



การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่บันทึกในตะกอนดิน
นอกชายฝั่งอันดามัน และอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination Record in Near Shore
Sediment off Andaman Coast and the Eastern Inner Gulf of Thailand

พัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์
Patcharin Chimdit

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



การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่บันทึกในตะกอนดิน
นอกชายฝั่งอันดามัน และอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination Record in Near Shore
Sediment off Andaman Coast and the Eastern Inner Gulf of Thailand

พัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์
Patcharin Chimdit

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 การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่บันทึกในตะกอนดิน
นอกชายฝั่งอันดามัน และอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ผู้เขียน นางสาวพัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

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

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

..... กรรมการ
(ดร.ธนิตา อารีรบ)

..... กรรมการ
(ดร.อัศมน ลีมสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการ
จัดการสิ่งแวดล้อม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้างู่งสง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรอง ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวพัชรินทร์ นิมิตรฐ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน
และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวพัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่บันทึกในตะกอนดินนอกชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก
ผู้เขียน	นางสาวพัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

ศึกษาการกระจายตัวเชิงเวลา ระดับการสะสม และแหล่งกำเนิดของสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) ในแท่งตะกอนดิน โดยเก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วย Gravity Corer จำนวน 3 แท่งตะกอน จากนอกชายฝั่งอันดามันจำนวน 2 แท่งตะกอนจากบริเวณเขาหลักและบริเวณทับละมุ และบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จำนวน 1 แท่งตะกอน โดยสกัดตะกอนดินด้วยวิธีซอกเลต (soxhlet) และวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของ PAHs 15 ชนิด ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) จากนั้นใช้ diagnostic ratio และ principle component analysis (PCA) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกแหล่งกำเนิดของ PAHs ในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด (ΣPAHs_{15}) บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก และบริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา อยู่ในช่วง 17.4-48.4 และ 20.8-88.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 ± 7.21 และ 40.8 ± 23.0 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีค่า ΣPAHs_{15} เท่ากับ 22.6-313 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 177 ± 85.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของ PAHs พบว่าตัวอย่างตะกอนดินทั้ง 3 แท่งตะกอน มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic) เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ พบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีระดับความเข้มข้นของ PAHs สูงกว่าตะกอนดินจากนอกชายฝั่งอันดามัน และจากการวิเคราะห์อัตราการตกทับถมของตะกอนด้วยวิธีเทคนิคกัมมันตภาพรังสีตะกั่ว-210 (^{210}Pb) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงเวลา สามารถคำนวณย้อนกลับไปได้ 141 และ 83 ปี ในแท่งตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลักและบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ตามลำดับ

คำสำคัญ: สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน, แท่งตะกอนดิน, ตะกั่ว-210

Thesis Title Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination Record in Near Shore Sediment off Andaman Coast and the Eastern Inner Gulf of Thailand

Author Miss Patcharin Chimdit

Major Program Technology and Environmental Management

Academic Year 2018

ABSTRACT

The aims of this study was to investigate the temporal distribution, level of accumulation and source identification of PAHs in sediment cores. Three sediment cores were collected using a Gravity corer from near shore sediment off the Andaman coast area: 2 sediment cores from (KhaoLak and Thub lamu coastal) and 1 sediment core from the eastern inner Gulf of Thailand. Quantitative analysis of 15 PAHs in sediment were performed by soxhlet extraction and the PAHs level was determined by GC-MS. Moreover, the multi-techniques such as diagnostic ratios and principle component analysis were applied to apportion the potential sources of PAHs in the study areas. The results showed that total concentration of 15 PAHs (Σ PAHs₁₅) in Khao lak coastal area and Thub Lamu range from 17.4–48.4 and 20.8–88.5 ng/g dry weight with the average of 29.5 ± 7.21 and 40.8 ± 23.0 ng/g dry weight respectively, Σ PAHs₁₅ from the eastern inner Gulf of Thailand were in the range from 22.6–313 ng/g dry weight with an average of 177 ± 85.7 ng/g dry weight. The diagnostic ratios of PAHs plot among could be used to identify the potential sources of PAHs sources. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated that the potential sources of PAHs in three sediment cores most sediment samples originated from pyrogenic sources. The level of contamination of PAHs sediment in the eastern inner Gulf of Thailand was higher than the near shore sediment off Andaman coast. Moreover, the sediment accumulation rate was studied using ^{210}Pb sediment depth profile to analyse temporal distribution in sediment cores can be calculated back to 141 and 83 years in sediment cores from KhaoLak and the eastern inner Gulf of Thailand, respectively.

Keywords: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, Sediment corer and Lead-210

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.दनัย ทิพย์มณี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำการวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้อง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศิริ เอกจิตต์ ดร.ธนิดา อารีรบ และ ดร.อัศมน ลิมสกุล ที่ให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณปรีชา เสนสิทธิ์ ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตรายจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่สนับสนุนทุนการศึกษาสำหรับการเรียนและทำวิจัยในครั้งนี้ สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการศึกษา

พัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์

สารบัญ

	หน้า
หน้าอนุมัติ.....	(2)
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	(14)
1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 การตรวจเอกสาร	
2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	6
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs.....	7
2.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs	9
2.4 ความเป็นพิษของ PAHs	13
2.5 การแพร่กระจายของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	14
2.6 การสะสมของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต.....	15
2.7 ตะกอนดิน (Sediment).....	17
2.8 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	18
2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ.....	18
2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 ระเบียบการวิจัย	
3.1 พื้นที่ศึกษา	22
3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน.....	24
3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน.....	25
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน.....	25
3.3.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน	26
3.3.3 การสกัดแยกส่วน PAHs	28
3.3.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS.....	31
3.4 การคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs.....	31
3.5 การวิเคราะห์อัตราตกทับถมของตะกอนดินโดยเทคนิควัดกัมมันตรังสี ตะกั่ว-210 (²¹⁰ Pb).....	33
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	36
4 ผลการวิจัยและบทวิจารณ์	
4.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS	37
4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์หาสาร PAHs	38
4.3 การปนเปื้อนของ PAHs ในตัวอย่างแห่งตะกอนดิน	39
4.3.1 ตัวอย่างแห่งตะกอนดิน บริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน	39
4.3.2 ตัวอย่างแห่งตะกอนดิน บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา.....	42
4.3.3 ตัวอย่างแห่งตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก	43
4.4 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน.....	45
4.4.1 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.....	45
4.4.2 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา	46
4.4.3 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณอ่าวไทยตอนใน ฝั่งตะวันออก.....	47
4.5 แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยการวิเคราะห์ตามองค์ประกอบ	49
4.5.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.....	49
4.5.2 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	53
4.6 แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยการวิเคราะห์ตามอัตราส่วนความสัมพันธ์.....	55
4.6.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.....	55
4.6.2 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา	57
4.6.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	59
4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร	61
4.7.1 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา	61
4.7.2 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนใน ฝั่งตะวันออก ...	63
4.8 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน.....	67
4.8.1 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา.....	67
4.8.2 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	69
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	91
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
2.1	สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ที่ US-EPA ถูกกำหนดให้เป็นสารพิษอันตราย.....	7
2.2	อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs	12
2.3	การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง	13
2.4	ปริมาณของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต	16
3.1	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS ในการวิเคราะห์ PAHs.....	31
4.1	Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard.....	37
4.2	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b.....	39
4.3	ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเล เขาหลัก จังหวัดพังงา.....	45
4.4	ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณท่าละมู จังหวัดพังงา.....	47
4.5	ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฝั่งตะวันออก.....	48
4.6	เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด ของ Σ PAHs ในแท่งตะกอนดินกับการศึกษา ในต่างประเทศ	49
4.7	Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดจากบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา.....	62
4.8	Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดจากบริเวณอ่าวไทยตอนใน ฝั่งตะวันออก.....	64

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ขอบเขตของการวิจัย.....	4
2.1	สาร PAHs 16 ชนิด ที่เป็นสารพิษอันตรายโดย US-EPA.....	8
2.2	แหล่งกำเนิดและการกระจายตัวของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม (Hamid, et al., 2016)....	11
2.3	การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	15
3.1	จุดเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา.....	23
3.2	จุดเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก.....	24
3.3	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอนดิน (Gravity Corer).....	25
3.4	เครื่อง vacuum freeze dry.....	26
3.5	สกัดตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธี soxhlet extraction.....	27
3.6	เครื่อง rotary evaporator.....	27
3.7	เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน.....	28
3.8	การแยกส่วน (fractionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล (silica gel).....	29
3.9	เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS).....	30
4.1	ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน C2 จากชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.....	41
4.2	ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน CT บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา.....	42
4.3	ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน GOT บริเวณอ่าวไทยตอนใน ฝั่งตะวันออก.....	44
4.4	องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน C2 บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.....	51
4.5	องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน CT บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา.....	52
4.6	องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน GOT บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก .	54
4.7	อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน C2 (B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ก) และ (Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ข).....	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8	อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน CT (B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ก) และ (Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ข)..... 58
4.9	อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน GOT B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ก) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ข)..... 60
4.10	Loading Plot ของตะกอนดินนอกชายฝั่งอันดามันด้วยเทคนิค PCA..... 63
4.11	Loading Plot ของตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ด้วยเทคนิค PCA ... 65
4.12	Score Plot ของแท่งตะกอนตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน บริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน ด้วยเทคนิค PCA 66
4.13	Score Plot ของแท่งตะกอนตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ด้วยเทคนิค PCA..... 67
4.14	ความเข้มข้นรวมของ PAHs ในแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงาตามช่วงเวลา..... 69
4.15	ความเข้มข้นรวมของ PAHs ในแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกตามช่วงเวลา..... 71

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

CIC	constant initial concentration
CRS	Constant Rate of Supply
DCM	Dichloromethane
GC-MS	Gas Chromatography-Mass Spectrometer
HMW	High Molecular Weight
LMW	Low Molecular Weight
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
^{210}Pb	Lead-210
PCA	Principal Component Analysis
POP	Persistent Organic pollutants
SRM	Standard Reference Material

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) จัดเป็นสารมลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่มีความคงตัวย่อยสลายได้ยาก (Persistent Organic pollutants; POPs) (Meire, *et al.*, 2008; Gan, *et al.*, 2009) โดย PAHs เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนมากกว่า 2 วงขึ้นไป และมีวงเบนซีนอย่างน้อย 1 วง สารกลุ่มนี้บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น Benzo(a)pyrene

PAHs สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ โดยพิจารณาจากจำนวนวงเบนซีนในโครงสร้าง ได้แก่ PAHs น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) มีวงเบนซีน 2-3 วง เช่น naphthalene และ anthracene และ PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight) มีวงเบนซีนมากกว่า 3 วงขึ้นไป เช่น pyrene PAHs น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นสาร PAHs ที่ละลายน้ำได้มากกว่า PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูง (Shahbazi, *et al.*, 2010) ในทางตรงกันข้าม PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความคงตัวสูงส่งผลให้ระเหยและย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก (Xu, *et al.*, 2012) สามารถดูดซับกับอนุภาคตะกอนดินอินทรีย์ได้ง่าย (Yender, *et al.*, 2002) PAHs เป็นสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ จึงมีแนวโน้มเกาะติดอยู่กับอนุภาคของสารแขวนลอยที่มีการเคลื่อนที่และสะสมอยู่ในตะกอนดินในที่สุด (Nikolaou, *et al.*, 2009) ดังนั้นตะกอนดินจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของ PAHs ได้ดีกว่าน้ำ (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) ทำให้แท่งตะกอนนิยมใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการปนเปื้อนของมลสารในสิ่งแวดล้อม (Benninger and Krishnaswami, 1981; Barra, *et al.*, 2001)

แหล่งกำเนิดของ PAHs ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ pyrogenic source มาจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การเผาไหม้ของขยะในเตาเผาขยะ การเผาไหม้ถ่านหิน และการเผาไหม้เครื่องยนต์ (Ergut, *et al.*, 2006) รวมไปถึงไฟฟ้า และอีกกลุ่มคือ petrogenic source มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านการเผา

ไหม้ ส่วนใหญ่จะออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการกระทำของมนุษย์ เช่น การรั่วไหลของน้ำมัน (Ravindra, *et al.*, 2008)

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายแหล่งกำเนิดเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การผลิตปิโตรเลียม การรั่วไหลของน้ำมัน และการเผาไหม้ถ่านหิน (Alebic, *et al.*, 2011) ไอเสียจากยานพาหนะ เขม่าควันจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs มีอยู่หลากหลายทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Sojini, *et al.*, 2010; Mitra, *et al.*, 2009) เช่น ไฟไหม้ป่า นอกจากนี้สาร PAHs ยังตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยเฉพาะในวัฏภาคของตะกอนดิน ซึ่งตะกอนดินเป็นแหล่งเก็บกัก (Sink) จากนั้นจะเกิดการสะสมในสัตว์ทะเล และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร (Food chains) ผ่านกระบวนการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation) และสะสมอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเพิ่มความเข้มข้นเรื่อยๆ แล้วถ่ายทอดต่อไปตามลำดับขั้นการกิน (Biomagnifications) (Jiang, *et al.*, 2009) สุดท้ายเกิดการสะสมในร่างกายมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นสารในกลุ่มนี้อาจเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดปัญหาระยะยาวต่อระบบนิเวศและมนุษย์

จังหวัดพังงาเป็นจังหวัดที่เต็มไปด้วยแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติมากมาย โดยเฉพาะกิจกรรมทางน้ำ มีกลุ่มเกาะและชายหาดที่สวยงามที่วางตัวเรียงรายอยู่ในทะเลอันดามัน จึงได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ ทำให้ในแต่ละปีมีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการพัฒนาทางเศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยวอย่างรวดเร็วในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา (การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2561) เพื่อรองรับกิจกรรมทางการท่องเที่ยว เช่น จำนวนห้องพักและโรงแรม ร้านอาหาร การคมนาคมเพื่อขนถ่ายนักท่องเที่ยวจากสนามบินสู่แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ทั้งทางรถส่วนบุคคล และรถโดยสารสาธารณะ รวมทั้งเรือนำเที่ยว จากสาเหตุดังกล่าว พื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา โดยเฉพาะบริเวณบ้านทับละมุและเขาหลัก จึงได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะกิจกรรมการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เกิดการปลดปล่อย PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมจากรถโดยสารและเรือท่องเที่ยว และมีน้ำเสียจากร้านอาหาร ที่พัก โรงแรมลงสู่ชายฝั่งทะเล ประกอบกับกิจกรรมการเดินเรือ จากเรือท่องเที่ยวและเรือประมง รวมไปถึงฐานทัพเรือขนาดใหญ่ บริเวณท่าเรือทับละมุ ซึ่งเป็นท่าเทียบเรือหลักที่รับส่งนักท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยี่ยมชมอุทยานแห่งชาติหมู่เกาะสิมิลัน และเกาะตาชัย

ในส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก เป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางน้ำหนาแน่น ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่จอดเรือที่มีการจอดเรือสินค้าขนาดใหญ่ และเรือบรรทุกน้ำมัน มีการขนถ่ายถ่านหินแบบเทกองจากเรือขนาดใหญ่ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองถ่านหินเมื่อตกลงสู่พื้นผิวน้ำทะเลจะถูกดูดซับและจมตัวลงไปสะสมในตะกอนดิน และรวมไปถึงท่าเรือขนาดใหญ่ เช่น ท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือสยามคอมเมอร์เชียล และเคอร์รี่สยามซีพอร์ต เป็นต้น ซึ่งเป็นท่าเรือที่ไว้รองรับการขนส่งสินค้าจากเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่

ดังนั้นสาร PAHs ที่มีการสะสมอยู่ในตะกอนดินพื้นที่ท่องเที่ยวทะเลจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและสัตว์น้ำ ตลอดจนคุณภาพชีวิตในชุมชน เนื่องจากสาร PAHs เข้าไปสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในห่วงโซ่อาหาร และสุดท้ายแล้วส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ซึ่งเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้าย โดยข้อมูลจากงานวิจัยครั้งนี้จะนำมาใช้ในการวางแผนบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อกำหนดแนวทางในการลดผลกระทบและกำหนดแนวทางควบคุมสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา

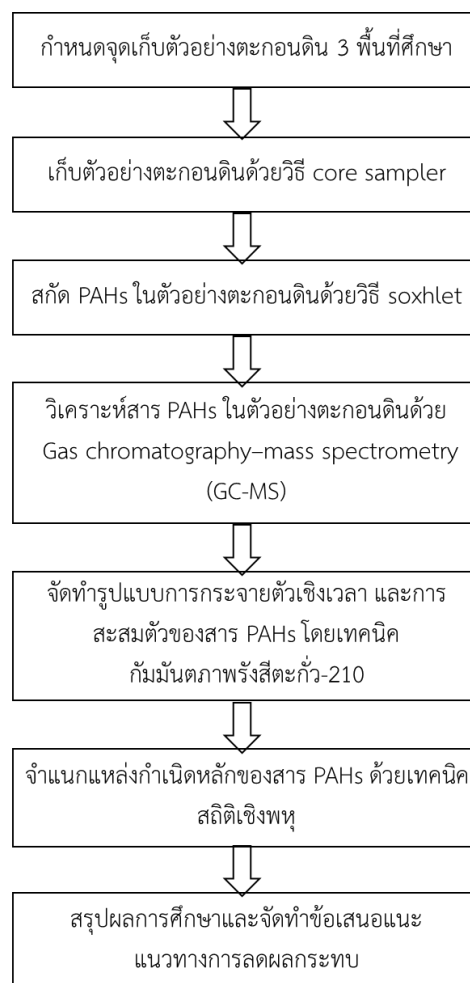
การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อพื้นที่นอกชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก โดยศึกษาค่าความเข้มข้นของ PAHs 15 ชนิด ได้แก่ Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 1,1-H-Benzo[a]fluorene, 1,1-H-Benzo[b]fluorene, Benz[a]anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[e]pyrene, Benzo[a]pyrene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene และ Benzo[g,h,i]perylene และอัตราการตกทับถมของตะกอน ตามคาบเวลาในอดีต โดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสี ของตะกั่ว-210 (^{210}Pb) เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลา รวมทั้งระดับของการสะสมตัวของ PAHs ที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลนอกชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกตามคาบเวลาในอดีต รวมทั้งจำแนกแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแนวทางลดผลกระทบของการปนเปื้อนของ PAHs ในพื้นที่ศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลา รวมทั้งระดับของการสะสมตัวของ PAHs ที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลจังหวัดพังงา ตามคาบเวลาในอดีต

1.2.2 จำแนกแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแนวทางลดผลกระทบของการปนเปื้อนของ PAHs

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย



ภาพที่ 1.1 ขอบเขตของการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ข้อมูลความเข้มข้นของ PAHs และระดับการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่ศึกษา นำมาใช้เป็นประโยชน์ในการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล

