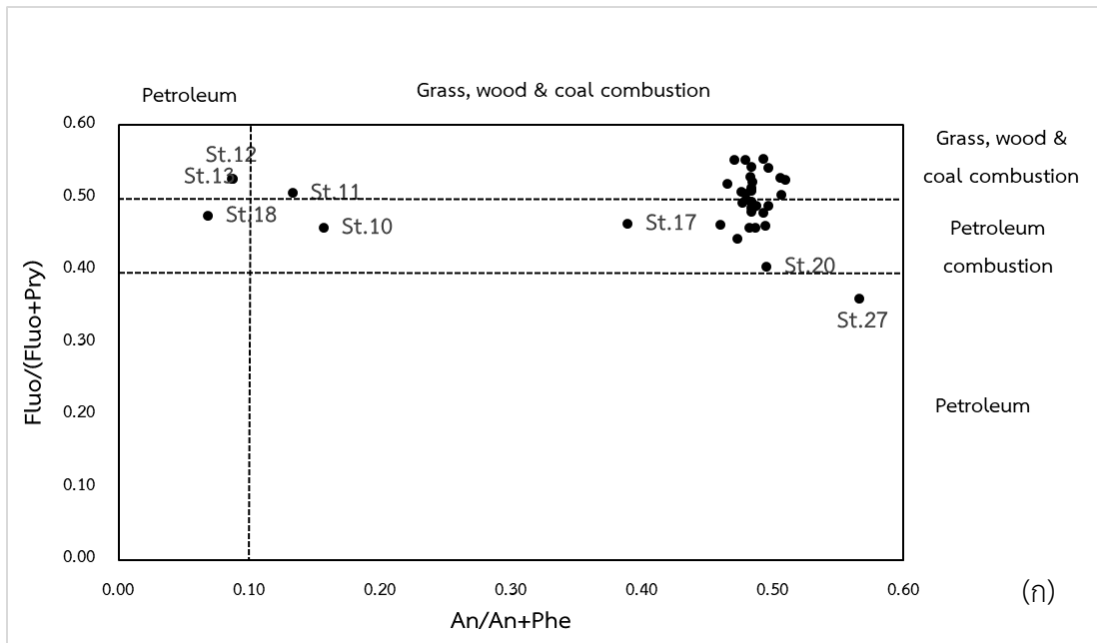
จากการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างคู่ An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pry) ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก แสดงดังภาพที่ 4.7 (ก) พบว่าสาร PAHs ส่วนใหญ่แล้วมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวล ถ่านหิน และการเผาไหม้ปิโตรเลียม มีเพียงสถานี 12 และ 13 ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม

จากการวิเคราะห์สัดส่วนระหว่างคู่ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$ ดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก แสดงดังภาพที่ 4.7 (ข) พบว่าสาร PAHs ส่วนใหญ่แล้วมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของชีวมวล ถ่านหิน และการเผาไหม้ปิโตรเลียม เช่นเดียวกับกับสัดส่วนระหว่างคู่ $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ แต่มีสถานีที่ 14 และ 15 ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม

จากการใช้ความสัมพันธ์ของ diagnostic ratio วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $An/(An+Phe)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pry)$ และ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Ind/Ind+B[g,h,i]P$ เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิด พบว่าทั้งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีแหล่งกำเนิดจากทั้ง 2 แหล่ง คือ petrogenic source และ pyrogenic source โดยแหล่งกำเนิดของ PAHs ในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีเพียงบางสถานีที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมโดยตรง คือ สถานี 12, 13, 14 และ 15

ตารางที่ 4.4 สัดส่วน PAHs (Diagnostic ratio) เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดในตัวอย่างตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

สถานี	An/An+Phe	Fluo/(Fluo+Pry)	B[a]A/(B[a]A+Chry)	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	Σ LMW/ Σ HMW
St.1	0.50	0.54	0.49	0.57	0.26
St.2	0.48	0.50	0.50	0.56	0.21
St.3	0.47	0.55	0.49	0.57	0.18
St.4	0.48	0.51	0.49	0.54	0.18
St.5	0.49	0.55	0.49	0.59	0.20
St.6	0.46	0.46	0.49	0.53	0.16
St.7	0.49	0.49	0.49	0.61	0.09
St.8	0.48	0.49	0.49	0.55	0.21
St.9	0.48	0.46	0.49	0.55	0.13
St.10	0.16	0.46	0.44	0.54	0.09
St.11	0.13	0.51	0.39	0.56	0.10
St.12	0.09	0.53	0.49	0.62	0.10
St.13	0.09	0.53	0.34	0.60	0.08
St.14	0.50	0.49	0.17	0.57	0.29
St.15	0.48	0.55	0.18	0.62	0.19
St.16	0.48	0.51	0.56	0.55	0.29
St.17	0.39	0.46	0.36	0.59	0.16
St.18	0.07	0.47	0.29	0.54	0.14
St.19	0.51	0.53	0.39	0.61	0.19
St.20	0.50	0.40	0.32	0.47	0.13
St.21	0.48	0.54	0.49	0.57	0.15
St.22	0.51	0.50	0.49	0.55	0.19
St.23	0.49	0.46	0.49	0.53	0.16
St.24	0.49	0.46	0.48	0.55	0.18
St.25	0.47	0.52	0.49	0.61	0.09
St.26	0.48	0.48	0.49	0.56	0.20
St.27	0.57	0.36	0.67	0.60	0.03
St.28	0.48	0.52	0.49	0.60	0.11
St.29	0.47	0.44	0.49	0.59	0.18
St.30	0.48	0.49	0.49	0.59	0.20
St.31	0.48	0.48	0.49	0.57	0.31
St.32	0.51	0.52	0.49	0.60	0.23
St.33	0.48	0.53	0.49	0.61	0.20
St.34	0.48	0.49	0.49	0.60	0.01
St.35	0.48	0.51	0.49	0.58	0.16
St.36	0.48	0.51	0.49	0.57	0.18
St.37	0.48	0.49	0.49	0.56	0.15
St.38	0.49	0.48	0.49	0.64	0.17
St.39	0.48	0.51	0.49	0.56	0.17