1.4.2 ทราบถึงรูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs ของคาบเวลาในอดีต โดยสามารถสะท้อนรูปแบบการพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจในอดีต เพื่อการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งในอนาคตที่เหมาะสมต่อไป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สาร PAHs จัดเป็นกลุ่มของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่ควรให้ความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่มีความคงตัวในสิ่งแวดล้อมสูง สามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ง่าย มีฤทธิ์เป็นสารก่อกลายพันธุ์ และสารก่อมะเร็ง PAHs เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยวงเบนซีน ที่ต่อกันในลักษณะเป็นวงแหวน 5 เหลี่ยม (furan) หรือ 6 เหลี่ยม (benzene) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็น เส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นองค์ประกอบหลัก (Blumer, 1976) สาร PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (nonpolar) จึงละลายน้ำได้น้อย ในสิ่งแวดล้อมมักเกาะกับอนุภาคฮิวมิคในดินหรือสะสมในสิ่งมีชีวิต ทำให้มีแนวโน้มของการปนเปื้อนและคงทนในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US-EPA) ได้กำหนดสาร PAHs ที่เป็นอันตรายทั้งหมด 16 ชนิด ถูกกำหนดให้เป็นสารพิษอันตรายที่ต้องรีบกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อม (Witting, *et al.*, 2003; Eom, *et al.*, 2007; Harvey, *et al.*, 2002) ดังตารางที่ 2.1

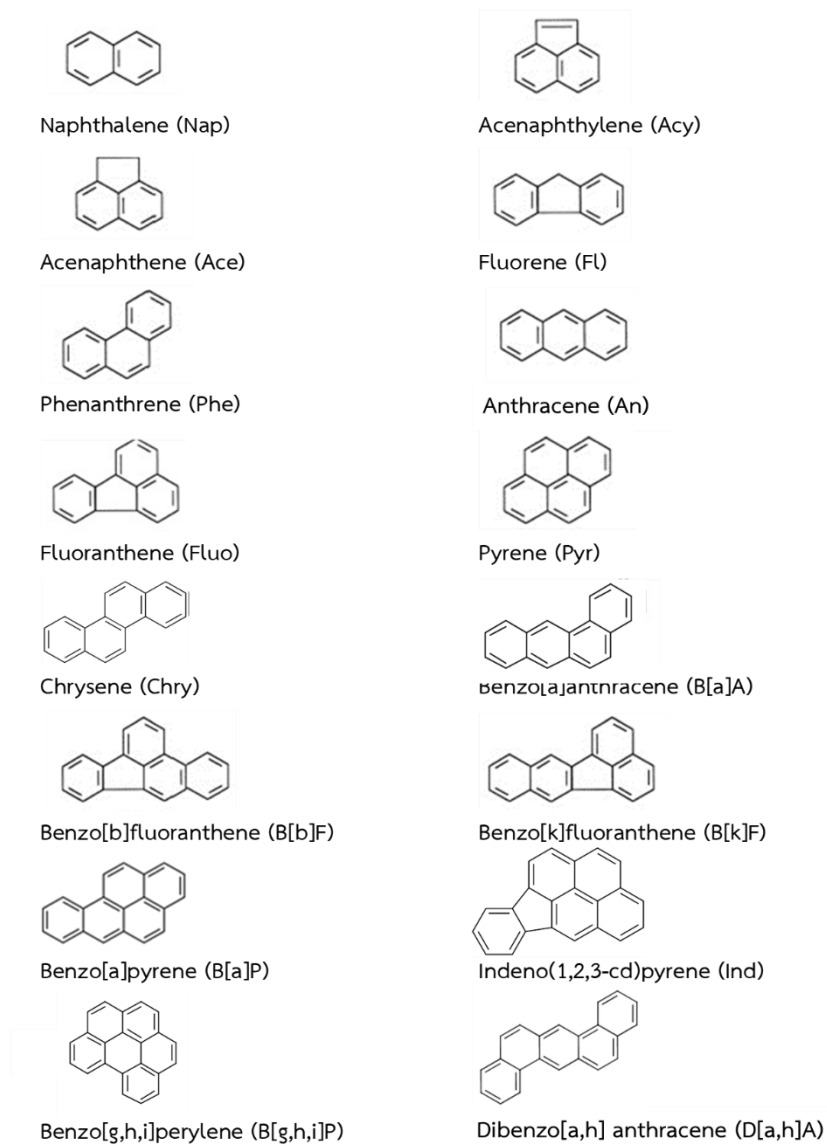
ตารางที่ 2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 16 ชนิด ที่ US-EPA ถูกกำหนดให้เป็นสารพิษอันตราย

ชนิดของ PAHs	สัญลักษณ์	จำนวนวงเบนซีน	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล	Log K _{ow}
Napthalene	Nap	2	C ₁₀ H ₈	128	3.4
Acenaphtylene	Acy	3	C ₁₂ H ₈	152	4.1
Acenaphtene	Ace	3	C ₁₂ H ₁₀	154	3.9
Fluorene	Fl	3	C ₁₃ H ₁₀	166	4.2
Anthracene	An	3	C ₁₄ H ₁₀	178	4.45
Phenanthrene	Phe	3	C ₁₄ H ₁₀	178	4.46
Fluoranthrene	Fluo	4	C ₁₆ H ₁₀	202	5.33
Pyrene	Pyr	4	C ₁₆ H ₁₀	202	5.32
Benzo[a]anthracene	B[a]A	4	C ₁₈ H ₁₂	228	5.6
Chrysene	Chry	4	C ₁₈ H ₁₂	228	5.61
Benzo[b]fluoranthrene	B[b]F	5	C ₂₀ H ₁₂	252	6.1
Benzo[k] fluoranthrene	B[k]F	5	C ₂₀ H ₁₂	252	6.8
Benzo[a]pyrene	B[a]P	5	C ₂₀ H ₁₂	252	6.04
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	5	C ₂₂ H ₁₄	278	6.5
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	6	C ₂₂ H ₁₂	276	7.1
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	6	C ₂₂ H ₁₂	276	6.6

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ PAHs

PAHs เป็นสารที่มีความคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลายาวนาน หรือที่เรียกว่า persistent organic pollutants (POPs) PAHs เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง (Linear) เป็นมุม (Angular) หรือเป็นกลุ่ม (Clustered) (Hussein, *et al.*, 2016) มีเฉพาอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน เป็น

สารประกอบอินทรีย์ ที่มีสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีความเป็นพิษและโครงสร้างต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน สารประกอบ PAH ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ จุดเดือดระหว่าง 150-325 °C และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101-438 °C PAHs ในสิ่งแวดล้อมมักเกาะกับอนุภาคฮิวมิก (humic) ในดิน หรือสะสมในสิ่งมีชีวิต ลักษณะโดยทั่วไปของสาร PAH มีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง ความสามารถในการละลายน้ำ การระเหยเป็นไอของ PAHs แต่ละชนิดขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมี (ภาพที่ 2.1) โดยความดันไอ และความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น (Dong, *et al.*, 2009)



ภาพที่ 2.1 สาร PAHs 16 ชนิด ที่เป็นสารพิษอันตรายโดย US-EPA

2.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs

สาร PAHs เกิดจากแหล่งกำเนิดหลัก 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

1) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ (Natural sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ตามกระบวนการตามธรรมชาติโดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดไฟป่า และภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น และพบ Benzo(a)pyrene จากภูเขาไฟระเบิดประมาณ 1.2–1.4 ตัน/ปี (Environment Canada, 1994)

2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่

- แหล่งกำเนิดจากอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย ส่วนใหญ่มาจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือน การสูบบุหรี่ และการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มความอบอุ่นภายในที่อยู่อาศัย โดยเชื้อเพลิงที่ใช้อาจเป็นไม้ ถ่านหิน และถ่านโค้ก ซึ่งทำให้เกิดสาร PAHs ขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เช่น พบว่า สาร PAHs มีระดับความเข้มข้นสูงในเขตที่อยู่อาศัยในเมืองเอสเซน ประเทศเยอรมัน จากการให้ความร้อนโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงพบ B[a]A, B[b]F และ Chry มีระดับความเข้มข้นสูงกว่า 260 น้ำหนักกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Grimmer, *et al.*, 1985) นอกจากนี้ สาร PAHs ยังเกิดจากการสูบบุหรี่ทั้งจากควันบุหรี่ที่เกิดจากบุหรี่โดยตรงและควันรอบมวนบุหรี่ พบ Pyr และ Fluo (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

- แหล่งกำเนิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล การเผาขยะ

- แหล่งกำเนิดจากการคมนาคมเกิดจากการไอเสียจากรถยนต์ การใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง โดยความเข้มข้นของ PAHs ในน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมี Nap, Acy และ Ace เป็นส่วนประกอบหลักประมาณร้อยละ 40 และพบว่าในน้ำมันดีเซล PAHs ที่พบ คือ B[k]F, B[e]P, B[b]F, Pyl, Chry, Fluo, B[a]A, Phe, B[g,h,i]P, Ind และ B[a]P (Harrison, *et al.*, 1996; Larsen and Baker, 2003) และ Fl, Chry, Ind, B[g,h,i]P และ Cyc เป็นชนิดหลักของ PAHs ที่มาจากน้ำมันเบนซิน (Yang, *et al.*, 1998; Harrison, *et al.*, 1996) ส่วนผลการศึกษาสาร PAHs ที่ปล่อยมาจากไอเสียรถยนต์ดีเซลและเบนซินพบ Ace, Fl, Phe, Fluo, Pyr, Chry และ B[e]P เป็นชนิดหลักของ PAHs ที่มาจากรถยนต์ดีเซล แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรมเกิด

จากการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้ง เกิดจากการเตรียมพื้นที่การเพาะปลูกทางการเกษตร ได้แก่ การเผา-
ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งพบ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ คือ Pyr, Fluo และ Chry (Dong and
Lee, 2009; Kavouras, *et al.*, 2001; Khalili, *et al.*, 1995)

- แหล่งกำเนิดของ PAHs สามารถแบ่งได้ 2 แหล่งกำเนิด

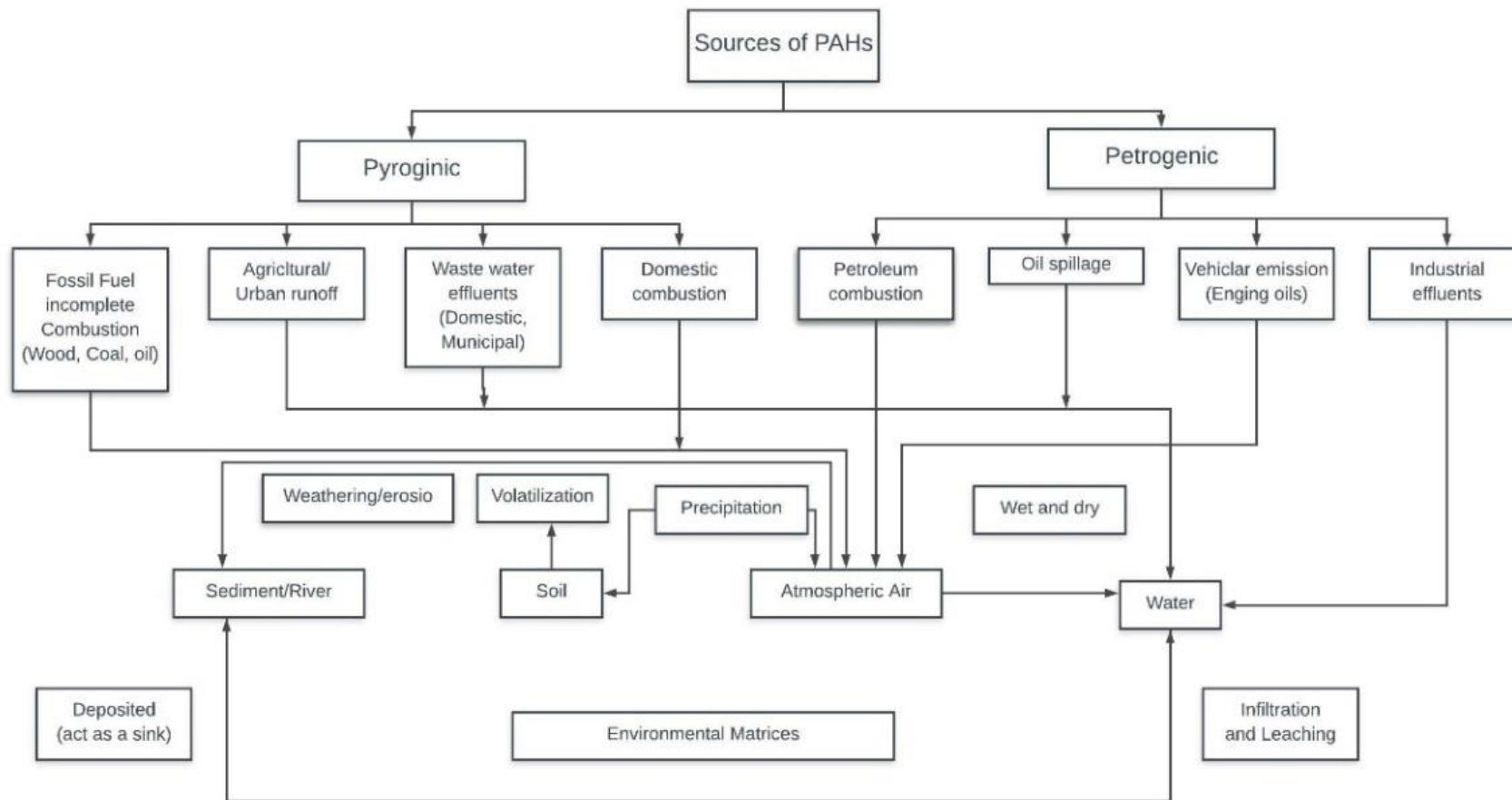
สาร PAHs เกิดมาจากระบวนการเผาไหม้ และการผลิตพลังงานต่าง ๆ
ที่นำไปสู่กระบวนการเผาไหม้ในระดับภูมิภาค โดยรูปแบบต่าง ๆ ของการเผาไหม้ทำให้เกิดชนิดของ
PAHs ที่แตกต่างกัน เช่น กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดจากถ่านหินหรือจากเชื้อเพลิงยานยนต์จะเกิด
ชนิดของ PAHs แตกต่างจากระบวนการเผาไหม้จากไฟฟ้า เป็นต้น สาร PAHs บางชนิดเกิดมาจาก
น้ำมันดิบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโมเลกุลในผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติโดยสามารถสรุป
ได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดตามอัตราส่วนของ PAHs ได้ ดัง
ตารางที่ 2.2

1) Petrogenic source

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์
ปิโตรเลียม เช่น เกิดมาจากการรั่วไหลของน้ำมัน หรือการรั่วไหลของน้ำมันจากยานพาหนะบนท้อง
ถนน และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (Ravindra, *et al.*, 2008; Zhang and Tao, 2009) มี
ลักษณะสำคัญคือ เป็นสารที่มีกลุ่มโมเลกุลหลักของ PAHs ซึ่งประกอบด้วยวงเบนซีน 2 ถึง 4 วง
ได้แก่ Nap, Fl, Phe, และ Chry ลักษณะเด่นของสารกลุ่มนี้จะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Hites
and Laflame, 1977)

2) Pyrogenic source

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของ
เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ไม้ ถ่านหิน และน้ำมัน หรือมาจากน้ำชะจากการเกษตร น้ำทิ้งจากชุมชน และ
การเผาไหม้จากชุมชนบ้านเรือน (Masih and Taneja, 2006) โดยมักพบโมเลกุลประเภท
unsubstituted PAHs ซึ่งมีวงเบนซีน ตั้งแต่ 3 ถึง 5 วงที่พบมาก ได้แก่ Fluo และ Pyr ลักษณะเด่น
ของสารกลุ่มนี้จะเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Wang, *et al.*, 1995; Zeng and vista, 1997)
ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



ภาพที่ 2.2 แหล่งกำเนิดและการกระจายตัวของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม (Hamid, *et al.*, 2016)

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs

PAH ratio	Value range	แหล่งกำเนิด	เอกสารอ้างอิง
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> , 2008
Fluo/(Fluo + Pyr)	<0.5	Petrol emissions	Ravindra, <i>et al.</i> , 2008
	>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	Akyuz and Cabuk, 2010
	>0.35	Vehicular emissions	
	<0.2	Petrogenic	Yunker, <i>et al.</i> , 2002
	>0.35	Combustion	
B[a]P/(B[a]P + B[e]P)	~0.5	Fresh particles	Oliveira, <i>et al.</i> , 2011
	<0.5	Photolysis (ageing of particles)	
Ind/(Ind + B[g,h,i]P)	<0.2	Petrogenic	Yunker, <i>et al.</i> , 2002
	0.2–0.5	Petroleum combustion	
	>0.5	Grass, wood and coal combustion	
Ret/(Ret + Chry)	~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> , 2008
	>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	

2.4 ความเป็นพิษของ PAHs

สาร PAHs เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารที่อาจจะก่อหรือร่วมก่อให้เกิดมะเร็งได้ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่น่าจะก่อมะเร็งในคน ดังตารางที่ 2.3 (IARC, 1987; US EPA, 1993) โดยการจัดกลุ่มดังกล่าวใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง เป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น คาร์บอนหริ น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) PAHs เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ PAHs จะเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายและรวดเร็ว จากการหายใจ การรับประทานอาหารและดื่มน้ำที่มีอนุภาค PAHs เจือปน อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ต่อระบบการทำงานในร่างกายมนุษย์ เช่น ระบบการเติบโต ระบบสืบพันธุ์ อีกทั้งมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่อวัยวะหลายแห่ง เช่น กระเพาะอาหาร หลอดอาหาร

ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง

ชนิดของ PAHs	การจัดกลุ่ม	
	IARC ^a	US EPA ^b
Phenanthrene	3	D
Anthracene	3	D
Fluoranthene	3	D
Pyrene	3	D
Benzo[a]anthracene	2A	B2
Chrysene	3	B2
Benzo[b]fluoranthene	2B	B2
Benzo[k]fluoranthene	2B	B2
Benzo[e]pyrene	3	-
Benzo[a]pyrene	2A	B2
Indeno[123cd]pyrene	-	B2

ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (ต่อ)

ชนิดของ PAHs	การจัดกลุ่ม	
	IARC ^a	US EPA ^b
Dibenzo[ah]anthracene	2A	B2
Benzo[ghi]perylene	3	D

2A: กลุ่มที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่จะก่อมะเร็งต่อคน B2: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน
 2B: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน D: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน
 3: กลุ่มที่น่าจะก่อมะเร็งต่อคน

2.5 การแพร่กระจายของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม

PAHs เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีมาก และแพร่กระจายอยู่มากในสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Bostrom, *et al.*, 2002; Shen, *et al.*, 2013) อาจพบได้ทั้งในอากาศ น้ำ ดิน ตะกอน หรือในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งในชั้นของน้ำแข็งและหมอกควัน โดยสาร PAHs จะกระจายตัวสู่ชั้นบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการควบแน่น สาร PAHs ที่อยู่ในบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคของฝุ่น (bounded particles) แพร่กระจายไปในที่ต่าง ๆ (Heintzenberg, 1982; Hansen, *et al.*, 1988) จากนั้น PAHs ที่กระจายตัวอยู่ในแหล่งน้ำจะรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอย และท้ายที่สุดก็ตกไปสะสมอยู่ในตะกอนดิน (Gocht, *et al.*, 2001) ซึ่งตะกอนเป็นแหล่งกักเก็บสารมลพิษในระบบนิเวศ คุณลักษณะของตะกอนสามารถบ่งชี้ถึงสถานะความเสื่อมโทรม โดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารมลพิษได้ดีกว่าการใช้คุณภาพน้ำเป็นตัวชี้วัด เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของตะกอนจะผันแปรตามเวลาน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินหรือน้ำจะย่อยสลายสาร PAHs ไปเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง (Kanaly, *et al.*, 1997; Kilbane, 1998)

2.6 การสะสมของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต

เมื่อสาร PAHs เกิดการกระจายและมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการสะสมเข้าไปในสิ่งมีชีวิตในวิภูภาคนั้น ๆ สาร PAHs บางชนิดมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เช่น pyrene มีความเป็นพิษต่อหอยสองฝา ปลา (Nour El-Din, *et al.*, 2001) phenanthrene มีความเป็นพิษต่อแพลงก์ตอน ไล่เดือนทะเล เป็นต้น สาร PAHs สามารถสะสมในพืชได้ เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารประเภท lipophilic ดังนั้นสาร PAHs สามารถระเหยจากดินเข้าสู่พืชได้ (Jones, *et al.*, 1989; Wild, *et al.*, 1992) นอกจากนี้สาร PAHs ยังตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยเฉพาะในวิภูภาคของตะกอนดิน ซึ่งตะกอนดินเป็นแหล่งเก็บกัก (sink) จากนั้นจะเกิดการสะสมในสัตว์ทะเล และถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร ผ่านกระบวนการ bioaccumulation และ biomagnifications สุดท้ายเกิดการสะสมในร่างกายมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังภาพที่ 2.3 (Jiang, *et al.*, 2009)



ภาพที่ 2.3 การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม

แหล่งน้ำมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญ ทั้งในแง่ของการเป็นแหล่งอาหาร เส้นทางการอพยพชั่วคราวของสัตว์น้ำ และเป็นแหล่งอนุบาลของสัตว์วัยอ่อนหลายชนิด ดังนั้นหากตะกอนดินมีการปนเปื้อนจากสาร PAHs ก็ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา และสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน (benthod) ดังตารางที่ 2.4 โดยสิ่งมีชีวิตหน้าดินจะได้รับสาร PAHs ทั้งจากการกลืนกินโดยตรง หรือจากการที่สาร PAHs ถูกปลดปล่อยออกมาจากตะกอนดิน และสะสมในสัตว์น้ำ จากนั้นเกิดการถ่ายทอดและสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) ตามลำดับชั้นทางโทรฟิค (Trophic levels) ที่สูงขึ้นในห่วงโซ่อาหาร (Altindag and Yigit, 2005) สาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้น จึงมีความเข้มข้นของ PAHs สะสมในร่างกายปริมาณสูง (Biomagnifications) ดังนั้นมนุษย์ซึ่งอยู่ยอดสุดของลำดับโทรฟิค เมื่อบริโภคสัตว์น้ำที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนอยู่ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น โรคมะเร็ง หากได้รับในปริมาณที่มาก (ATSDR, 1996)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต

ที่ตั้ง	ความเข้มข้นของ Σ PAHs		เอกสารอ้างอิง
	(นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ระดับการปนเปื้อน ^a	
หอยสองฝา (Bivalves)			
Gironde estuary, France	49.8–101.5	ต่ำ-ปานกลาง	Bodin, <i>et al.</i> , 2004
Seine estuary, France	147–447	ปานกลาง	Rocher, <i>et al.</i> , 2006
Gulf of Naples, Italy	77.7±9.2	ต่ำ	Perugini, <i>et al.</i> , 2007
Northern Baltic Sea	440	ปานกลาง	Broman, <i>et al.</i> , 1990
Guanabara Bay, Brazil	9.00–273	ต่ำ-ปานกลาง	Francioni, <i>et al.</i> , 2007
Abu Qir Bay, Egypt	242–2830	ปานกลาง-สูง	Khairy, <i>et al.</i> , 2009
San Vicente Bay, Chile	2,993–3,880	สูง	Toro, <i>et al.</i> , 2004
Terminos Lagoon, Mexico	2,470–42,500	สูง-สูงมาก	Norena-Barroso, <i>et al.</i> , 1999
San Diego Bay, USA	1,831–23,985	สูง-สูงมาก	Anderson, <i>et al.</i> , 1999
Bizerte lagoon, Tunisia	146.9	ปานกลาง	Mzoughi and Chouba 2012

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของ PAHs ในสิ่งมีชีวิต (ต่อ)

ที่ตั้ง	ความเข้มข้นของ Σ PAHs		เอกสารอ้างอิง
	(นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ระดับการปนเปื้อน ^a	
ปลา (Fish)			
River Tiber, Italy	18.5	ต่ำ	Patrolecco, <i>et al.</i> , 2010
Camargue Biosphere Reserve, France	2370±1250– 90,500±45,900	สูง-สูงมาก	Roche, <i>et al.</i> , 2002
Vaccarès lagoon, France	313.65	ปานกลาง	Buet, <i>et al.</i> , 2006
Hong Kong markets, China	37.7–145	ต่ำ-ปานกลาง	Cheung, <i>et al.</i> , 2007
Red Sea Coast, Yemen	48.0–50.3	ต่ำ	Dou Abul, <i>et al.</i> , 1997
West Africa, Ghana	98–109	ต่ำ-ปานกลาง	Bandowe, <i>et al.</i> , 2014
Bizerte lagoon, Tunisia	20.1–105.8	ต่ำ-ปานกลาง	Barhoumi, <i>et al.</i> , 2014

a: ระดับการปนเปื้อน (Baumard *et al.*, 1998) : ต่ำ 0-100 นาโนกรัม/กรัม; ปานกลาง 100-1,000 นาโนกรัม/กรัม; สูง 1,000-5,000 นาโนกรัม/กรัม; และสูงมาก > 5000 นาโนกรัม/กรัม

2.7 ตะกอนดิน (Sediment)

ตะกอนดิน (sediment) เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างดิน (soil) หรือลักษณะทางธรณีวิทยาอื่นกับน้ำผิวดิน (surface water) ตะกอนดินประกอบด้วยสสารที่ถูกน้ำกัดกร่อน เช่นทราย ดินเหนียว นอกจากนี้ตะกอนดินยังประกอบด้วยสารอินทรีย์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ และอนุภาคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ ตะกอนดินมีความสำคัญทั้งในด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม ตะกอนดินเป็นทั้งที่อยู่อาศัย และแหล่งอาหารของสัตว์หน้าดิน คุณลักษณะของตะกอนดินสามารถชี้ถึงความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ได้ดีกว่าการใช้คุณลักษณะของน้ำเป็นตัวชี้วัด เพราะนอกจากจะเป็นแหล่งกักเก็บสารมลพิษ นอกจากนี้ตะกอนดินยังเป็นแหล่งเก็บสะสม (sink) และสร้างใหม่ (source) ของธาตุอาหาร ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ (นิคม ละอองศิริวงศ์ และคณะ 2542)

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการหาแนวทางบ่งชี้คุณภาพตะกอนดิน เพื่อการรักษา ระบบนิเวศแหล่งน้ำและการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อไป เนื่องจาก ตะกอนดินสามารถเป็นแหล่งสะสมสารอันตรายจากแหล่งอุตสาหกรรม แหล่งชุมชน และที่ชะจาก แหล่งธรรมชาติ นอกจากนี้ตะกอนดินยังเป็นแหล่งมลพิษที่สามารถปลดปล่อยสารอันตรายที่จับตัว กับตะกอนดินออกสู่อากาศ ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารอันตรายในตะกอนดิน พบได้ตั้งแต่การ เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในหรืออยู่บนตะกอนดิน สัตว์หน้าดินผ่านทางน้ำ ตะกอนดิน และการกลืนกินตะกอนดินปนเปื้อนเข้าไป ไปจนถึงการเกิดผลกระทบต่อสัตว์น้ำผู้ล่า (ผู้บริโภคลำดับ ถัดไป) รวมถึงมนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำจากการถ่ายทอดสารอันตรายผ่านทางโซ่อาหารได้ (กรมควบคุม มลพิษ, 2547)

- เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดิน

การกำหนดมาตรฐานเป็นมาตรการหนึ่งที่จะใช้เป็นแนวปฏิบัติในการบ่งชี้ถึง คุณภาพสิ่งแวดล้อมภายใต้มาตรฐานนั้น ๆ และการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้อยู่ภายใต้มาตรฐาน ที่ตั้งไว้สามารถลดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยที่จะเกิดกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ มาตรฐานคุณภาพดิน ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพตะกอนดินขึ้นเพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิง ภายในประเทศ (รุจยา บุญยทุฆมานนท์ และสุนิทร ทองเกลี้ยง, 2550) การกำหนดมาตรฐานคุณภาพ ตะกอนดินนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการประเมินคุณภาพตะกอนดิน ซึ่งครอบคลุมถึงการบ่งชี้พื้นที่ ที่มีความจำ เร่งด่วนในการจัดการพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอันตรายจากแหล่งกำเนิดมลพิษ และการ ติดตามตรวจสอบการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2.8 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Yim, *et al.* (2005) ศึกษาการกระจายของ PAHs โดยเก็บตัวอย่างแห่ง ตะกอนดิน บริเวณอ่าว Masan ประเทศเกาหลี PAHs รวมในตะกอนดินพื้นผิวอยู่ในช่วง 207-2,670 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ย 680 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งบ่งชี้ว่าแหล่งที่มาของ PAHs อยู่ในด้านในของอ่าวและด้านนอกอ่าว ซึ่งได้รับผลกระทบจากแหล่งเดียวกัน โดยมีที่มาจาก แหล่ง pyrogenic เนื่องจากการเติบโตอย่างรวดเร็วของการพัฒนาเมืองและอุตสาหกรรมของอ่าว Masan ประเทศเกาหลี

Guo, *et al.* (2011) ได้ศึกษาการสะสมของ PAHs ในช่วงระยะเวลาเกือบ 180 ปีที่ผ่านมา ได้ทำการศึกษาโดยใช้แท่งเก็บตะกอนที่เก็บรวบรวมตะกอนจากทะเลสาบ Baiyangdian ทางตอนเหนือของจีน พบว่าความเข้มข้นรวมของ PAHs สูงสุดในปี 1940 และปี 1990 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคม ส่งผลต่อการกระจายของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน โดยส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจาก pyrogenic จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไม้และถ่านหิน

Zhang, *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นและพลาซมของ PAHs จากการทับถมของชั้นตะกอนดินตั้งแต่ปี 1969 ถึงปี 2010 บริเวณชายฝั่งของอ่าว Haizhou ในแท่งตะกอนดิน พบว่าความเข้มข้นของ PAHs 16 ชนิด อยู่ในช่วง 72.5-805 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และพลาซมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังปีทศวรรษ 1990 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจในพื้นที่

Duan, *et al.* (2015) ศึกษาการประเมินอิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อแหล่งที่มาของ PAHs ในน้ำทะเลและตะกอนชายฝั่งทะเล ประเทศจีน พบว่าความเข้มข้นของ PAHs เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างเห็นได้ชัดจากอดีตที่ผ่านมา โดยมีสาเหตุมาจากการฟื้นตัวทางเศรษฐกิจหลังจากการปฏิวัติวัฒนธรรม และได้มีการปฏิรูปทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้เศรษฐกิจมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว

Bodin, *et al.* (2004) ทำการศึกษา PAHs จากการทับถมของตะกอนดิน บริเวณอ่าวอาหรับ ประเทศคูเวตในอดีตที่ผ่านมา ในช่วงก่อนปลายปี 1970 ถึงต้นปี 1980 โดยวิธีเก็บตัวอย่างด้วยแท่งเก็บตะกอนดิน ได้กล่าววามลพิษของ PAHs ในตะกอนดินของอ่าวอาหรับทิศตะวันตกเฉียงเหนือในอดีตที่ผ่านมา มีความเข้มข้นของ PAHs ภายในอ่าวมีค่าต่ำกว่าปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานในอดีตที่ผ่านมา ก่อนมีการค้นพบน้ำมันในคูเวต ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความเข้มข้นของ PAHs เพิ่มขึ้นจากในอดีต โดยความเข้มข้นของ PAHs มีค่าเพิ่มสูงขึ้นก่อนยุคอุตสาหกรรมรอบปี 1970 และต้นทศวรรษ 1980 และได้ระบุแหล่งที่มาของ PAHs ว่าส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาเป็น Petrogenic จากการใช้พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลโดยตรง

Zhang, *et al.* (2016) ได้ศึกษาสาร PAHs และอัตราส่วนไอโซโทปของตะกั่วในแท่งตะกอนดิน บริเวณ Shilianghe ภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้กล่าวว่กิจกรรมมนุษย์มีส่วนทำให้ความเข้มข้นและพลาซมของ PAHs ทั้ง 16 ชนิด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องด้วยสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยแหล่งที่มาของ PAHs มาจากแหล่ง pyrogenic ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของถ่านหินและชีวมวล

Martins, *et al.* (2010) ทำการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในแห่งตะกอนดินบริเวณอ่าว Admiralty ประเทศไอซ์แลนด์ ทวีปแอนตาร์กติกา โดยทำการเก็บตัวอย่างในปี 2006 ค่าความเข้มข้นกลับได้ถึงปี 1957 พบความเข้มข้นของ PAHs อยู่ในช่วง 46.9-455 นาโนกรัม/กรัม- น้ำหนักแห้ง มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงปี 1995-1997 และมีค่าต่ำสุดในช่วงปี 1957-1966 พบว่าในช่วงต้นทศวรรษ 1960 เกิดการขนส่งในภูมิภาคเพิ่มมากขึ้นของคาบสมุทรแอนตาร์กติกา และหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการจัดตั้งสถานีเกี่ยวกับทหารหลายสถานี แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ส่วนใหญ่มาจากแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นในท้องถิ่น เช่น การเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำของถ่านหินและไม้

Qiu, *et al.* (2009) ได้ศึกษาสาร PAHs ในแห่งตะกอนดินจากอ่าว Deep ทางใต้ของประเทศจีน พบความเข้มข้นของ PAHs อยู่ในช่วง 98.9-673 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง จากปี 1948-2004 โดยความเข้มข้นของ PAHs ในแห่งตะกอนดินจากอ่าว Deep มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ทศวรรษ 1950 จนถึงปี 2004 จากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมในภูมิภาค ส่งผลให้เกิดการปล่อยมลสารจากยานพาหนะ และการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น

Hu, *et al.* (2011) ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PAHs จากทะเล Bohai ประเทศจีน พบความเข้มข้นของ PAHs ในตัวอย่างแห่งตะกอนดินอยู่ในช่วง 34.2-202 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-3 วง ส่วนมากในตัวอย่างตะกอนดิน โดยเฉพาะ Phenanthrene ในช่วงกลางและล่างของแห่งตะกอนดิน และพบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 4-6 วง มีค่าคงที่ในช่วงก่อนทศวรรษ 1980 และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังทศวรรษ 1980 โดยมีแหล่งกำเนิดจากสภาพแวดล้อมใน Bohai เช่น จากแม่น้ำ Hai และโรงงานอุตสาหกรรมของ Tianjan

Li, *et al.* (2015) ได้เก็บตัวอย่างแห่งตะกอนดินบริเวณอ่าว Sanniang ของ Beibu Gulf พบความเข้มข้นของ PAHs อยู่ที่ 10.5-87.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง PAHs ที่พบส่วนใหญ่เป็น PAHs ที่มีวงเบนซีน 3-4 โดยแหล่งกำเนิดของ PAHs ในแห่งตะกอนดินใน Beibu Gulf มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงแหล่งกำเนิดในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา โดย PAHs ที่มีวงเบนซีน 4 วง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ทศวรรษ 1960 PAHs ที่มีวงเบนซีน 5-6 วง เพิ่มขึ้นจากปี 2000- สะท้อนให้เห็นว่าเกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ จากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมใน Beibu Gulf ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เพิ่มขึ้นและน้ำมันรั่วไหลจากการสร้างท่าเรือ Qinzhou ในปี 1996 และยังมีการใช้พลังงานจากถ่านหินที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการปล่อยไอเสียจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจในพื้นที่

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

จรรยา สารินทร์ (2537) ทำการศึกษา PAHs ในตะกอนดินตามระดับความลึกของแท่งตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทย พบว่าปริมาณ PAHs รวมอยู่ในระดับน้อยมาก โดยมีความเข้มข้นรวมของ PAHs ในตะกอนชั้นบนคือ บริเวณอ่าวไทยตอนบนมีค่าอยู่ในช่วง 38.7-123.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง และบริเวณอ่าวไทยตอนล่างมีค่าในช่วง 13.6-67.3 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง

Wattayakorn and Chaipuriwong (2006) ศึกษาการกระจายของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าและในแท่งตะกอนดินจากบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน พบว่าปริมาณ PAHs รวมของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าตามลำน้ำท่าจีนอยู่ในช่วง 263-1,524 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีความเฉลี่ยเท่ากับ 503 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง สาร PAHs ที่พบมากที่สุดได้แก่ Naphthalene, Biphenyl, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Chrysene, Benzo[a]anthracene, Perylene, Anthracene, Fluoranthene และ Pyrene การกระจายของ PAHs รวมในตะกอนดินผิวหน้า พบว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดของ PAHs จะเป็นบริเวณที่พบการสะสมได้มากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลแหล่งกำเนิดออกไป การสะสมของ PAHs รวมในตะกอนตามความลึกแสดงแนวโน้มของ PAHs ที่ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันมีการสะสมของ PAHs มากกว่าในอดีต การพิจารณาแหล่งกำเนิดของ PAHs จากดัชนี Fluoranthene/Pyrene Phenanthrene/Anthracene Σ MPhen/Phe และ (2+3-ring)PAHs/(4+5-ring)PAHs พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ เช่น จากการปล่อยควันเสียจากยานพาหนะจากโรงงานอุตสาหกรรม และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่แหล่งน้ำ