ภาพที่ 4.7 สัดส่วนของ diagnostic ratio ระหว่าง (ก) $\text{An}/(\text{An}+\text{Phe})$ กับ $\text{Fluo}/(\text{Fluo}+\text{Pry})$ และ (ข) $\text{B[a]A}/(\text{B[a]A}+\text{Chry})$ กับ $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B[g,h,i]P})$ ในตะกอนดินอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปรของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ด้วยเทคนิค Principal Components Analysis (PCA) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของสาร PAHs เพื่อลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่มาก เนื่องจากตัวแปรที่มีบางตัวมีลักษณะหรือมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน จะถูกจัดรวมกลุ่มเดียวกัน ส่วนตัวแปรบางตัวไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มตัวแปรในลักษณะนี้ได้จึงต้องตัดทิ้งไป โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบมีเหตุผลให้ได้จำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุด เพื่ออธิบายความผันแปรของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 20.0

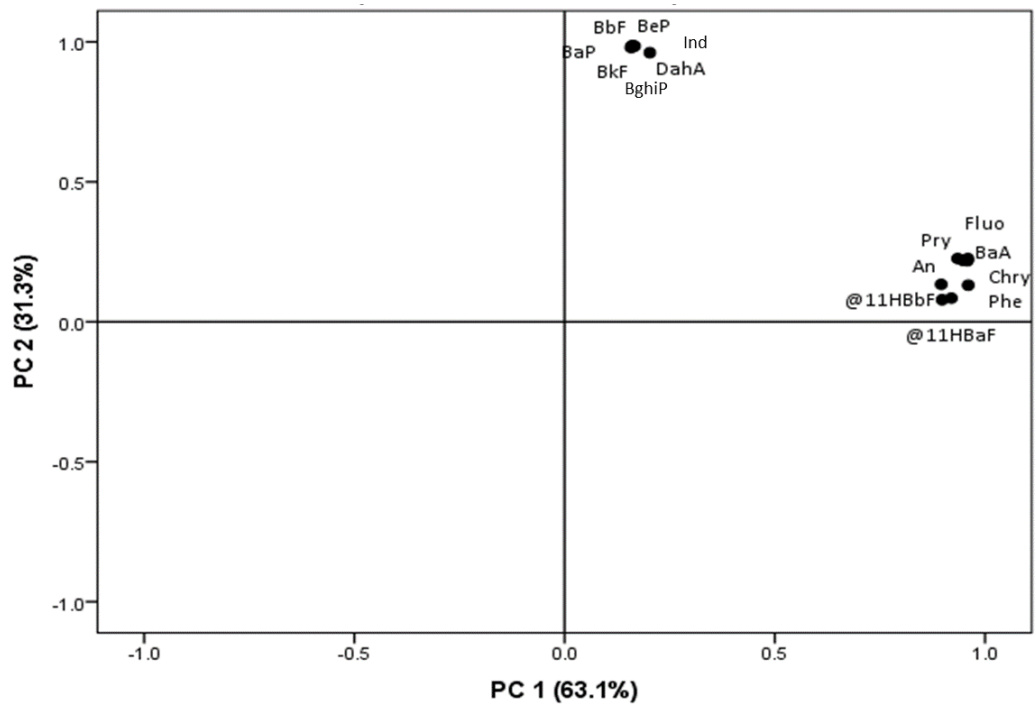
4.7.1 การวิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดของสาร PAHs

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ตามชนิดของสาร PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue > 1 ด้วยการหมุนแกนแบบ Varimax with Kaiser Normalization แบบ 2 มิติ ได้ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.5 การจับกลุ่มข้อมูลของสาร PAHs แต่ละชนิด แสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่า PAHs ที่มีค่า Rotated Component Matrix ในแต่ละชนิด > 0.6 สามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังนี้

- ก. องค์ประกอบที่ 1 มีค่า Variance 63.1% ประกอบไปด้วย Phe, An, Fluo, Pry, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A และ Chry ซึ่งเป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 3 - 4 วง ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล และเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997)
- ข. องค์ประกอบที่ 2 มีค่า Variance 31.3% ประกอบไปด้วย B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h,i]A และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็นสาร PAHs ที่มีวงแหวน 5 - 6 วง ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมัน และถ่านหิน (Fang, *et al.*, 2006; Larsen and Baker, 2003)

ตารางที่ 4.5 Rotated Component Matrix ของสาร PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนใน
ฝั่งตะวันออก

PAHs	Component	
	1	2
Phe	0.96	0.13
An	0.90	0.13
Fluo	0.95	0.22
Pry	0.93	0.23
11H-B[a]F	0.92	0.08
11H-B[b]F	0.90	0.08
B[a]A	0.96	0.23
Chry	0.96	0.22
B[b]F	0.16	0.99
B[k]F	0.17	0.99
B[e]P	0.16	0.98
B[a]P	0.16	0.98
D[a,h]A	0.20	0.96
B[g,h,i]P	0.16	0.99
Ind	0.16	0.99
Variance (%)	63.1%	31.3%
Cumulative (%)	63.1%	94.4%