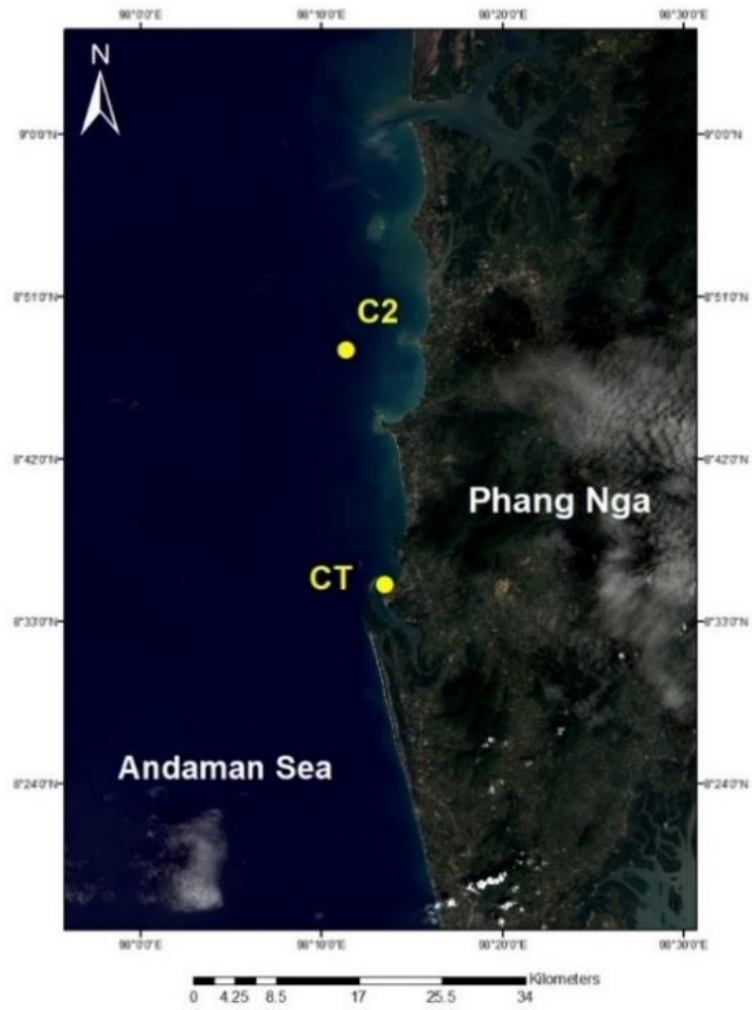
Boonyatumanond, *et al.* (2006; 2007) ศึกษาการปนเปื้อนของ PAHs และหาสาเหตุหลักของแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณคลองที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดอยุธยาถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาจังหวัดสมุทรปราการ และบริเวณชายฝั่งทะเลของไทย จากตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 41 ตัวอย่าง และแท่งตะกอนดินจำนวน 4 แท่ง พบปริมาณ PAHs รวมมีความเข้มข้นเฉลี่ยบริเวณคลองแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเลเท่ากับ 2,290, 251, 178 และ 50 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มลดลงจากแหล่งน้ำที่ใกล้แผ่นดินสู่แหล่งน้ำไกลออกไป และมีแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินทั้งจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และจากการเผาไหม้ โดยมาในรูปแบบฝุ่นจากถนนและดินที่ถูกชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

บทที่ 3

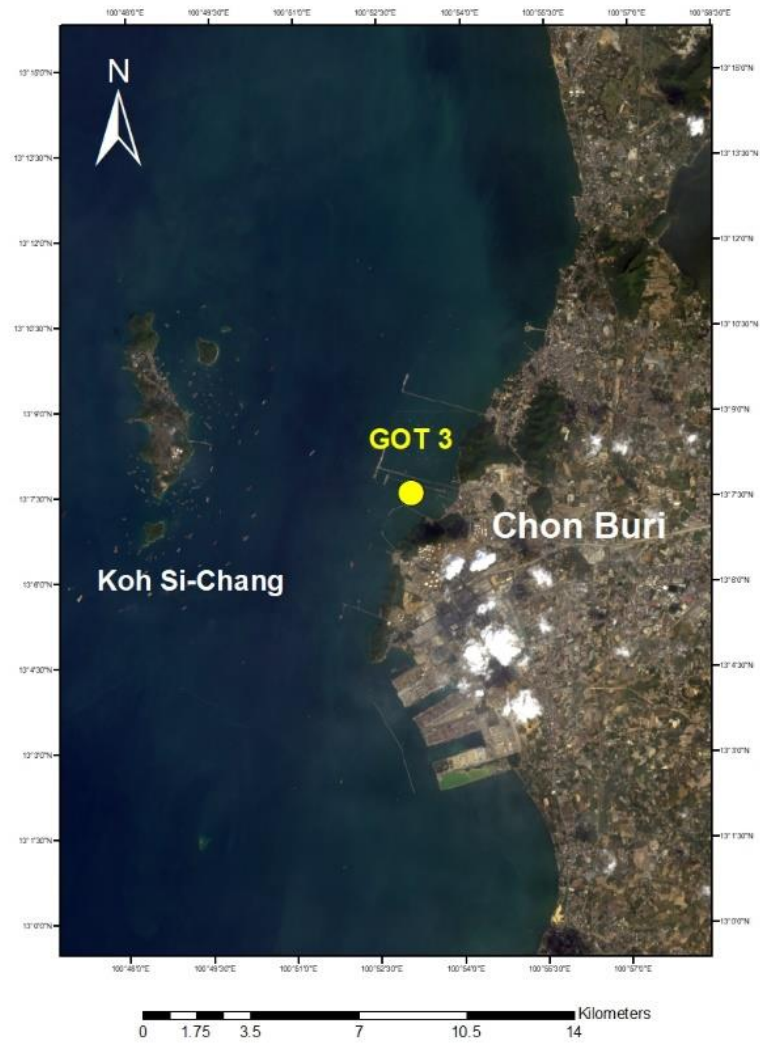
วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs นอกชายฝั่งอันดามัน ดังภาพที่ 3.1 และบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ดังภาพที่ 3.2 ด้วยแท่งเก็บตะกอนดินแบบ Gravity Corer ทำการเก็บตัวอย่างนอกชายฝั่งอันดามันจำนวน 2 แห่งตะกอน จากชายฝั่งทะเลเขาหลัก (C2) ความยาว 44 เซนติเมตร จากบริเวณทับละมุ (CT) ความยาว 24 เซนติเมตร เก็บตัวอย่าง ระหว่างวันที่ 4 ถึง 5 มีนาคม พ.ศ. 2553 และจากบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จำนวน 1 แห่งตะกอนดิน ความยาว 63 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เพื่อนำมา วิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PAHs 15 ชนิด และค่าอัตราการทับถมของตะกอนดิน เพื่อนำไปศึกษา การกระจายตัวเชิงเวลา รวมทั้งระดับการสะสมตัวของ PAHs ที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา ตามคาบเวลาในอดีต และจำแนกแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในนอกชายฝั่งอันดามัน และบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PAHs แหล่งกำเนิดของ PAHs จากกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแนวทางลดผลกระทบ ของการปนเปื้อนของ PAHs



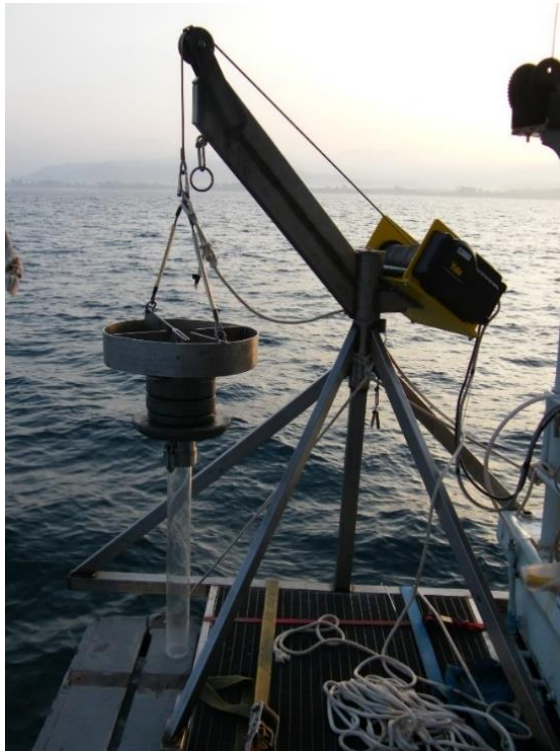
ภาพที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา



ภาพที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วย Gravity Corer ดังภาพที่ 3.3 จากนั้นตัดตะกอนดินทุก 2 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างตะกอนดินในซองอลูมิเนียม แล้วบรรจุในถุงซิปลงแล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างตะกอนดิน (Gravity Corer)

3.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

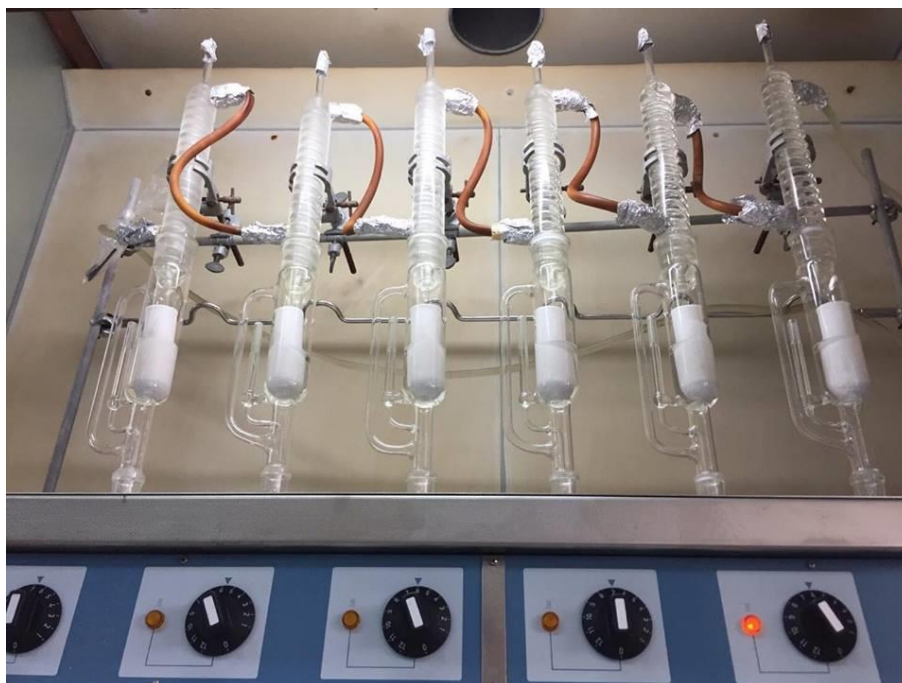
นำตัวอย่างตะกอนดินทำให้แห้งโดยวิธี freeze dry ดังภาพที่ 3.4 เลือกเศษขยะ เศษเปลือกหอยทิ้ง บดตัวอย่างจนละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 250 ไมครอน เพื่อให้ตะกอนร่วนและเป็นเนื้อเดียวกัน ห่อเก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ ก่อนบรรจุในถุงพลาสติก รอการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.4 เครื่อง vacuum freeze dry

3.3.2 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน

ซั่งตะกอนดินแห้งที่ร่อนแล้วประมาณ 5 กรัม ลงใน Cellulose thimble ด้วยเครื่องซั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง สกัดตัวอย่างด้วยวิธี soxhlet extraction ดังภาพที่ 3.5 (Gogou, *et al.*, 1997) โดยใช้ dichloromethane 150 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย และเติมสารละลายผสมของสารมาตรฐาน deuterated-PAHs (ประกอบด้วย Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 1 H-Benzo[a]fluorine, 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[ghi]perylene) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร เพื่อเป็น internal standards สกัดตะกอนดินต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator ดังภาพที่ 3.6 ถ่ายใส่ขวดสีชา แล้วนำไปเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อระเหยตัวทำละลายให้เหลือประมาณ 100-200 ไมโครลิตร เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น hexane ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.5 สกัดตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธี soxhlet extraction



ภาพที่ 3.6 เครื่อง rotary evaporator



ภาพที่ 3.7 เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน

3.3.3 การสกัดแยกส่วน PAHs

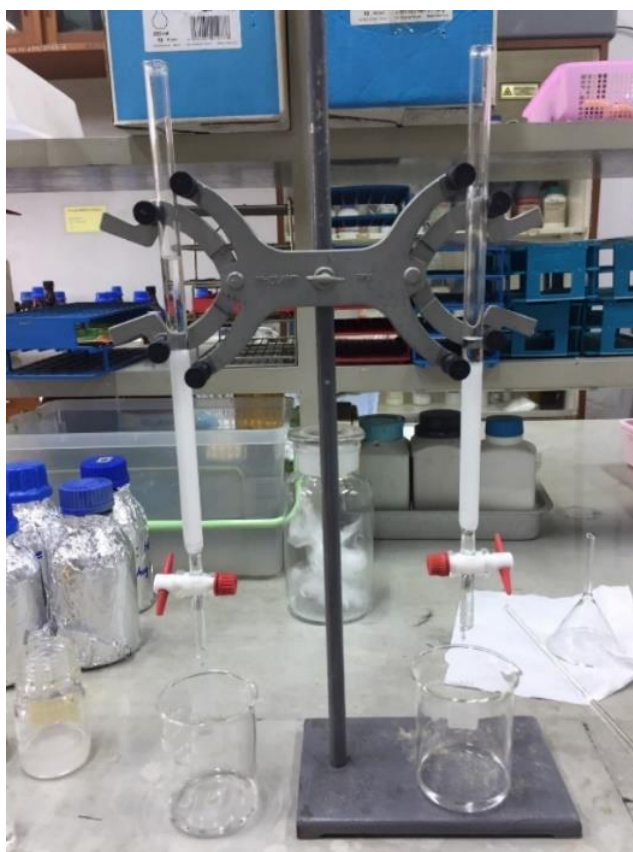
นำสารละลาย hexane ที่ได้ไปสกัดแยกส่วนไฮโดรคาร์บอน และ clean-up ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column Chromatography) โดยใช้ silica gel column ซะด้วยสารละลายผสมระหว่าง hexane:toluene ในสัดส่วน 6:4 เพื่อแยก aliphatic hydrocarbon และ PAHs ออกจากกัน นำสารละลายที่ผ่าน column ไปลดปริมาตรภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator ถ่ายใส่หลอด centrifuge tube และเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายจนเกือบแห้ง เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น cyclo-hexane และปรับปริมาตรให้เป็นประมาณ 100-200 ไมโครลิตร ถ่ายใส่ขวด screw vial ชนิดฝาเป็น silicone septa

วิธีการสกัดแยกส่วน (fractionation) เพื่อแยกสาร PAHs ออกจากสารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดิน โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) นำซิลิกาเจล (silica gel) สำหรับบรรจุในคอลัมน์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C ด้วยเตาเผา Isotemp Programmable muffle Furnace เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น (Desiccator) เพื่อรอบรรจุลงคอลัมน์

2) ทำการ activate โดยซั่ง silica gel ที่อบแล้ว มา 5 กรัม ใส่ในขวด duran นำไปอบที่ 220 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการ deactivate ด้วยการเติมน้ำกลั่น 5% เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ สำหรับผงทองแดง (Copper power) ทำการ activate ทองแดง ด้วยการแช่ใน Conc. HCl คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ตามด้วย methanol, DCM และ hexane อย่างละ 3 ครั้ง แล้วแช่ทิ้งไว้ใน hexane เพื่อไม่ให้สัมผัสอากาศ

3) เตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แก้วที่มีวาล์วปิด-เปิด ปิดปลายส่วนล่างด้วยใยแก้วที่ทำความสะอาดด้วยการเผา 450 °C แล้วเติม hexane ลงไปประมาณครึ่งคอลัมน์แล้วค่อย ๆ เติม silica gel ลงในคอลัมน์จนมีลักษณะชั้นหนืด ปล่อยให้ hexane (ปริมาตรไม่ต่ำกว่าปริมาตรของ hexane ที่บรรจุในคอลัมน์) ดังภาพที่ 3.8 ไหลผ่าน silica gel ระวังอย่าให้คอลัมน์แห้งโดยระดับของ hexane ต้องอยู่เหนือระดับของ silica gel เสมอ ทิ้ง hexane ส่วนนี้



ภาพที่ 3.8 การแยกส่วน (fractionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล (silica gel)

4) ทำให้ silica gel เรียงตัวกันแน่นโดยการเคาะข้างคอลัมน์เบา ๆ ทำการปรับอัตราการไหลของ hexane ให้อยู่ที่ 2 มิลลิลิตร/นาที เติมผงทองแดงที่เตรียมไว้จากข้อ 2) ในคอลัมน์ ปรับรูปทรงโดยเคาะข้าง ๆ คอลัมน์เบา ๆ

5) เมื่อระดับ hexane ในคอลัมน์ใกล้ถึงผงทองแดง ใส่ตัวอย่างลงไปลงในคอลัมน์ เมื่อตัวอย่างมีระดับใกล้ผงทองแดงให้เติม hexane 15 มิลลิลิตร รอจนระดับของ hexane เกือบถึงแนวผงทองแดง จึงเติมตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนกับโทลูอีน (Hexane:Toluene) อัตราส่วน 6:4 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร เพื่อชะสาร PAHs เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ใส่ในขวดกันกลม

6) นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ จากข้อ 5) ไปลดปริมาตรด้วย Rotary evaporator จนมีปริมาตรเหลือ 2 มิลลิลิตร ถ่ายสารเก็บไว้ในหลอดแก้ว ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเป่าเบา ๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจนจนสารละลายเหลือ 0.2-0.3 มิลลิลิตร เติมไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ลงไป 1.5 มิลลิลิตร และลดปริมาตรสุดท้ายให้เท่ากับ 100-200 ไมโครลิตร

7) เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิด และ ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS) รุ่น GCMS-QP2010 Ultra (ภาพที่ 3.9)



ภาพที่ 3.9 เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS)

3.3.4 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS

การวิเคราะห์หาสาร PAHs และความเข้มข้นของสาร 15 ชนิด ด้วยเครื่อง GC-MS รุ่น GCMS-QP2010 Ultra โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS ในการวิเคราะห์ PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	Capillary column รุ่น GC MS-QP2010 Ultra
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มิลลิลิตร/นาที
	อุณหภูมิของ Injector	280 °C
	อุณหภูมิของ Transfer line	280 °C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร (splitless liner)
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion Trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI ⁺)
	พลังงานของอิเล็กตรอน	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIM (Selected Ion Monitoring)

3.4 การคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs

1) Relative Response Factor (RRF)

GC-MS จะตอบสนองปริมาณของ PAHs ในรูปแบบพื้นที่ของพีค กล่าวคือ หากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีความเข้มข้นสูง เครื่องจะตอบสนองโดยการแสดงพีคที่มีปริมาณพื้นที่มาก ในทางกลับกันหากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีความเข้มข้นต่ำ พื้นที่ของพีคที่ออกมาจะน้อยลง ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลตัวเครื่องที่วิเคราะห์ต้องแสดงพื้นที่พีคคงที่ตลอด

$$RRF = \frac{(A_{\text{Nat}}/C_{\text{Nat}})}{(A_{\text{Deut}}/C_{\text{Deut}})} = \frac{(A_{\text{Nat}} \times C_{\text{Deut}})}{(A_{\text{Deut}} \times C_{\text{Nat}})} \quad \text{สมการที่ 1-1}$$

เมื่อ A_{Nat} = พื้นที่พีคของ Native- PAHs
 A_{Deut} = พื้นที่พีคของ Deuterated- PAHs
 C_{Nat} = ความเข้มข้นของ Native- PAHs
 C_{Deut} = ความเข้มข้นของ Deuterated- PAHs

- หากค่าของ RRF = 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs และ Deuterated- PAHs มีค่าเท่ากัน
- หากค่าของ RRF > 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs มีค่าสูงกว่าของ Deuterated- PAHs
- หากค่าของ RRF < 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs มีค่าต่ำกว่าของ Deuterated- PAHs

2) วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard

$$\frac{W_{\text{Nat}}}{W_{\text{Deu}}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deu}}} \quad \text{สมการที่ 1-2}$$

โดยที่ A_{Nat} = พื้นที่พีคของ Native- PAHs ในตัวอย่าง
 A_{Deut} = พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง
 W_{nat} = น้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
 W_{Deut} = น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่พีค (peak) ของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่พีคของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่างมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง (สมการที่ 1-3)

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{\text{RRF}} \times \frac{1}{V}$$

สมการที่ 1-3

- เมื่อ
- C_{Nat} = ความเข้มข้นของ Native- PAHs ในตัวอย่าง (ng m⁻³)
 - A_{Nat} = พื้นที่พีคของ Native- PAHs ในตัวอย่าง
 - A_{Deut} = พื้นที่พีคของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่าง
 - W_{Deut} = น้ำหนักของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่าง (ng)
 - V = ปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บ (m³)
 - RRF = ปัจจัยการตอบสนองเชิงสัมพันธ์ของเครื่องมือวิเคราะห์

3.5 การวิเคราะห์อัตราตกทับถมของตะกอนดินโดยเทคนิควัดกัมมันตรังสี ตะกั่ว-210 (²¹⁰Pb)

การวิเคราะห์อัตราตกทับถมของตะกอนดินโดยเทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสี ตะกั่ว-210 (²¹⁰Pb) นับเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการประเมินการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของ อัตราการทับถมของตะกอนในช่วงระยะประมาณ 100-150 ปี (Krishnaswami, *et al.*, 1980; Benninger, *et al.*, 1997; Fuller, *et al.*, 1999) ตะกั่ว-210 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ในทางด้านสิ่งแวดล้อมนับตั้งแต่ ²¹⁰Po และ ²¹⁰Pb เป็นที่รู้จักในทางสิ่งแวดล้อมทางทะเล (Tateda, *et al.*, 2003) เพื่อตรวจสอบข้อมูลทางธรณีร่วมกับการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ²¹⁰Pb มีค่าครึ่งชีวิต 22.3 ปี (Zuo, *et al.*, 1997) โดยธาตุกัมมันตรังสีตะกั่ว-210 ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดในมหาสมุทรถูกเรียกว่า supported ²¹⁰Pb และเรียกธาตุกัมมันตรังสีตะกั่ว-210 ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดพื้นทวีป หรือแหล่งกำเนิดจากชั้นบรรยากาศว่า unsupported ²¹⁰Pb (Wilkening and Clements, 1975)

บริเวณชายฝั่งทะเลมีการสะสมของ ²¹⁰Pb อยู่เป็นจำนวนมากมาจากเรดอน-222 (²²²Rn) ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวในชั้นบรรยากาศ และถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศในรูปของฝุ่นกัมมันตรังสี (fallout) และมาจากการสลายตัวของเรเดียม-226 (²²⁶Ra) ในตะกอนใต้ทะเลกลายเป็น Radon-222 ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซเคลื่อนที่ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศและ ²²²Rn สลายตัวต่อไปกลายเป็น ²¹⁰Pb มีเวลาของการคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Residence time) ได้นานประมาณ 1 เดือน หรือสั้น

กว่านั้น (Goldberg, *et al.*, 1963) ก่อนจะเคลื่อนย้ายจากชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นทวีปใน 2 ลักษณะ คือ เป็นฝุ่นกัมมันตรังสีตกลงสู่พื้นทวีปโดยตรงและการชะล้างของฝน unsupported ^{210}Pb (Rama, *et al.*, 1961) เมื่อตกลงสู่ทะเลและมหาสมุทร ^{210}Pb จะจับกับพื้นผิวของอนุภาคแขวนลอย และผสมรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับตะกอนตกลงสู่พื้นทะเล (Zuo, *et al.*, 1997)

ค่ากัมมันตภาพรังสีของ ^{210}Pb ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องตามระดับความลึก (Sugai, *et al.*, 1994) สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาอายุของชั้นตะกอนดินร่วมกับการศึกษาเพื่อการ จัดลำดับเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นทวีป

- การวิเคราะห์หาอัตราตกทับถมของตะกอน

ปัจจุบันรูปแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราตกทับถมของตะกอนที่นิยมใช้ อยู่มี 2 รูปแบบ (Kirchner, 2011) ได้แก่ Constant Initial Concentration หรือ Constant flux/constant sedimentation rate model (CIC) และ Constant Rate of Supply หรือ Constant flux model (CRS)

1) Constant Initial Concentration หรือ Constant flux/constant sedimentation rate model (CIC)

แบบจำลองแบบ CIC พัฒนาขึ้นโดย Goldberg (1963) และถูกนำมาใช้เป็น ครั้งแรกโดย Krishnaswamy, *et al.* (1971) แบบจำลองนี้มีข้อสมมติว่า ปริมาณแก๊สกัมมันตรังสี เรดอน-222 (^{222}Rn) ในชั้นบรรยากาศต้องมีค่าคงที่ หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณ ^{210}Pb ที่ตกจากชั้น บรรยากาศสู่พื้นน้ำ หรือ excess ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) มีค่าคงที่ และตลอดช่วงเวลาของการตกทับถม ตะกอนต้องไม่ถูกรบกวนใด ๆ ทั้งจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต นอกจากนั้นปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าสู่ แหล่งน้ำนั้นต้องมีปริมาณคงที่ จากข้อสมมติดังกล่าวข้างต้น ความสัมพันธ์ระหว่าง $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ กับเวลา T เป็นไปดังนี้

$$Ax = A_0e^{-\lambda T}$$

เมื่อ Ax คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ที่ความลึก x เซนติเมตรจากตะกอน ชั้นบนสุด

A_0 คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสี ^{210}Pb ของตะกอนชั้นบนสุด

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) ของ ^{210}Pb มีค่าเท่ากับ 0.0311 ต่อปี

และเมื่อ

$$T = mx / w$$

โดย mx คือ มวลสะสม (Cumulative dry mass) (g/cm^2) จากตะกอนชั้นบนสุด ถึงความลึก x เซนติเมตร

$$w \text{ คือ อัตราตกทับถมของตะกอน } (\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr})$$

ดังนั้น

$$\ln(A_x) = \ln(A_0) - (\lambda / w)mx$$

$$\lambda / w = \ln(A_0 - A_x) / mx = \text{slope}$$

ดังนั้น

w คือ slope / λ ของ Plot ระหว่าง $\ln A_{\text{Pb-210}}$ กับมวลสะสม

2) Constant Rate of Supply หรือ Constant flux model (CRS)

สำหรับแบบจำลอง CRS ถูกพัฒนาขึ้นโดย Goldberg (1963) ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาต่อเนื่อง (Appleby and Oldfield, 1978; 1983) แบบจำลองนี้ใช้ข้อสมมติฐานว่า Flux หรือกัมมันตภาพรังสีต่อหน่วยพื้นที่ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในชั้นบรรยากาศมีค่าคงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในแต่ละชั้นตะกอนจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทับถมของตะกอนเท่านั้น แบบจำลองนี้จึงใช้ได้ดีในตะกอนที่ถูกบกรวดด้วยสภาพอากาศหรือกิจกรรมของมนุษย์ (Mast, *et al.*, 2010) และสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$A(x) = \int_x^\alpha \rho(x)dx$$

และ

$$A(x) = A(0) e^{-\lambda T}$$

เมื่อ

$$T = mx / w$$

ทั้ง 2 แบบจำลองต้องการสมมติฐานที่ว่า อัตราของการตก (Deposition rate) ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ จากชั้นบรรยากาศสู่พื้นน้ำต้องมีอัตราคงที่ (Turekian, *et al.*, 1977; Rangarajan, *et al.*, 1986) และดังนั้นความหนาแน่นเชิงพื้นที่ (Flux density) ของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ที่เข้าจับกับอนุภาคดินก็ควรคงที่ด้วย อย่างไรก็ตามมีผู้พบความแปรปรวนของอัตราการตกจากชั้นบรรยากาศของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในระหว่างปีมีค่าสูงถึง 2 เท่า (Winkler and Rosner, 2000)

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) โดยหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่ากลางของข้อมูล (median) โดยการนำข้อมูล PAHs มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบหลายตัวแปร (Multivariate analysis) คือ

3.6.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบหรือปัจจัย (factor analysis) ทางสถิติของการวิจัยที่มุ่งลดจำนวนตัวแปรที่มีอยู่มาก เนื่องจากตัวแปรที่มีบางตัวมีลักษณะหรือมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน จะถูกจัดรวมกลุ่มเดียวกัน ส่วนตัวแปรบางตัวไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มตัวแปรในลักษณะนี้ได้จึงต้องตัดทิ้งไป ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรืออันตรภาค (interval scale) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบมีเหตุผลให้ได้จำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุด เพื่ออธิบายความผันแปรของข้อมูล ดังนั้นในการวิเคราะห์จะเป็นการศึกษาลักษณะการรวมกลุ่มตัวแปรในลักษณะเชิงเส้นตรง (linear combination) (ยุทธ ไกยวรรณ, 2556) โดยสมการเส้นตรงแต่ละเส้นจะมีหน้าที่ในการรวบรวมรายละเอียดตัวแปรจำนวนมากเข้าด้วยกันเพื่อให้ง่ายในการอธิบายเป็นองค์ประกอบโดย

- องค์ประกอบที่ 1 จะเป็นสมการเส้นตรงแรกที่มีรายละเอียดตัวแปรมากที่สุด จึงส่งผลให้มีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุด
- องค์ประกอบที่ 2 จะเป็นสมการเส้นตรงที่รวมรายละเอียดที่เหลือจากองค์ประกอบที่ 1 มากที่สุด ซึ่งองค์ประกอบที่ 2 จะต้องตั้งฉาก (Orthogonal) กับองค์ประกอบที่ 1 หมายความว่าองค์ประกอบที่ 2 จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่ 1 เพื่อป้องกันการเกิดปัญหา Multicollinearity
- องค์ประกอบที่ 3 มีหลักเกณฑ์คือ เป็นสมการเส้นตรงที่รวมรายละเอียดที่ไม่ซ้ำกับองค์ประกอบก่อนหน้าและสามารถรวมรายละเอียดได้มากที่สุด

การศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของสาร โดยใช้โปรแกรม SPSS 20.0 เลือกใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1.0 โดยหมุนแกนปัจจัย (Factor Rotation) แบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธีแวนิแมกซ์ (Varimax Method)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและบทวิจารณ์

4.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS

ค่า retention time ของสารมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr, 11H-B(a)F, 11H-B(b)F, B[a]A, Chry, B[b]F, B(k)F, B(e)P, B(a)P, Ind, D(a,h)A และ B(g,h,i)P รวมทั้ง internal standard ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Deuterated-Acenaphthene (D10-Ace), Deuterated-Fluorene (D10-FU) และ Deuterated-Perylene (D12-Per) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard

PAHs	สัญลักษณ์	มวลโมเลกุล	Retention Time (sec)
Standard PAHs			
Phenanthrene	Phe	178	21.46
Anthracene	An	178	21.61
Fluoranthene	Fluo	202	25.02
Pyrene	Pyr	202	25.67
11H-Benzo[a]fluorene	11H-B[a]F	216	26.73
11H-Benzo[b]fluorene	11H-B[b]F	216	26.93
Benz[a]anthracene	B[a]A	228	29.29
Chrysene	Chry	228	29.39
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	252	32.30
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	252	32.37
Benzo[e]pyrene	B[e]P	252	32.99
Benzo[a]pyrene	B[a]P	252	33.12

ตารางที่ 4.1 Retention time ของสารมาตรฐาน PAHs และ Internal standard (ต่อ)

PAHs	สัญลักษณ์	มวลโมเลกุล	Retention Time (sec)
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	Ind	276	36.18
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	276	37.03
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	278	36.289
Internal Standard PAHs			
Acenaphthene-d10	D10-Ace	164	16.97
D10-Fl	D10-Fl	176	18.53
Perylene-D12	D12-Per	264	33.27

4.2 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์หาสาร PAHs

จากผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b organic in marine sediment เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ ได้ค่าเฉลี่ยของ PAHs ประกอบด้วย 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 ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับสารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

SRM	CODE	N	ค่าที่กำกับมา (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	%ค่าความถูกต้อง
Phenanthrene	Phe	6	406±44	455±17	112.06
Anthracene	An	6	184±18	151±4.7	82.23
Fluoranthene	Fluo	6	651±50	678±26	104.16
Pyrene	Pyr	6	581±39	516±20	88.86
Benz[a]anthracene	B[a]A	6	335±25	198±21	59.01
Chrysene	Chry	6	291±31	302±27	103.77
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	6	453±21	491±329	108.43
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	6	225±18	201±17	89.29
Benzo[e]pyrene	B[e]P	6	325±25	407±13	125.20
Benzo[a]pyrene	B[a]P	6	335±25	214±15	63.96
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	Ind	6	341±57	348±25	102.12
Dibenz[a,h]anthracene	D[a,h]A	6	53±10	35±4.7	65.47
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	6	307±45	146±10	47.59

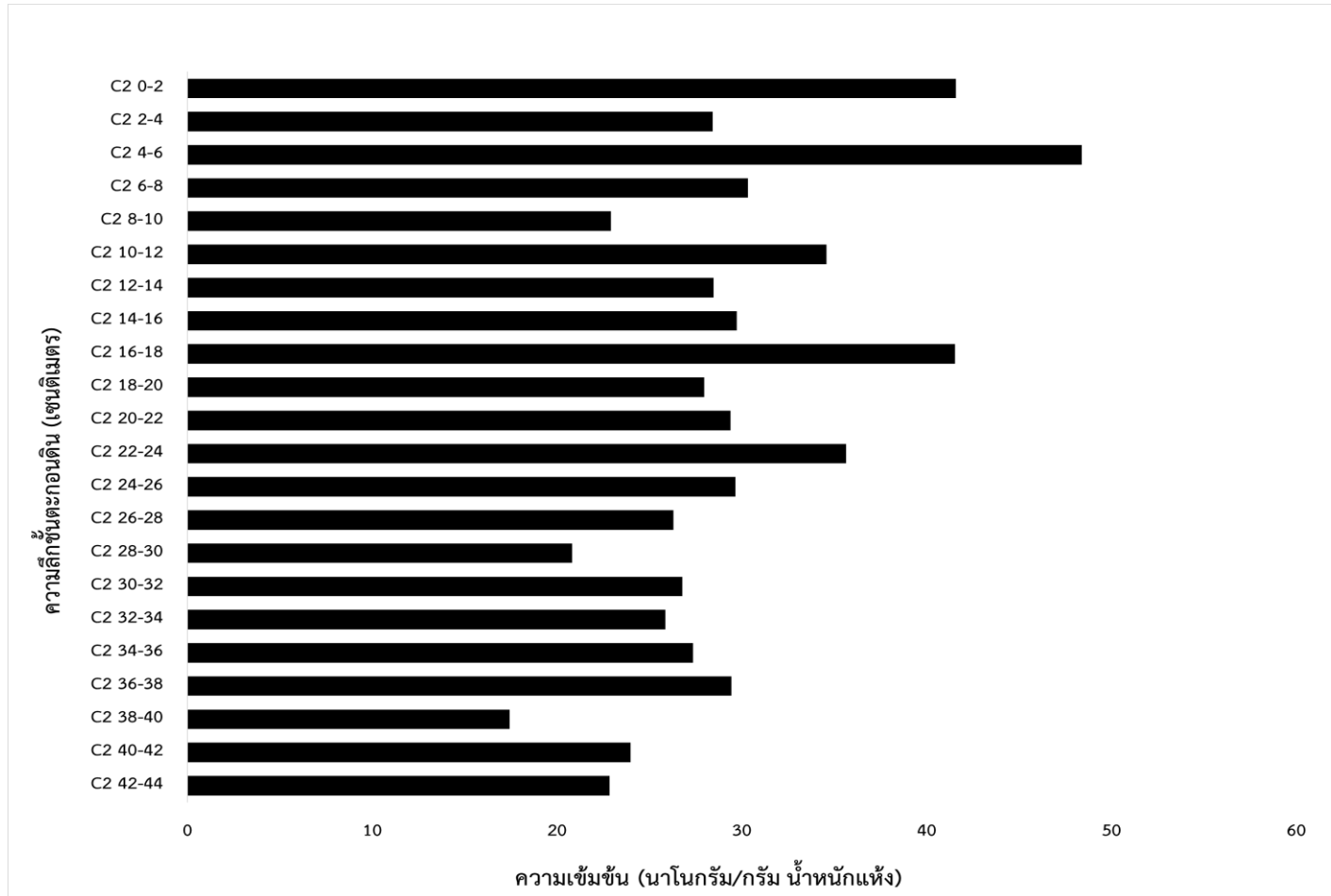
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแท่งตะกอนดิน เพื่อหาชนิดและค่าความเข้มข้นของ PAHs 15 ชนิด ได้แก่ Phe, An, Fluo, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P พบการปนเปื้อนของ PAHs เกือบทุกตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของชนิดและระดับความเข้มข้นของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน ดังนี้

4.3 การปนเปื้อนของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน

4.3.1 ตัวอย่างแท่งตะกอนดิน บริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน

ผลการศึกษาตัวอย่างแท่งตะกอนดิน บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จำนวน 1 แท่งตะกอนดิน (C2) ความยาว 44 เซนติเมตร ตัดตะกอนดินได้จำนวน 22 ตัวอย่าง พบว่าค่าความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด (Σ PAHs₁₅) อยู่ในช่วง 17.4-48.4 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 4-6 เซนติเมตร อาจเนื่องมาจากบริเวณ