ภาพที่ 4.8 Loading Plot ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกด้วยเทคนิค PCA

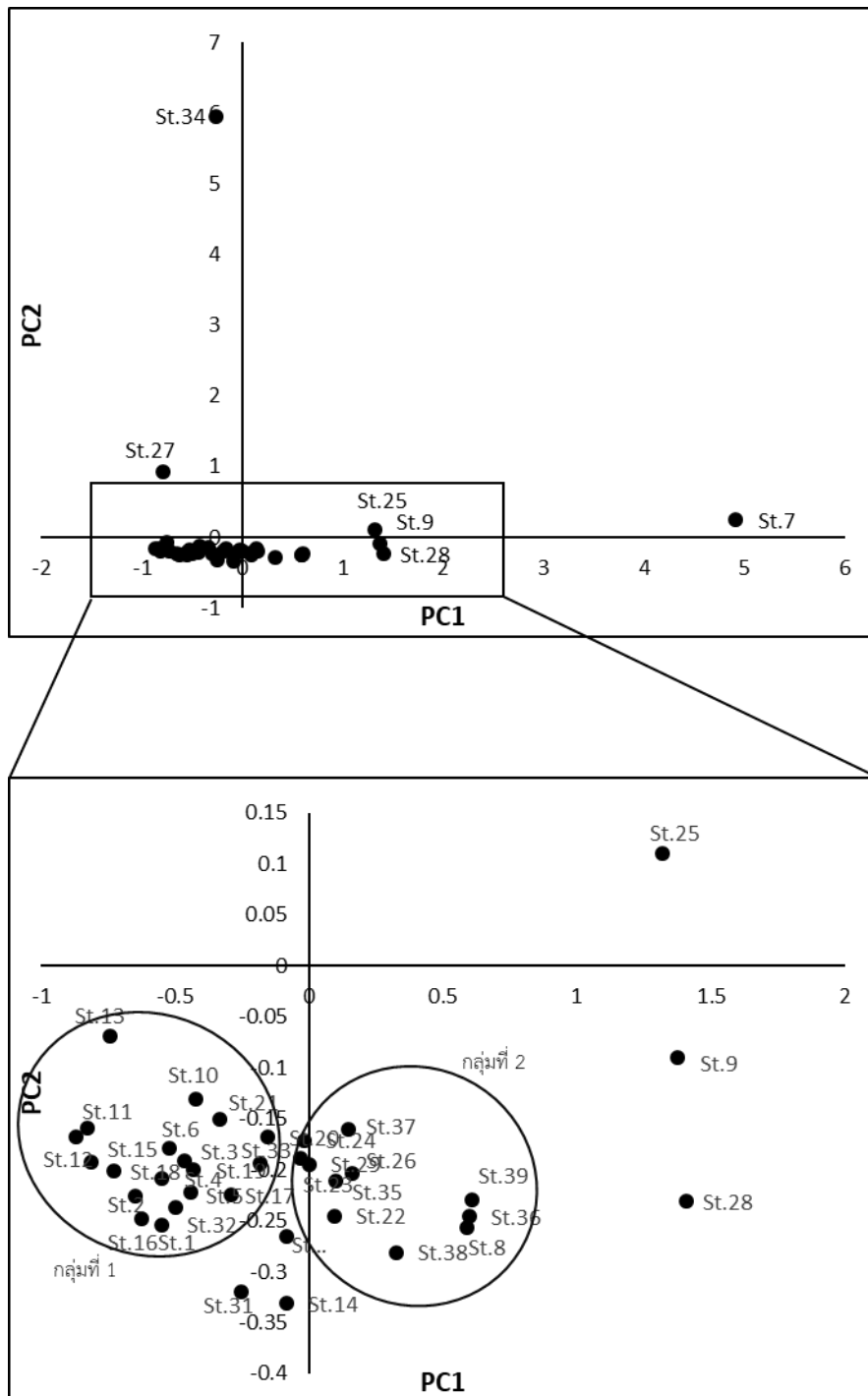
จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้เทคนิค PCA จัดกลุ่มตามชนิดของสาร PAHs แบ่งได้เป็น 2 องค์ประกอบ สามารถจำแนกชนิด และแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ที่พบในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มาจากการเผาไหม้ชีวมวล และเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านการบวนการเผาไหม้ รวมไปถึงแหล่งกำเนิดที่มาจากจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมัน และถ่านหินอีกด้วย

4.7.2 วิเคราะห์การแบ่งกลุ่มข้อมูลของสาร PAHs ตามสถานีเก็บตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกตามสถานีเก็บตัวอย่าง โดยพิจารณาจากค่า Loading แสดงดังภาพที่ 4.9 สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ได้ชัดเจนขึ้น พบว่าสถานี 34 และ 27 มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างออกมาจากสถานีอื่นอย่างชัดเจน อาจะมาจากการเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันเตาจากนิคมอุตสาหกรรม ส่วนในสถานี 7 เป็นสถานีที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยาคาดว่าเป็นแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้ปิโตรเลียมจากยานยนต์ที่มาจากชายฝั่ง รวมไปถึงการเผาไหม้ที่มาจากบ้านเรือนด้วย เช่นเดียวกับสถานี 9 ที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำเจ้าพระยาเช่นกัน ในสถานี 25 และ 28 เป็นแนวสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่งและยังอยู่ใกล้กับสถานี 27 แหล่งกำเนิดน่าจะมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากนิคมอุตสาหกรรม สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดได้อีก 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่ห่างออกมาจากชายฝั่ง เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทั้งการเผาไหม้ปิโตรเลียม และการรั่วไหลของน้ำมันปิโตรเลียม

กลุ่มที่ 2 ส่วนใหญ่เป็นสถานีที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ค่อนข้างหลากหลายมากกว่ากลุ่มที่ 1 ไม่ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้ปิโตรเลียม การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมไปถึงการเผาไหม้ที่มาจากบ้านเรือน



ภาพที่ 4.9 Score plot ของสถานีเก็บตัวอย่าง บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกด้วยเทคนิค PCA

4.8 การประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ผลการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยประเมินจากค่าความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิด ทั้งหมด 39 สถานี เปรียบเทียบกับ เกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (Effects range low; ERL) และเกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบ (Effects range median; ERM) (Long, *et al.*, 1995) พบว่าค่าความเข้มข้นของสาร PAHs เกือบทุกตัว ทั้ง 39 สถานี มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (ERL) ยกเว้น B[g,h,i]P ในสถานี 34 ที่มีค่าต่ำกว่า เกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (ERL) แสดงดังตารางที่ 4.6 ส่วนเกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบ (ERM) พบว่าไม่มี PAHs ชนิดใดที่ศึกษาในครั้งนี้มีค่าเกินเกณฑ์ ERM

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดิน กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ ตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

PAHs	ความเข้มข้น (นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)			SQG (นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ERL	ERM	<ERL
Phe	5.11	2.45	16.6	240	1500	-
An	4.44	0.25	15.9	85.3	1100	-
Fluo	7.49	2.42	38.3	600	5100	-
Pry	7.73	1.95	40.2	665	2500	-
B[a]A	4.16	0.28	32.8	261	1600	-
Chry	4.55	0.37	33.8	384	2800	-
B[b]F	13.6	1.2	194	320	1880	-
B[k]F	14	0.68	197	280	1620	-
B[a]P	11.6	1.38	151	430	1600	-
D[a,b]A	0.79	ND	13.7	430	1600	-
B[g,h,i]P	5.1	0.17	76.9	63.4	260	st.34

SQG หมายถึง เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน (The sediment quality guideline)

ERL หมายถึง เกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (Effect Range Low)

ERM หมายถึง เกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบ (Effect Range Median)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PAHs 15 ชนิด จากการศึกษาดินตะกอนจากอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก 39 สถานี พบระดับความเข้มข้นของสาร $\Sigma 15\text{PAHs}$ อยู่ในช่วง 29.2 – 961 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.9 ± 157 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบมีการปนเปื้อนของสาร PAHs มากที่สุดในสถานี 34 ซึ่งเป็นท่าเรือขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ รองลงมาเป็นสถานี 7, 27 และ 25 ตามลำดับ โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ B[k]F, B[b]F, B[a]P, B[e]P, Pyr, Fluo และ Ind

จากการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกทั้งหมด 39 สถานี พบว่าสถานี 34 มีการกระจายตัวของสาร PAHs ค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณท่าเรือขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ ส่วนบริเวณที่มีการกระจายตัวของสาร PAHs น้อย เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ห่างจากชายฝั่ง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบมี PAHs 4-5 วง เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งน่าจะมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่มาจากกิจกรรมบริเวณชายฝั่ง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน An/An+Phe, Fluo/(Fluo+Pry), B[a]A/(B[a]A+Chry), Ind/(Ind+B[g,h,i]) พบตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติแบบหลายตัวแปรด้วยเทคนิค Principal Components Analysis (PCA) ที่พบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เช่นกัน

ส่วนการประเมินการปนเปื้อนของสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบค่าความเข้มข้นของสาร PAHs เกือบทุกตัว ทั้ง 39 สถานี ยกเว้น B[g,h,i]P ในสถานี 34 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ส่งผลกระทบ (ERL) ส่วนเกณฑ์ชั้นกลางที่ส่งผลกระทบ (ERM) พบว่าไม่มี PAHs ชนิดใดที่ศึกษาในครั้งนี้มีค่าเกินเกณฑ์ ERM

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาแค่ระดับผิวหน้า (surface sediment) ซึ่งข้อมูลที่ได้มา จะบ่งบอกได้เพียงการปนเปื้อนของสาร PAHs ในปัจจุบันหรือในช่วงเวลาที่ไม่ยาวนานนัก ถ้าต้องการเปรียบเทียบระดับของสาร PAHs ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเก็บตัวอย่างตะกอนดินตามระดับความลึก (core sediment) จะทำให้เห็นแนวโน้มการสะสมตัวของสาร PAHs จากอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งสามารถอธิบายแหล่งกำเนิดที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ชัดเจนขึ้น
- 2) การศึกษาครั้งนี้ทำการประเมินความเสี่ยงในระบบนิเวศน์โดยใช้ตะกอนดิน ช่องว่างของงานวิจัยที่ควรเพิ่มเติม คือ การประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ และบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาด้วย โดยทำการศึกษาจากตัวอย่างสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะหอยที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- นฤมล บัวงาม. (2554). “การแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนและแหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนผิวหน้าของอ่าวไทย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริญ หล่อพิทยากร. (2558). “รูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำอ่าวไทยจากแบบจำลอง.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 3, 446-465.
- ระบบทางการสถิติ. (2559). “สถิติประชากรและบ้าน.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age.php (วันที่ 1 เมษายน 2561).
- ยุทธ ไถยวรรณ. (2556). “การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย.” จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราภรณ์ ศรีมูล. (2544). “การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี.” โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุมาลี สุขตานนท์. (2560). “ท่าเรืออ่าวไทยตอนใน.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.tri.chula.ac.th/triresearch/aothai/aothai.html> (วันที่ 1 เมษายน 2561).
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2524). “แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2525 - 2529).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.nesdb.go.th/main.php?filename=develop_issue (วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561).
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). “แผนงานพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (พ.ศ. 2560 - 2564).” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ http://www.nesdb.go.th/more_news.php?cid=593&filename=index (วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561).