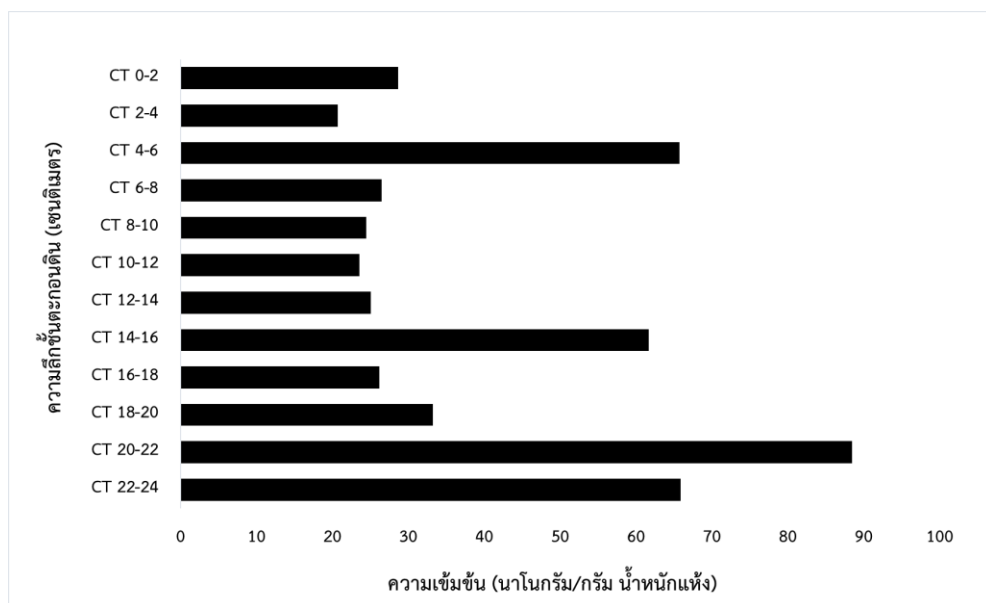
พื้นที่เขาหลักได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์คลื่นสึนามิในปี 2004 บริเวณมหาสมุทรอินเดีย เหตุการณ์เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อชายฝั่งทะเล (Bell, *et al.*, 2005; Tipmanee, *et al.*, 2012) เป็นสาเหตุให้ตะกอนจากแผ่นดินถูกชะลงสู่ทะเลเป็นจำนวนมาก ตะกอนถูกพัดพาด้วยความแรงของคลื่นไปตกสะสมอยู่ในตะกอนดิน (Siripong, 2006) หรืออาจมีสาเหตุมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยวบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นในภาคธุรกิจการท่องเที่ยว เช่น โรงแรมที่พัก รถโดยสาร และเรือนำเที่ยว เป็นต้น ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการท่องเที่ยว ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs เพิ่มขึ้นสูงในชั้นตะกอนนี้ และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนลึก 38-40 เซนติเมตร โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 ± 7.21 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ดังภาพที่ 4.1 พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีต เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดจากการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นจากอดีตจนถึงปี 2010 ที่ทำการเก็บตัวอย่างแท่งตะกอนดิน ความเข้มข้นของ PAHs ที่ตรวจพบในแท่งตะกอนดิน คาดว่าเกิดจากกิจกรรมการท่องเที่ยวบริเวณเขาหลักที่เพิ่มมากขึ้นจากอดีต ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของ PAHs จากรถโดยสารและเรือท่องเที่ยวที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.1 ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน C2 จากชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

4.3.2 ตัวอย่างแท่งตะกอนดิน บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา

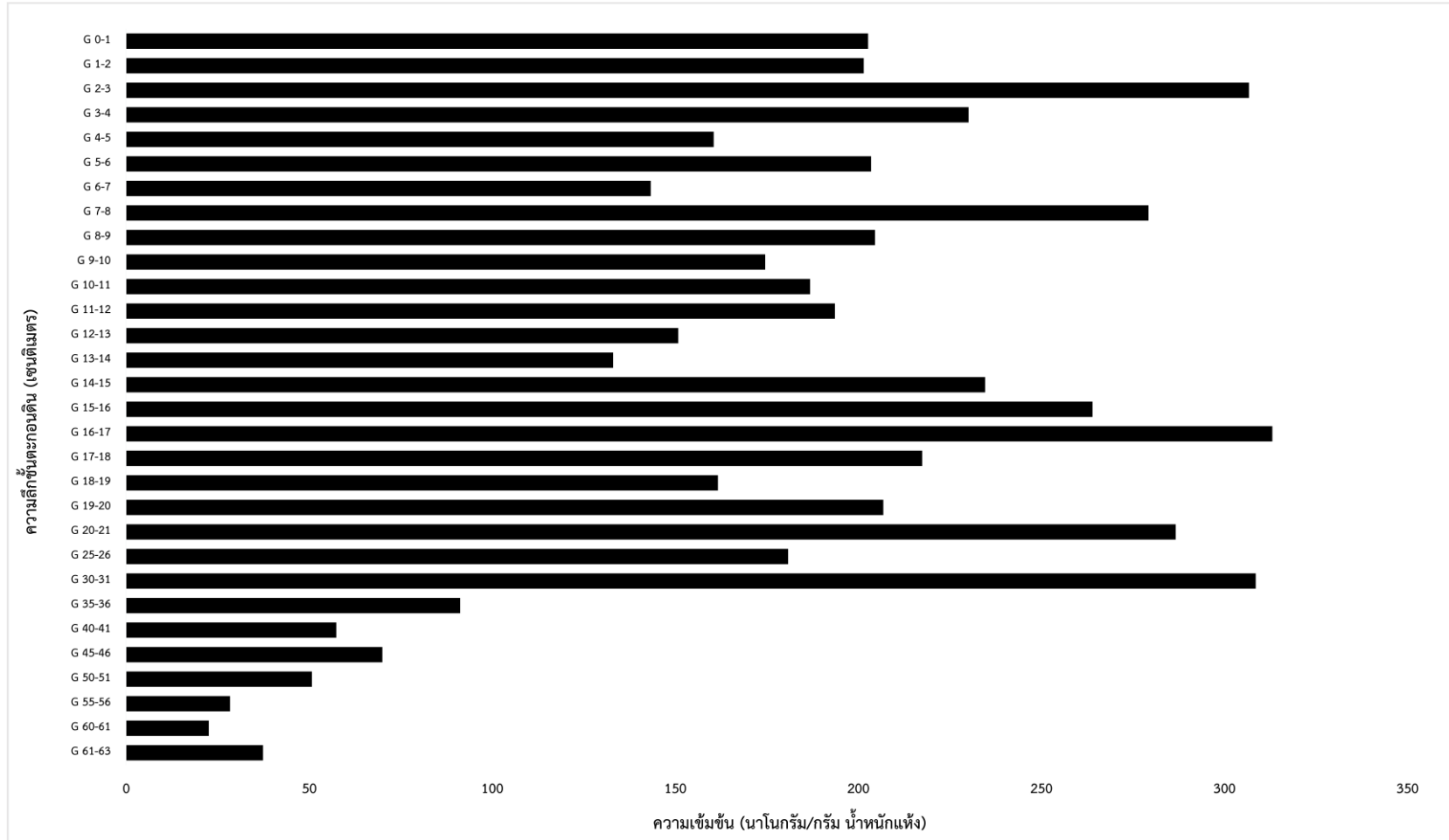
ในส่วนของผลการศึกษาดูตัวอย่างแท่งตะกอนดินพบว่า ค่าความเข้มข้นของ PAHs บริเวณทับละมุ จำนวน 1 แท่งตะกอนดิน (CT) มีความยาว 24 เซนติเมตร ตัดตะกอนดินได้จำนวน 12 ตัวอย่าง มีค่าความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด อยู่ในช่วง 20.8-88.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 20-22 เซนติเมตร อาจมีเหตุการณ์บางอย่างที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงที่ความลึกของตะกอนดินในชั้นนี้ และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนลึก 2-4 เซนติเมตร โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 40.8 ± 23.0 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ดังภาพที่ 4.2 พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน บริเวณทับละมามีค่าสูงกว่าบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก เนื่องจากจากจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณทับละมุตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ใกล้กับท่าเรือทับละมุ ที่ใช้รับส่งนักท่องเที่ยวไปยังหมู่เกาะต่าง ๆ เช่น หมู่เกาะสิมิลัน เกาะสุรินทร์ เป็นต้น และมีเรือประมงในพื้นที่ใช้สอยท่าเทียบเรือเพื่อขนส่งสัตว์น้ำที่จับได้จึงทำให้การใช้งานท่าเทียบเรือทับละมามีสภาพแออัด ใช้งานไม่สะดวก โดยมีส่วนสาเหตุจากความต้องการใช้พื้นที่บนบก เช่น ลานจอดรถยนต์โดยสาร การจัดพื้นที่พาณิชย์ (ร้านค้า) การขึ้นลงเรือของผู้โดยสาร และจากการใช้พื้นที่ในน้ำ เช่น ขนาดและจำนวนเรือที่สามารถเข้าท่าเทียบ พื้นที่จอดพักคอย และพื้นที่เติมน้ำมัน (กรมเจ้าท่า, 2561) และยังอยู่ใกล้ฐานทัพเรือภาคที่ 5 ซึ่งมีกิจกรรมที่เกิดจากฐานทัพเรือ อาจเป็นสัญญาณที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs บริเวณทับละมามีค่าสูงกว่าบริเวณเขาหลัก



ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน CT บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา

4.3.3 ตัวอย่างแท่งตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ผลการศึกษาตัวอย่างแท่งตะกอนดินพบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จำนวน 1 แท่งตะกอนดิน (GOT) ความยาว 63 เซนติเมตร ตัดแบ่งตะกอนดินได้ 30 ตัวอย่าง มีค่าความเข้มข้นของ PAHs อยู่ในช่วง 22.6-313 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 16-17 เซนติเมตร อาจมีสาเหตุมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจในช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นและรวมถึงการสร้างท่าเรือเพื่อรองรับการขนส่งที่เพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนลึก 60-61 เซนติเมตร โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 177 ± 85.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง ดังภาพที่ 4.3 พบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มีค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงกว่านอกชายฝั่งอันดามัน เนื่องจากพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นพื้นที่จอดเรือขนาดใหญ่ และเรือบรรทุกน้ำมัน เป็นพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และยังเป็นท่าเรือส่งออกสินค้า ทำให้ในแต่ละวันจะมีเรือสินค้าเข้าออกเป็นจำนวนมากเพื่อขนถ่ายสินค้า ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูง เนื่องจากกิจกรรมมนุษย์ที่แตกต่างกันในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในแท่งตะกอนดิน GOT บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

4.4 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตะกอนดิน

4.4.1 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก

จังหวัดพังงา

สาร PAHs แต่ละชนิดที่พบในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน C2 จากชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา พบชนิดของ PAHs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ Phe รองลงมาคือ An เป็น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังตารางที่ 4.3 โดยแหล่งที่มาอาจมาจากน้ำทิ้งหรือสิ่งปฏิกูลจากชุมชน โรงแรมที่พัก การรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง การรั่วไหลของน้ำมันจากเรือ (Macias-Zamora, *et al.*, 2002; Hu, *et al.*, 2010) เนื่องจากบริเวณเขาหลักเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง และเป็นที่ตั้งของรีสอร์ท โรงแรมเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

PAHs	C2	
	ความเข้มข้นของ PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ค่าเฉลี่ย
Phe	2.52-10.2	5.26
An	3.07-9.55	4.95
Fluo	2.14-7.27	3.82
Pyr	1.96-8.10	3.85
11H-B[a]F	0.48-1.27	0.69
11H-B[b]F	0.39-1.50	0.72
B[a]A	0.66-3.41	2.10
Chry	0.72-3.47	2.16
B[b]F	0.32-3.18	1.34
B[k]F	0.32-3.30	1.38
B[e]P	0.59-2.42	1.18
B[a]P	0.61-2.48	1.21

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเล
เขาหลัก จังหวัดพังงา (ต่อ)

PAHs	C2	
	ความเข้มข้นของ PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ค่าเฉลี่ย
Ind	0.17-1.41	0.47
B[g,h,i]P	0.15-0.79	0.33
D[a,h]A	0-0.19	0.03
ΣPAHs	17.4-48.4	29.5

4.4.2 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา

สาร PAHs แต่ละชนิดที่พบในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน CT จากทับละมุ จังหวัดพังงา พบชนิดของ PAHs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ B[b]F รองลงมาคือ B(a)P เป็น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ มีแนวโน้มที่จะจมลงสู่พื้นผิวตะกอน (Luo, *et al.*, 2008a,b; Parinos, *et al.*, 2013; Liu, *et al.*, 2014) โดยมีแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของปิโตรเลียม (Xu, *et al.*, 2007; Fu, *et al.*, 2009) เนื่องจากพื้นที่บริเวณทับละมุเป็นที่ตั้งของท่าเทียบเรือทับละมุที่ไว้รับส่งนักท่องเที่ยวไปยังหมู่เกาะต่าง ๆ หรือท่าเรือประมงที่ใช้สำหรับขนส่งสัตว์น้ำ ทำให้มีจำนวนเรือเข้าออกในแต่ละวันมีความหนาแน่น ส่งผลให้พบ PAHs ที่มีวงเบนซิน 5 วงค่อนข้างเยอะกว่าชนิดอื่น ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณท่าบลูมู จังหวัดพังงา

PAHs	CT	
	ความเข้มข้นของ PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ค่าเฉลี่ย
Phe	1.8-8.75	4.13
An	1.72-8.28	3.80
Fluo	1.11-4.22	2.25
Pyr	1.6-6.91	3.23
11H-B[a]F	0.67-3.06	1.72
11H-B[b]F	0.35-2.93	1.68
B[a]A	0.19-2.88	1.53
Chry	0.77-3.02	1.67
B[b]F	1.07-12.14	4.65
B[k]F	1.09-12.32	4.37
B[e]P	0.89-12.37	4.49
B[a]P	0.76-12.38	4.54
Ind	0.37-13.64	1.97
B[g,h,i]P	0.26-2.61	0.80
D[a,h]A	N.D	N.D
ΣPAHs	20.7-88.5	40.8

4.4.3 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิด บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

สาร PAHs แต่ละชนิดที่พบในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน GOT จากบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบชนิดของ PAHs ที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ B(k)F รองลงมาคือ B(b)F เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างมีกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในเชิงอุตสาหกรรม ส่งผลให้ชนิดของ PAHs

ส่วนใหญ่เป็น PAHs ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากกิจกรรมการเดินเรือที่หนาแน่นในพื้นที่ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

PAHs	GOT	
	ความเข้มข้นของ PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	ค่าเฉลี่ย
Phe	3.11-23.8	10.8
An	2.93-22.3	10.2
Fluo	2.57-33.5	16.2
Pyr	2.18-28.1	16.1
11H-B[a]F	0.62-6.66	3.38
11H-B[b]F	0.41-7.25	3.63
B[a]A	1.51-23.9	11.7
Chry	1.57-24.8	12.2
B[b]F	1.27-41.6	21.7
B[k]F	1.27-42.8	22.1
B[e]P	0.80-30.4	16.0
B[a]P	0.85-31.1	16.3
Ind	0.60-20.6	10.6
B[g,h,i]P	0.42-10.0	5.52
D[a,h]A	0.05-2.62	1.26
ΣPAHs	22.6-313	178

เมื่อเปรียบเทียบค่า ΣPAHs นอกชายฝั่งอันดามันและบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในแท่งตะกอนดินบริเวณชายอ่าวไทยฝั่งตะวันออกมีค่าสูงกว่านอกชายฝั่งอันดามันเนื่องจากกิจกรรมทางน้ำที่เกิดขึ้นจากมนุษย์มีความแตกต่างกัน โดยบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงาส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมทางน้ำเชิงการท่องเที่ยว แต่ในบริเวณอ่าวไทยตอนใน

ฝั่งตะวันออก กิจกรรมทางน้ำส่วนใหญ่เป็นเชิงอุตสาหกรรม ทำให้กิจกรรมทางน้ำบริเวณนี้ค่อนข้างหนาแน่นกว่า แต่มีค่าต่ำกว่าในสหรัฐอเมริกา ไอซ์แลนด์ และจีนที่เป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรม แต่พบว่ามีค่าสูงกว่าประเทศโมร็อกโกและอ่าว Bohai ในประเทศจีน เนื่องจากมีข้อตกลงที่ได้มีการกำหนดใช้ในพื้นที่นี้จึงทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลงจากอดีตที่ผ่านมา ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด ของ Σ PAHs ในแท่งตะกอนดินกับการศึกษาในต่างประเทศ

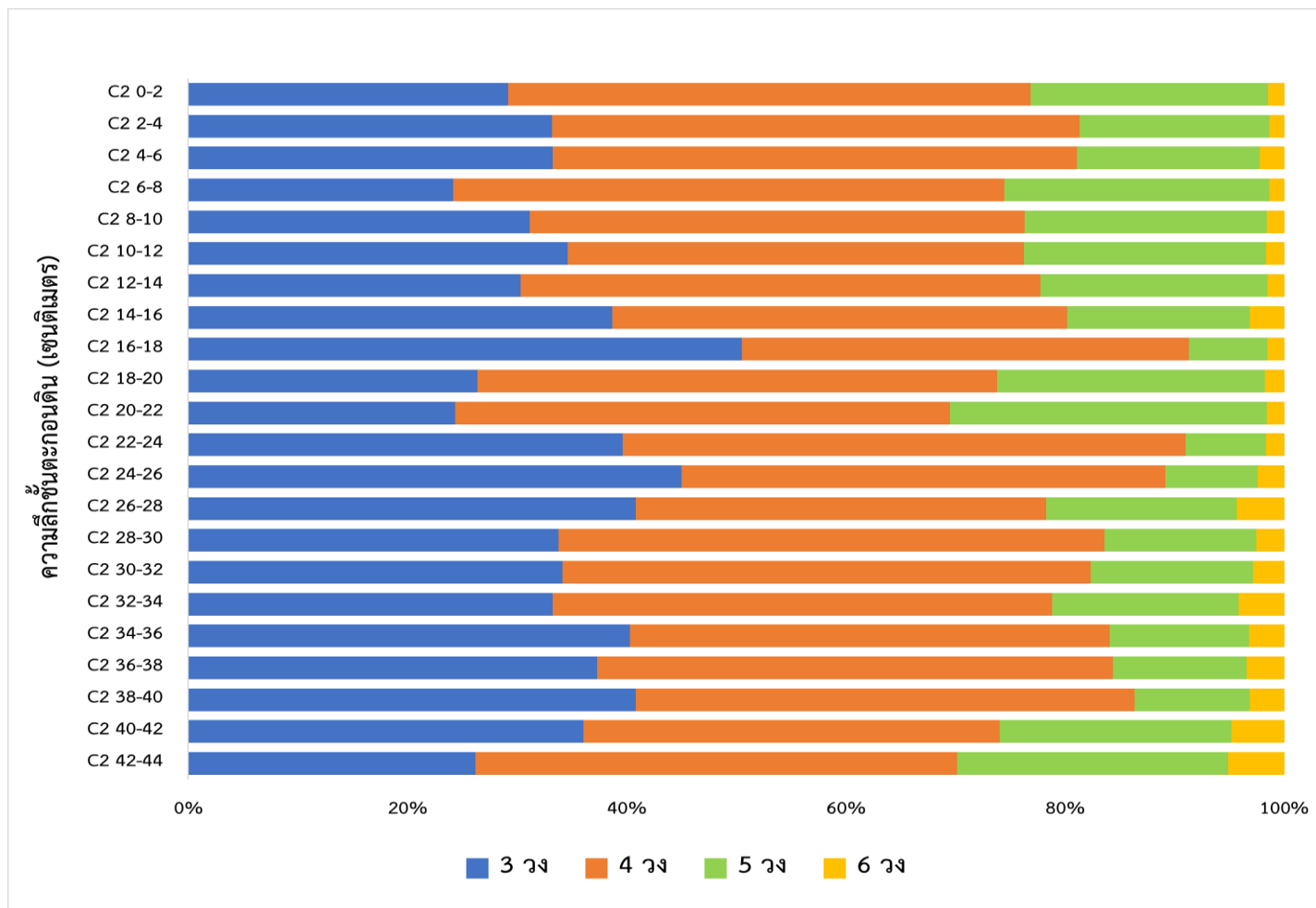
พื้นที่ศึกษา	ค่าความเข้มข้นรวมของ	
	PAHs (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	เอกสารอ้างอิง
Khaolak area, Phang Nga	17.4-48.4	การศึกษาครั้งนี้
Thub lamu, Phang Nga	20.8-88.5	การศึกษาครั้งนี้
Eastern inner the eastern inner Gulf of Thailand	22.6-313	การศึกษาครั้งนี้
Nador Lagoon, Morocco	21.6-108	Giuliani, <i>et al.</i> , 2015
Bohai Sea, China	34.2-202	Hu, <i>et al.</i> , 2011
Haizhou Bay, China	72.5-805	Zhang, <i>et al.</i> , 2013
Deep Bay, South China	98.0-674	Qiu, <i>et al.</i> , 2009
Admiralty Bay, Island	46.9-455	Martins, <i>et al.</i> , 2010
San Francisco Bay, CA, USA	320-9,500	Nilsen, <i>et al.</i> , 2015