- Akyüz, M., and Çabuk, H. (2010). "Gaseparticle partitioning and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Zonguldak, Turkey." *Sci Total Environ*, 408, 5550-5558.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1995). "Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons." *Atlanta GA, USA*.
- Boonyatumanond, R. , Wattayakorn, G. , Togo, A. , and Takada, H. (2006) . " Distributionand Originsof Polycyclic Aromatic Hydrocarbons inRiverine, Estuarine, and Marine Sediments in Thailand. " *Mar. Pollut. Bull*, 52, 942-956.
- Bouloubassi, I., Roussiez, V., Azzoug, M., and Lorre, A. (2012). " Sources, dispersal pathways and mass budget of sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the NW Mediterranean margin, Gulf of Lions." *Mar Chem*, 142-144 , 18-28.
- Budzinski, H., Jones, J., Bellocq, J., Pierard, C., and Garriques, P. (1997). "Evaluation of Dediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary." *Mar Chem*, 58, 581.
- Callén, M. S., de la Cruz, M. T., López, J. M., and Mastral, A.M. (2011). "PAH in airborne particulate matter. Carcinogenic character of PM10 samples and assessment of the energy generation impact." *Fuel Sci. Technol*, 92, 176-182.
- Chizhova, T., Hayakawa, K., Tishchenko, P., Nakase, H., and Koudryashova, Y. (2013). "Distribution of PAHs in the northwestern part of the Japan Sea." *Deep-Sea ResearchIII*, 86-87, 19–24.
- Christensen, E. R., and Arora, S. (2007). "Source apportionment of PAHs in sediments using factor analysis by time records: application to Lake Michigan, USA." *Water Res*, 41 (1), 168-176.
- Chunharat, S., Wattayagorn, G., Suthanaruk, P., and Salaenoi, J. (2015). "Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments in Map Ta Phut Industrial Estate Area, Rayong Province, Thailand." *Nat Sci*, 49, 747-760.

- Compaan, H., and Laane, R. W. P. M. (1992). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the North Sea an inventory." *TNO-report IMW-R*, 92, 130-392.
- Curtosi, A., Pelletier, E., Vodopivec, C.L., and Mac Cormack, W.P. (2009). "Distribution of PAHs in the water column sediments and biota of Potter Cove south Shetland Islands, Antarctica." *Antarct Sci*, 21 (4), 329-339.
- De La Torre-Roche, R. J., Lee, W. Y., and Campos-Díaz, S. I. (2009). "Soil-borne polycyclic aromatic hydrocarbons in El Paso, Texas: analysis of a potential problem in the United States/Mexico border region." *J Hazard Mater*, 163, 946-958.
- Deng, W., Li, X. G., Li, S. Y., Ma, Y. Y., and Zhang, D.H. (2013). "Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment of mud areas in the East China Sea using diagnostic ratios and factor analysis." *Mar. Pollut. Bull*, 70, 266-273.
- Duodu, O. G., Ogogo, N. K., Mummullage, S., Harden, F., Goonetilleke, A., and Godwin A. Ayoko. (2017). "Source apportionment and risk assessment of PAHs in Brisbane Riversediment, Australia." *Ecol Indic*, 73, 784-799.
- Dushyant, R. D., Rahul, K. R., Jwalant, K. B., Haren, B. G., Bhumi, K. S., and Bharti, P. D. (2016). "Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in historically contaminated surface sediments at Bhavnagar coast, Gujarat, India." *Environ Pollut*, 213, 338-346.
- Fabbri, D., Vassura, I., Sun C. G., Snape, C. E., Mcrae, C., and Fallick, A.E. (2003). "Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in a coastal lagoon by molecular and isotopic characterisation." *Mar Chem*, 84, 123-135.
- Fang, G. C., Wu, Y. S., Chen, J. C., Chang, C. N., and Ho, T. T. (2006). "Characteristic of polycyclic aromatic hydrocarbons concentration and source identification for fine and coarse particulates at Taichung Harbor near Taiwan Strait during 2004-2005." *Sci Total Environ*, 366, 729-738.

- Genualdi, S. A., Killin, R.K., Woods, J., Schmedding, D., and Simonich, S. L. M. (2009). "Trans-pacific and regional atmospheric transport of polycyclic aromatic hydrocarbons and pesticides in biomass burning emissions to western North America." *Environ Sci Technol*, 43 (4), 1061–1066.
- Gocht, T., Moldenhauer, K. M. and Puttmann, W. (2001). "Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in floodplain sediment from the Rhine River (Hessisches Ried, Germany)." *Appl. Geochem*, 16, 1707-17821.
- Gogou, A. I., Apostolaki, M., and Stephanou, G. E. (1997). "Determination of organic molecular markers in marine aerosols and sediments: one-step flash chromatographic compound class fractionation and capillary gas chromatographic analysis." *Chromatogr*, 799, 215-231.
- Gu, Q., Lin, S. J., Jiang, Z., and Wang, H. (2016). "Metal pollution status in Zhelin Bay surface sediments inferred from a sequential extraction technique, South China Sea." *Mar. Pollut. Bull*, 81, 256-261.
- Hamid, N., Syed, J. H., Kamal, A., Aziz, F., Tanveer, S., Ali, U., Cincinlli, A., Katsoyiannis, A., Yadav, I. C., Li, J., Malik, R. N., and Zhang, G. (2016). "A Review on the Abundance, Distribution and Eco-Biological Risks of PAHs in the Key Environmental Matrices of South Asia." *Rev Environ Contam T*, 240, 1-30.
- He, X., Pang, Y., Song, X., Chen, B., Feng, Z., and Ma, Y. (2014). "Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Guan River Estuary, China." *Mar. Pollut. Bull*, 80, 52–58.
- Herngren, L., Goonetilleke, A., Ayoko, G.A., and Mostert, M.M.M. (2010). "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater in Queensland, Australia." *Environ Pollut*. 158 (9), 2848–2856.
- Hong, W. J., Jia, H. L., Li, Y. F., Sun, Y. Q., Liu, X. J., and Wang, L. (2016). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and alkylated PAHs in the coastal seawater, surface sediment and oyster from Dalian, Northeast China." *Ecotoxicol Environ Saf*, 128, 11–20.

- Kanally, R.A. and S. Harayama. (2000). "Biodegradation of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by bacteria." *Journal of Bacteriology*, 182 (8), 2059-2067.
- Katsoyiannis, A., Terzi, E., and Cai, Q. Y. (2007). "On the use of PAH molecular diagnostic ratios in sewage sludge for the understanding of the PAH sources. Is this use appropriate." *Chemosphere*, 69, 1337- 1339.
- Kavouras, I. G., Koutrakis, P., Tsapakis, M., Lagoudaki, E., Stephanou, E. G., Von Baer, D., and Oyola, P. (2001). "Source apportionment of urban particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) using multivariate methods." *Environ. Sci. Technol*, 35, 2288–2294.
- 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, Y., Zhao, Y. J., Peng, S. T., Zhou, Q. X., and Ma, L. Q. (2010). "Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005." *Mar Pollut Bull*, 60, 238–243.
- Li, W. H., Tian, Z. Y., Shi, G. L., Guo, C. S., Li, X., and Feng, Y. C. (2012). "Concentrations and sources of PAHs in surface sediments of the Fenhe reservoir and watershed, China." *Ecotox Environ Safe*, 75, 198–206.
- Li, J., Dong, H., Zhang, D., Han, B., Zhu, C., Liu, S., Liu, X., Ma, Q., and Li, X. (2015). "Sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Bohai Sea and northern part of the Yellow Sea, China." *Mar Pollut Bull*, 96, 485–490.
- Liu, A. X., Lang, Y. H., Xue, L. D., and Liu, J. (2009). "Ecological risk analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Laizhou Bay." *Environ. Monit. Assess.* 159, 429–436.

- Liu, F., Yang, Q. S., Hu, Y. J., Du, H. H., and Yuan, F. (2014). "Distribution and transportation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at the Humen River mouth in the Pearl River delta and their influencing factors." *Mar Pollut Bull*, 84, 401-410.
- Liu, L. Y., Wang, J. Z., Wei, G. L., Guan, Y. F., and Zeng, E. Y. (2012). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in continental shelf sediment of China: implications for anthropogenic influences on coastal marine environment." *Environ Sci*, 167, 155-162.
- Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L., and Calder, F. D. (1995). "Incidence of adverse biological effects with ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments." *Environ Manage*, 19, 81-97.
- Luo, X. J., Chen, S. J., Yu, M., Mai, B. X., Sheng, G. Y., Fu, J. M. (2008). "Distribution and partition of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water from the Pearl River estuary." *Environ Sci*, 29 (9), 2391-2385.
- Mabey, W. R., Smith, J. H., Podoll, R. T., Johnson, H. L., Mill, T., Chou, T.W., Gates, J., Jaber, H., and Vandenberg, D. (1982). "Aquatic fate process data for organic priority pollutants." *Environ Prot Agen*, 440, 481-498.
- MacDonald, D. D., Carr, R. S., Calder, F. D., Long, E. R., and Ingersoll, C.G. (1996). "Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters." *Ecotoxicology*, 5, 253-278.
- Mai, B., Fu, J., Sheng, G., Kang, Y., Lin Z., Zhange, G., Min, Y., and Zeng, E.Y. (2002). "Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China." *Environ Pollut*, 117, 457-474.
- Mai, B. X., Qi, S. H., Zeng, E. Y., Yang, Q. S., Zhang, G., Fu, J. M., Sheng, G. Y., Peng, P. G., and Wang, Z. S. (2003). "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis." *Environ. Sci. Technol*, 37 (21), 4855-4863.