4.5 แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยการวิเคราะห์ตามองค์ประกอบ

4.5.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ PAHs พบว่า การกระจายตัวของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4-6 วง ได้แก่ Fluo, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง

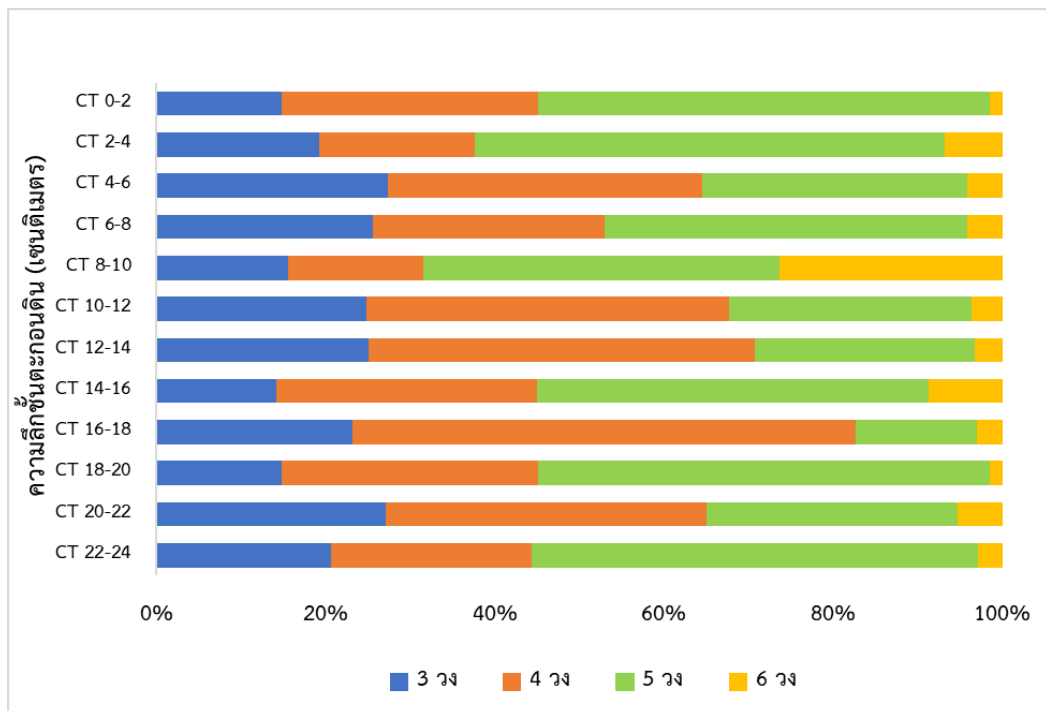
เกี่ยวกับถ่านหินและปิโตรเลียม เช่น การเผาไหม้ในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Khalili, *et al.*, 1995; Harrison, *et al.*, 1996; Guo, *et al.*, 2007) สำหรับ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 2-3 วง ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น การเผาไหม้ชีวมวลในครัวเรือน และโรงงานขนาดเล็ก (Mai, *et al.*, 2003; Guo, *et al.*, 2006; 2007; Wang, *et al.*, 2009) ได้แก่ Phe และ An ในปริมาณต่ำ ดังภาพที่ 4.4 แต่พบว่าในชั้นตะกอนลึก 16-18 เซนติเมตร พบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 3 วง สูงกว่าในชั้นตะกอนอื่นก่อนหน้านี้ เนื่องจากบริเวณพื้นที่เขาหลักได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์คลื่นสึนามิในปี 2004 บริเวณมหาสมุทรอินเดีย เหตุการณ์เหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อชายฝั่งทะเล (Bell, *et al.*, 2005; Giczucinski, *et al.*, 2006; Tipmanee, *et al.*, 2012) อาจเป็นสาเหตุที่มีการกวาดเอา PAHs bounded particles ลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล



ภาพที่ 4.4 องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน C2 บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

4.5.2 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณตำบลมุ จังหวัดพังงา

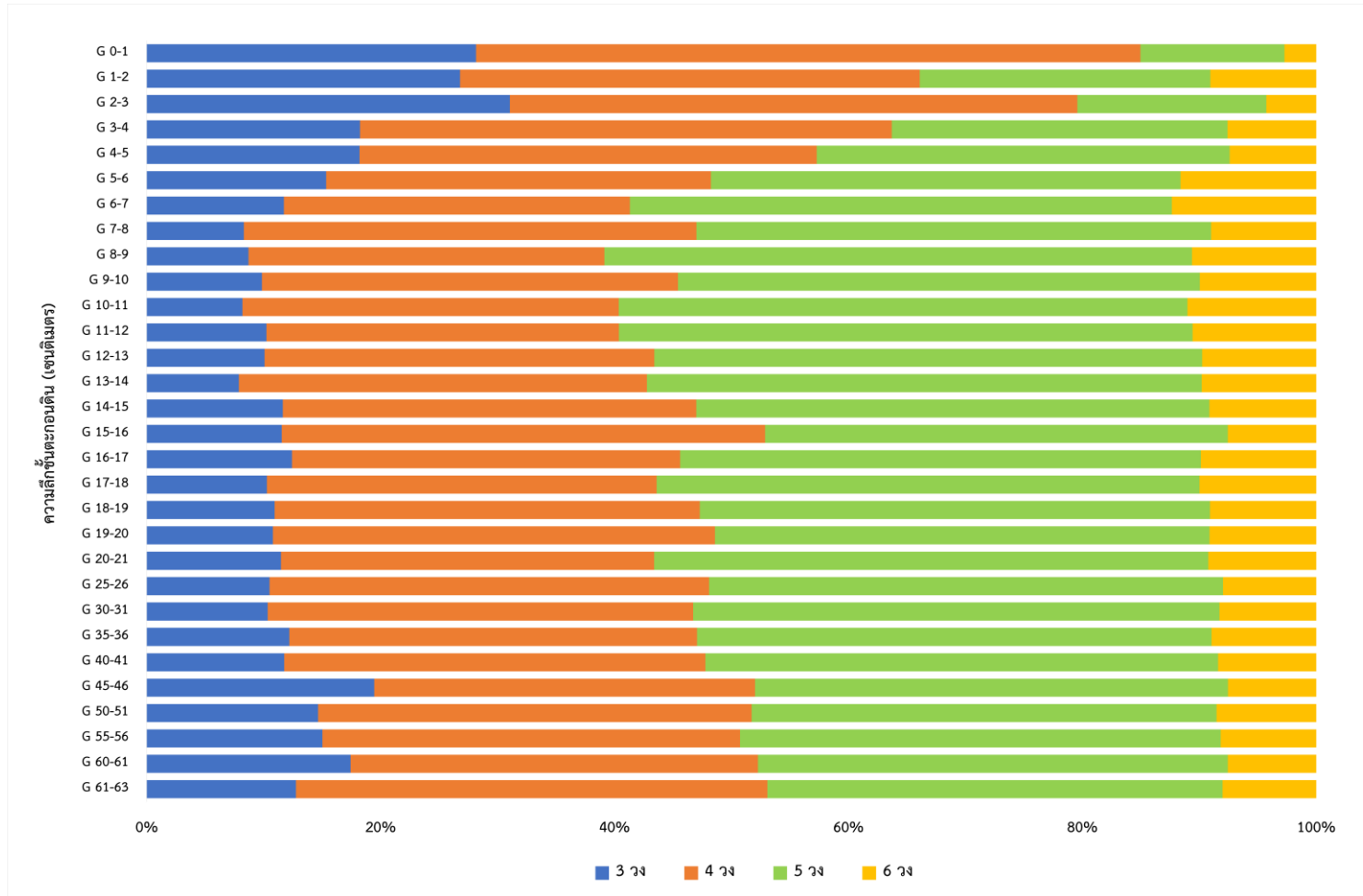
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ PAHs พบว่าการกระจายตัวของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน บริเวณตำบลมุ ดังภาพที่ 4.5 พบว่าตัวอย่างตะกอนดินส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4-6 วง ได้แก่ Fluor, Pyr, 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[a]A, Chry, B[b]F, B[k]F, B[e]P, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Yunker, *et al.*, 2002) อาจมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงบนแผ่นดิน เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณตำบลมุ อยู่ใกล้กับท่าเรือตำบลมุ ท่าเรือประมง และฐานทัพเรือภาคที่ 5 ทำให้เกิดการตกทับถมของตะกอนอยู่ในบริเวณโดยรอบ และจากการวิเคราะห์พบว่าในชั้นตะกอนลึก 8-10 เซนติเมตร พบ PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 6 วง สูงกว่าในชั้นตะกอนอื่น ได้แก่ Ind และ B[g,h,i]P เป็นชนิดหลักของ PAHs ที่มาจากการใช้เชื้อเพลิงของน้ำมันเบนซีน (Yang, *et al.*, 1998; Harrison, *et al.*, 1996)



ภาพที่ 4.5 องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน CT บริเวณตำบลมุ จังหวัดพังงา

4.5.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของ PAHs พบว่าการกระจายตัวของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน ส่วนใหญ่มีเป็น PAHs ที่มีวงเบนซีน 4-6 วง เป็น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงที่เกี่ยวกับถ่านหินและปิโตรเลียม เช่น การเผาไหม้ในโรงไฟฟ้าถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเหลว โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Khalili, *et al.*, 1995; Harrison, *et al.*, 1996; Guo, *et al.*, 2007) เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จำนวนมาก และยังเป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง เป็นท่าเรือที่รองรับเรือขนาดใหญ่ที่ขนส่งสินค้าแบบเทกองและแบบตู้ขนส่งสินค้า ส่งผลให้ในแต่ละวันจะมีเรือสินค้าจำนวนมากมาจอดเพื่อขนถ่ายสินค้า รวมทั้งมีการเดินเรือโดยสารข้ามฟาก ทำให้กิจกรรมทางน้ำบริเวณนี้ค่อนข้างหนาแน่น และพบ PAHs ที่มีวงเบนซีน 3 วงค่อนข้างน้อยคือ Phe ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิต่ำ (Bixian, *et al.*, 2001) ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 องค์ประกอบของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน GOT บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

4.6 แหล่งกำเนิดของ PAHs โดยการวิเคราะห์ตามอัตราส่วนความสัมพันธ์

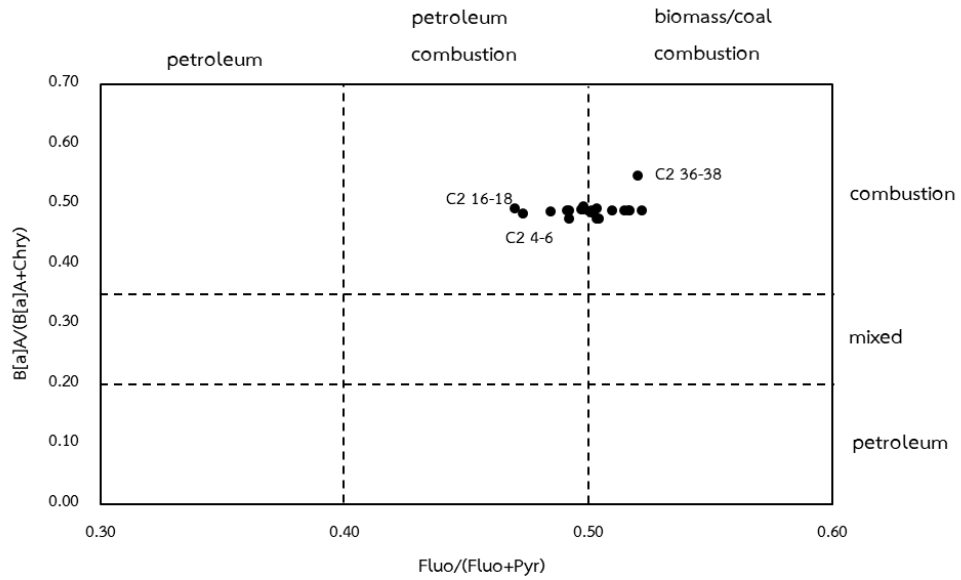
การระบุแหล่งกำเนิดของ PAHs สามารถจำแนกได้ตามอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs แต่ละชนิด (source diagnostic ratios) ในตัวอย่างตะกอนดิน เพื่อระบุแหล่งกำเนิดจาก 2 แหล่ง คือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic source) และจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic source) โดยแหล่งกำเนิดจาก pyrogenic และ petrogenic สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์และจากธรรมชาติ (Smirnov, *et al.*, 1998; Stout, *et al.*, 2001; Latimer, and Zheng, 2003) ในการระบุแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยใช้ การวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของไอโซเมอร์ (diagnostic ratio) ของ PAHs แต่ละชนิด เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน (Manoli, *et al.*, 2004)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ไอโซเมอร์ของ PAHs (isomer ratios) 3 คู่ไอโซเมอร์ ได้แก่ B[a]A/(B[a]A+Chry), Fluo/(Fluo+Pyr) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) เพื่อหาแหล่งกำเนิดของ PAHs ในตะกอนดิน คำนวณได้จาก (Yunker, *et al.*, 2002; Mai, *et al.*, 2003; Guo, *et al.*, 2006) โดย Fluo/(Fluo+Pyr) มีค่า <0.4 มีแหล่งกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม 0.4-0.5 เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (liquid fossil fuel combustion) และ >0.5 เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินหรือชีวมวล (coal/biomass combustion) B[a]A/(B[a]A+Chry) มีค่า <0.2 เกิดจากปิโตรเลียม 0.2-0.35 เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม และ >0.35 เกิดจากการเผาไหม้ และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) มีค่า <0.2 เกิดจากปิโตรเลียม 0.2-0.5 เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม และ >0.5 เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหิน หญ้า และไม้

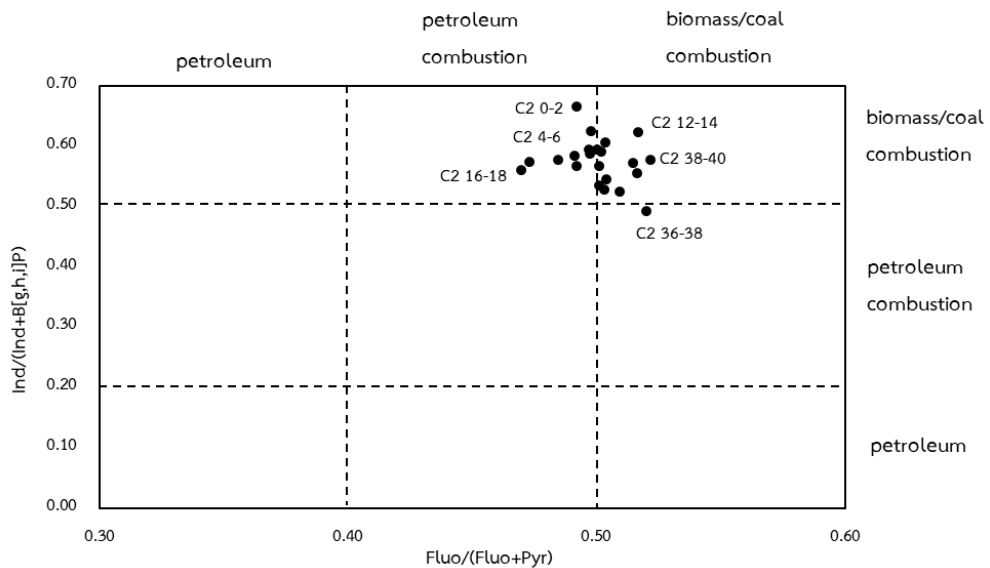
4.6.1 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน พบว่าการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) ดังภาพที่ 4.7 (ก) มีแหล่งกำเนิดของ PAHs จากคู่ไอโซเมอร์ B[a]A/(B[a]A+Chry) มาจากการเผาไหม้ ในส่วนคู่ไอโซเมอร์ Fluo/(Fluo+Pyr) มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยรวมส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล และในส่วนของ การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) จากคู่ไอโซเมอร์ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) พบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล และจากคู่ไอโซเมอร์ Fluo/(Fluo+Pyr) มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิง

ซีมวล เมื่อนำมาพิจารณาแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยรวมส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงซีมวล ดังภาพที่ 4.7 (ข)



(ก)

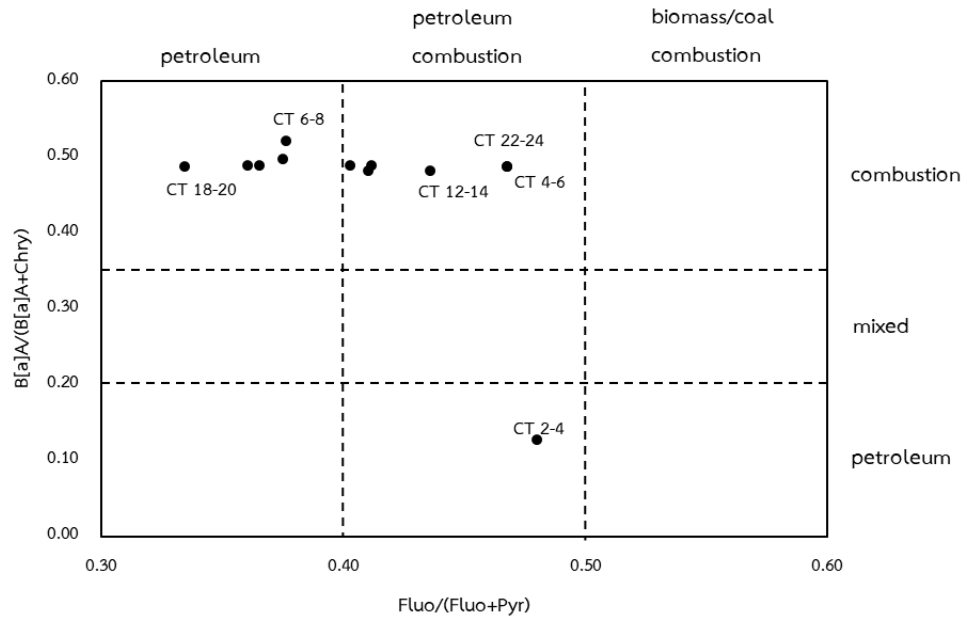


(ข)