- Men, B., He, M.C., Tan, L., Lin, C.Y., and Quan, X.C. (2009). "Distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Daliao River Estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China)." *Mar Pollut Bull*, 58 (6), 818–826.
- Mostert, M. M. R., Ayoko, G. A., and Kokot, S. (2010). "Application of chemometrics to analysis of soil pollutants." *Trac Trend Anal Chem*, 29, 430-435.
- Nasher, E., Lee, Y. H., Zakaria, Z., and Surif, S. (2013). "Assessing the ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments at Langkawi Island, Malaysia." *Sci World J*, 9, 1-13.
- NOAA. (1999). "Screening Quick Reference Tables." (Online) Available on <http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf>. (25 August 2018).
- Oliveira, C., Martins, N., Tavares, J., Pio, C., Cerqueira, M., Matos, M., Silva, H., Oliveira, C., and Camoes, F. (2011). "Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a roadway tunnel in Lisbon, Portugal." *Chemosphere*, 83 (11), 1588-1596.
- Ollivon, D., Blanchard, M., and Garban, B. (1999). "PAH fluctuations in rivers in the Paris region (France): impact of floods and rainy events." *Wat Air Soil Poll*, 115, 429–444.
- Opuene, K., Agbozu, I. E., and Adegboro, O. O. (2009). "A critical appraisal of PAH indices as indicators of PAH source and composition in Eledenwo Creek, southern Nigeria." *Environmentalist*, 29, 47-55.
- Oros, O. R., and Ross, J. R. M., (2005). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in bivalves from the San Francisco estuary: spatial distributions temporal trends and sources." *Mar Environ Res*, 60, 446–448.
- Page, D. S., Boehm, P. D., Douglas, G. S., Bence, A. E., Burn, W. A., and Mankiewicz, P. J. (1999). "Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment record past human activity: A case study in Prince William Sound, Alaska." *Mar Pollut. Bull*, 4, 247-260.

- Parinos, C., Gogou, A., Bouloubassi, I., Stavrakakis, S., Plakidi, E., and Hatzianestis, I. (2013). "Sources and downward fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the open southwestern Black Sea." *Org Geochem*, 57, 65–75.
- Peyman, E. A., Kazem, D. B., and Shirin, R. (2014). "Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of Gorgan Bay, Caspian Sea." *Mar Pollut. Bull*, 89, 494-496.
- Pies, C., Hoffmann, B., Petrowsky, J., Yang, Y., Ternes, T. A., and Hofmann, T. (2008). "Characterization and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in river bank soils." *Chemosphere*, 72, 1594-1601.
- Pongpiachan, S., Hattayanone, M., Tipmanee, D., Suttinun, O., Khumsup, C., Kittikoon, I., and Hirunyatrakul, P. (2018). "Chemical characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in 2013 Rayong oil spill-affected coastal areas of Thailand." *Environ Pollut*, 233, 992-1002.
- Qian, X., Liang, B., Fu, W., Liu, X., and Cui, B. (2016). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the intertidal zone of Bohai Bay, Northeast China: Spatial distribution, composition, sources and ecological risk assessment." *Mar Pollut. Bull*, 112, 349–358.
- Qin, N., He, W., Kong, X. Z., Liu, W. X., He, Q. S., Yang, B., Wang, Q. M., Yang, C., Jiang, Y. J., Jorgensen, S. E., Xu, F. L., and Zhao, X. L. (2014). "Distribution, partitioning and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water-SPM-sediment system of Lake Chaohu, China." *Sci Total Environ*, 496, 414–423.
- Ravindra, K., Sokhi, R., and Van Grieken, R. (2008a). "Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation." *Atmos Environ*, 42, 2895-2921.
- Ravindra, K., Wauters, E., and Van Grieken, R. (2008b). "Variation in particulate PAHs levels and their relation with the transboundary movement of the air masses." *Sci Total Environ*, 396, 100-110.

- Ren, H., Kawagoe, T., Jia, H., Endo, H., and Kitazawa, A. (2010). "Continuous surface seawater surveillance on poly aromatic hydrocarbons (PAHs) and mutagenicity of East and South China Seas." *Estuar Coastal Shelf S*, 86, 395–400.
- Retnam, A., Zakaria, M. P., Juahir, H., Aris, A. Z., Zali, M. A., and Kasim, M.F. (2013). "Chemometric techniques in distribution, characterisation and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in aquaculture sediments in Malaysia." *Mar Pollut Bull*, 69, 55–66.
- Soclo, H. H., Garrigues, P., and Ewald, M. (2000). "Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas." *Mar. Pollut. Bull*, 40 (5), 387–396.
- Soliman, Y. S., Al Ansari, E. M. S., and Wadec, T. L. (2014). "Concentration, composition and sources of PAHs in the coastal sediments of the exclusive economic zone (EEZ) of Qatar, Arabian Gulf." *Mar. Pollut. Bull*, 85, 542-548.
- Somtrakoon, K.; Suanjit, S.; Pokethitiyook, P.; Kruatrachue, M.; Cassidy, M. B.; Trevors, J. T.; Lee, H.; and Upatham, S. (2009). "Comparing Phenanthrene Degradation by Alginate-encapsulated and Free Pseudomonas sp. UG14Lr cells in Heavy Metal Contaminated Soils." *J Chem Technol Biot*, 84, 1660–1668.
- Swartz, R. C. (1999). "Consensus sediment quality guidelines for PAH mixture." *Environ Toxicol Chem*, 18, 780-787.
- Tolosa, I., deMora, S., Sheikholeslami, M. R., Villeneuve, J. P., Bartocci, J., and Cattini, C. (2004). "Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments." *Mar Pollut Bull*, 48 (1), 44–60.
- Wang, Z. and Fringas, M. (1995). "Differentiation of source of spilled oil and monitoring of the oil weathering process using gas chromatography-mass spectrometry." *J Chromatogr A*, 712, 321-343.

- Wang, R., Tao, S., Wang, B., Yang, Y., Lang, C., Zhang, Y. X., Hu, J., Ma, J. M., Hung, H. (2010). "Sources and pathways of polycyclic aromatic hydrocarbons transported to Alert, the Canadian high Arctic." *Environ Sci Technol*, 44 (3), 1017-1022.
- Wilcke, W., Muller, S., Kanchanakool, N., Niamsku, C., and Zech, W. (1999). "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Tropical Metropolis Bangkok." *Geoderma*, 91, 297-309.
- Wolska, L., Mechlinska, A., Rogowska, J., and Namiesnik, J. (2012). "Sources and fate of PAHs and PCBs in the marine environment." *Environ Sci Technol*, 42 (11), 1172–1189.
- Xu, S. S., Liu, W. X., and Tao, S. (2006). "Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons in China." *Environ Sci Technol*, 40 (3), 702–708.
- Yan, B., Abrajano, T. A., Bopp, R. F., Chaky, D. A., Benedict, L. A., and Chillrud, S. N. (2005). "Molecular Tracers of Saturated and polycyclic aromatic hydrocarbon inputs into central Park Lake, New York city." *Environ Sci Technol*, 39, 7012-7019.
- Yan, J., Liu, J., Shi, X., You, X., and Cao, Z. (2016). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water from three estuaries of China: Distribution, seasonal variations and ecological risk assessment." *Mar Pollut Bull*, 109, 471–479.
- Yunker, M. B., Snowdon, L. R., Macdonald, R. W., Smith, J. N., Fowler, M. G., Skibo, D. N., McLaughlin, F. A., Danyushevskaya, A. I., Petrova, V. I., and Ivanov, G. I. (1996). "Polycyclic aromatic hydrocarbons composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas." *Environ Sci Technol*, 30, 1310-1320.
- Yunker, M. B., Macdonald, R. W., Vingarzan, R., Mitchell, R. H., Goyette, D., and Sylvestre, 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.

- Zong, H., Ma, X., Na, G., Huo, C., Yuan, X., and Zhang, Z. (2014). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the mariculture zones of China's northern Yellow Sea." *Mar Pollut Bull*, 85 (1), 172–178.
- Zhang, W., Zhang, S., Wan, C., Yue, D., Ye, Y., and Wang, X. (2008). "Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road runoff, dust, rain and canopy throughfall." *Environ Pollut*, 153, 594-601.
- Zhang, A., Zhao, S., Wang, L., Yang, X., Zhao, Q., Fan, J., and Yuan, X. (2016a). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seawater and sediments from the northern Liaodong Bay, China." *Mar Pollut Bull*, 113, 592-599.
- Zhang, D., Liu, J., Jiang, X., Cao, K., Yin, P., and Zhang, X. (2016b). "Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from the Luan River Estuary, China." *Mar Pollut Bull*, 102, 223–229.
- Zuo, Q., Duan, Y. H., Yang, Y., Wang, X. J., and Tao, S. (2007). "Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China." *Environ. Pollut*, 147, 303–310.

ภาคผนวก

วัสดุและสารเคมี

- 1) ซิลิกาเจล (silica gel)
- 2) ไยแก้ว
- 3) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane: DCM)
- 4) Internal Standard (ประกอบด้วย Deuterated-Acenaphthene, Deuterated-Fluorene และ Deuterated-Perylene)
- 5) เฮกเซน (Hexane : C_6H_{14})
- 6) โทลูอีน (Toluene : $C_6H_5CH_3$)
- 7) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane : C_6H_{12})
- 8) กรดไนตริก (Nitric acid : HNO_3)
- 9) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid : HCl)
- 10) ผงทองแดง (Copper powder)
- 11) Standard reference marine (SRM) 1941b Organic in Marine Sediment

เครื่องมือและอุปกรณ์

ก. เครื่องมือ

- 1) van Veen grab Sample
- 2) Freeze dryer ยี่ห้อ Heto รุ่น LyoPro 6000
- 3) เครื่องชั่งแบบความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ mettler toledo รุ่น MS 204s
- 4) ชุดสกัด Soxhlet extraction
- 5) เครื่อง Rotary evaporator ยี่ห้อ BUCHI
- 6) เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
- 7) เตาเผา Isotemp Programmable muffle Furnace อุณหภูมิ 450 °C
- 8) ตู้อบความร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 60 °C และ 220 °C ยี่ห้อ memmert
- 9) เครื่อง Gas chromatography–mass spectrometry QP2010 Ultra

ข. อุปกรณ์

- 1) ถาดสแตนเลส จำนวน 1 - 2 ใบ ซ้อนสแตนเลส
- 2) แผ่นอะลูมิเนียมฟอยด์ (Aluminum foil)
- 3) ถุงซิปล็อค
- 4) ขวดแก้วสีชาแบบมีฝาปิด ขนาด 30 มิลลิลิตร
- 5) ขวดแก้ว duran 100 มิลลิลิตร
- 6) ขวด Vial (Amber) 2 มิลลิลิตร
- 7) เซลลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร
- 8) ตะแกรงร่อน (Test sieve) ขนาด) 0.25 ไมครอน
- 9) Microliter Syringes
- 10) Disposable Glass Pasteur Pipettes ขนาด 230 มิลลิเมตร