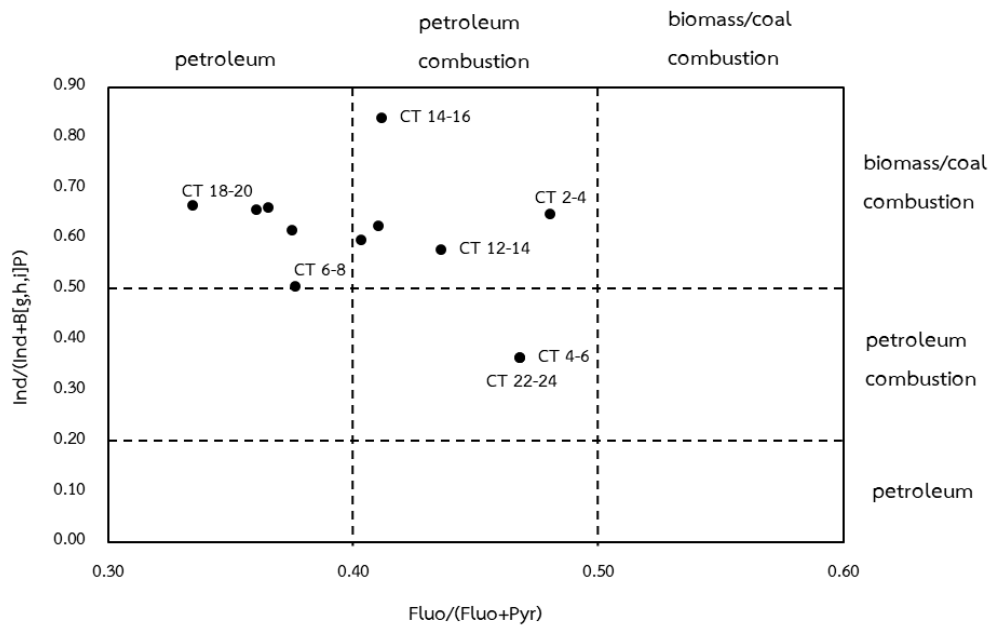
ภาพที่ 4.7 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน C2 $B[a]A/(B[a]A+Chr)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ (ก) และ $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ (ข)

4.6.2 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณตำบลมู จังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน พบว่าการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ดังภาพที่ 4.8 (ก) มีแหล่งกำเนิดของ PAHs จากคู่อิโอโซเมอร์ $B[a]A/(B[a]A+Chry)$ มาจากการเผาไหม้ แต่มีบางชั้นตะกอนมาจากปิโตรเลียม ในส่วนคู่อิโอโซเมอร์ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและการเผาไหม้ปิโตรเลียม และในส่วนของ การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง $(Ind/(Ind+B[g,h,i]P))$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ ดังภาพที่ 4.8 (ข) จากคู่อิโอโซเมอร์ $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$ ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล แต่มีบางชั้นตะกอนมาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม ส่วนคู่อิโอโซเมอร์ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เมื่อนำมาพิจารณาแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยรวมส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากบริเวณตำบลมู ตั้งอยู่ใกล้กับฐานทัพเรือภาคที่ 5 ท่าเทียบเรือตำบลมูที่มีเรือจอตอร์บันกท่องเที่ยวไปยังหมู่เกาะต่าง ๆ เช่น หมู่เกาะสุรินทร์ หมู่เกาะสิมิลัน



(ก)

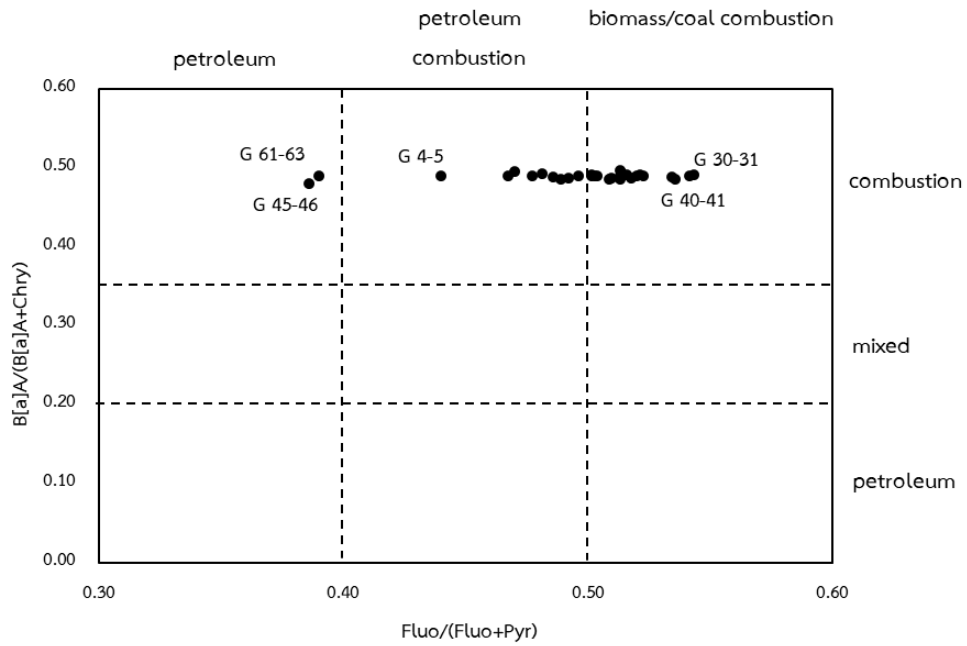


(ข)

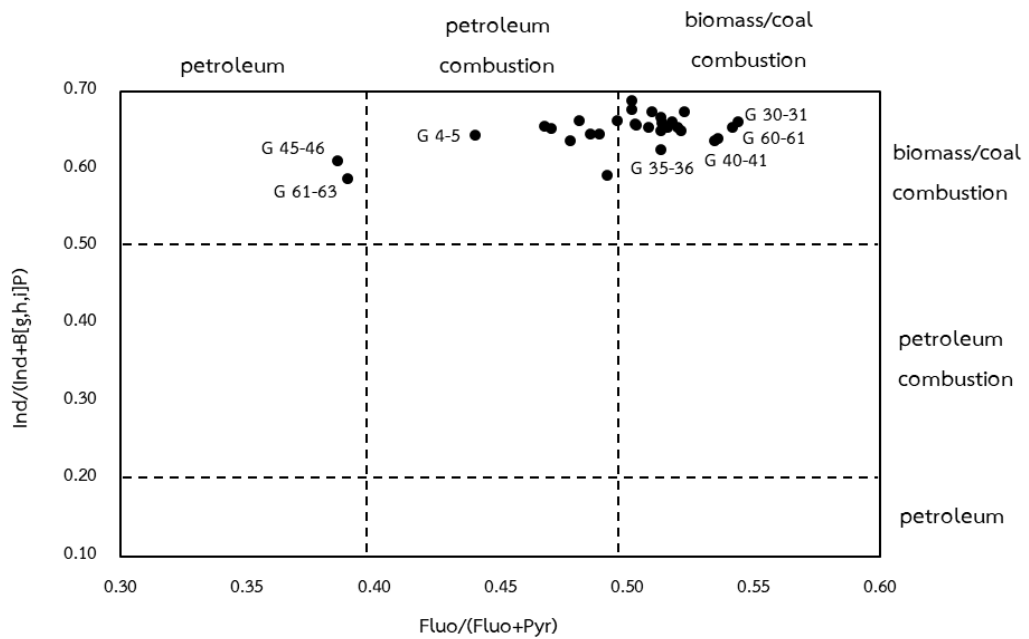
ภาพที่ 4.8 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน CT ($B[a]A/(B[a]A+Chry)$) กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ (ก) และ $Ind/(Ind+B[g,h,i]P)$ กับ $Fluo/(Fluo+Pyr)$ (ข)

4.6.3 แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน พบว่าการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) ดังภาพที่ 4.9 (ก) มีแหล่งกำเนิดของ PAHs จากคู่อิโอโซเมอร์ (B[a]A/(B[a]A+Chry) ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ ในส่วนคู่อิโอโซเมอร์ Fluo/(Fluo+Pyr) มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและชีวมวล หรือถ่านหิน แต่พบว่ามีในชั้นตะกอน 45-46 และ 61-63 เซนติเมตร แหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากปิโตรเลียม และในส่วนของการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) จากคู่อิโอโซเมอร์ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล ส่วนคู่อิโอโซเมอร์ Fluo/(Fluo+Pyr) ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและชีวมวล และในชั้นตะกอน 45-46 และ 61-63 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมเช่นกัน ดังภาพที่ 4.9 (ข) จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ จากคู่อิโอโซเมอร์ของ PAHs พบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล หรือถ่านหิน อาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมทางน้ำที่ค่อนข้างหนาแน่นในพื้นที่เก็บตัวอย่าง เช่น เป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง ที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก ทำให้มีเรือเข้าออกในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.9 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน GOT B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ก) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) (ข)

4.7 การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร

การวิเคราะห์ข้อมูลของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดินนอกชายฝั่งอันดามันและบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกจังหวัดชลบุรี ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคทางสถิติ สำหรับวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวเป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดจำนวนตัวแปร (กัลยา วานิชบัญชา, 2549) โดยจะใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิด การรวมตัว และปริมาณการปนเปื้อนของ PAHs ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์สถิติแบบหลายตัวแปร โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 20.0

4.7.1 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างแท่งตะกอนดินตามชนิดของ PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1 โดยการหมุนแกนด้วยวิธี Varimax ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7 การจับกลุ่มข้อมูลสาร PAHs แต่ละชนิด ดังภาพที่ 4.10 พบว่า PAHs ที่มีค่า Rotated Component matrix ในแต่ละชนิดมากกว่า 0.7 มีการแบ่งกลุ่ม ดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า Variance 37.8% ได้แก่ 11H-B[a]F, 11H-B[b]F, B[b]F, B[k]F, B[e]P และ B[a]P เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4-5 วง ซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงที่เกี่ยวกับถ่านหินและปิโตรเลียม เช่น การเผาไหม้ในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Khalili, *et al.*, 1995; Harrison, *et al.*, 1996; Guo, *et al.*, 2007)

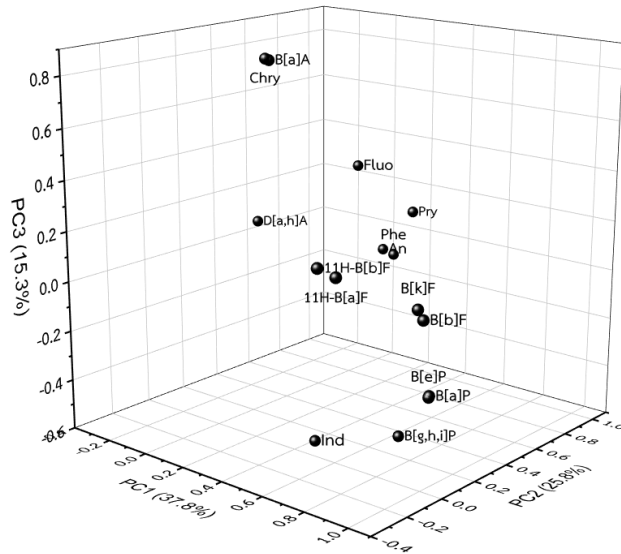
- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า Variance 25.8% ได้แก่ Phe, An, Fluo และ Pyr เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 3-4 วง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ และเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997)

- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า Variance 15.3% ได้แก่ B[a]A และ Chry เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4 วง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนใหญ่เป็นสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ (Wang, *et al.*, 1995; Zeng and vista, 1997) โดยพบ B[a]A ในยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง (Harrison, *et al.*, 1996; Larsen

and Baker, 2003) และ Chry สามารถพบได้ทั้งในยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน เป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.7 Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดจากบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา

PAHs	Component		
	1	2	3
Phe	0.14	0.93	-0.08
An	0.08	0.93	-0.07
Fluo	-0.06	0.92	0.28
Pry	0.25	0.91	0.13
11H-B[a]F	0.76	-0.19	0.20
11H-B[b]F	0.73	-0.25	0.24
B[a]A	0.11	0.19	0.84
Chry	0.11	0.17	0.85
B[b]F	0.93	0.09	0.01
B[k]F	0.90	0.10	0.04
B[e]P	0.92	0.15	-0.31
B[a]P	0.92	0.16	-0.30
D[a,h]A	-0.29	0.55	0.07
B[g,h,i]P	0.67	0.29	-0.57
Ind	0.42	0.10	-0.59
Variance (%)	37.8	25.8	15.3
Cumulative (%)	37.8	63.6	78.9



ภาพที่ 4.10 Loading Plot ของตะกอนดินนอกชายฝั่งอันดามันด้วยเทคนิค PCA

เมื่อใช้เทคนิค PCA ทำการพล็อตกราฟ 3 มิติ ของ Loading Plot ทั้ง 3 องค์ประกอบตามชนิดของ PAHs พบว่าสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินได้ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Phe, An, Pry, Fluo, 11H-B[b]F, 11H-B[a]F, B[b]F และ B[k]F เป็นชนิดของ PAHs ที่มี 3-5 วงแหวน บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดที่มาจากปิโตรเลียมและเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ไม้ ถ่านหิน และน้ำมัน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย B[a]P, B[e]P, B[g,h,i]P และ Ind มีที่มาจากเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลและเบนซิน และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย B[a]A, Chry และ D[a,h]A มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล

4.7.2 วิเคราะห์การจับกลุ่มข้อมูลตามชนิดสาร PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างแท่งตะกอนดินตามชนิดของ PAHs โดยใช้องค์ประกอบที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1 โดยการหมุนแกนด้วยวิธี Varimax ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8 การจับกลุ่มข้อมูลสาร PAHs แต่ละชนิด ดังภาพที่ 4.11 พบว่า PAHs ที่มีค่า Rotated Component matrix ในแต่ละชนิดมากกว่า 0.7 มีการแบ่งกลุ่ม ดังนี้

- องค์ประกอบที่ 1 ให้ค่า Variance 86.9% ได้แก่ 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 และ Ind เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4-6 วง เกิดจากการเผาไหม้ที่เกี่ยวกับถ่านหินและปิโตรเลียม เช่น การเผาไหม้ในโรงไฟฟ้า

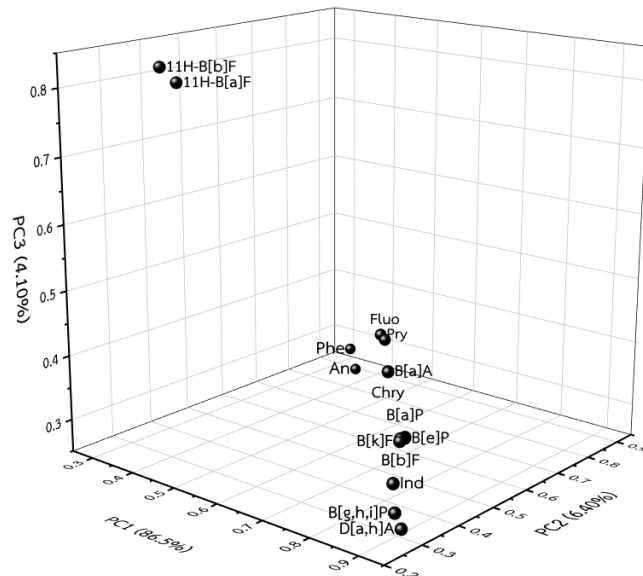
โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Khalili, *et al.*, 1995; Harrison, *et al.*, 1996; Guo, *et al.*, 2007)

- องค์ประกอบที่ 2 ให้ค่า Variance 6.23% ได้แก่ Phe และ An เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 3 วง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ (Wang, *et al.*, 1995; Yunker, *et al.*, 1996; Budzinski, *et al.*, 1997)

- องค์ประกอบที่ 3 ให้ค่า Variance 4.01% ได้แก่ 11H-B[a]F และ 11H-B[b]F เป็น PAHs ที่มีโมเลกุลประกอบด้วยวงเบนซีน 4 ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนใหญ่เป็นสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ (Wang, *et al.*, 1995; Zeng and vista, 1997)

ตารางที่ 4.8 Rotated Component Matrix ของ PAHs แต่ละชนิดจากบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

PAHs	Component		
	1	2	3
Phe	0.34	0.89	0.29
An	0.35	0.89	0.25
Fluo	0.64	0.61	0.42
Pry	0.60	0.65	0.41
11H-B[a]F	0.40	0.34	0.81
11H-B[b]F	0.39	0.31	0.83
B[a]A	0.76	0.46	0.42
Chry	0.76	0.46	0.42
B[b]F	0.85	0.38	0.36
B[k]F	0.85	0.37	0.36
B[e]P	0.84	0.39	0.35
B[a]P	0.84	0.40	0.36
D[a,h]A	0.90	0.31	0.26
B[g,h,i]P	0.90	0.29	0.28
Ind	0.89	0.30	0.32
Variance (%)	86.5	6.40	4.10
Cumulative (%)	86.5	92.9	97.0



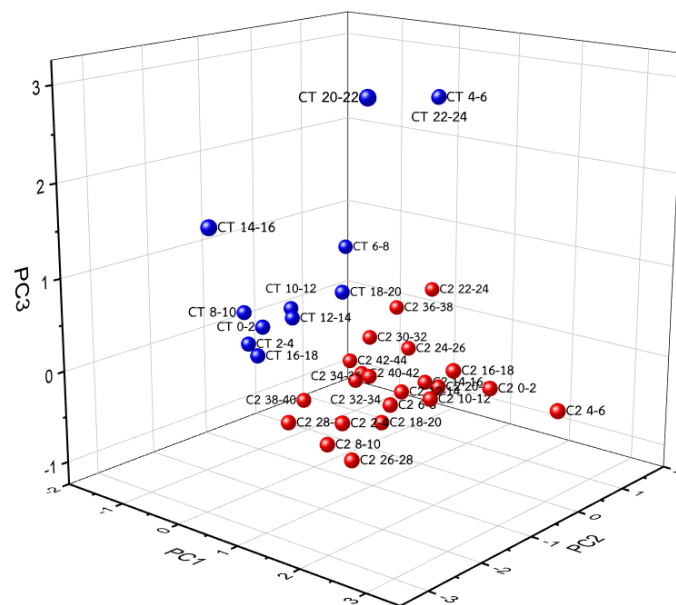
ภาพที่ 4.11 Loading Plot ของตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ด้วยเทคนิค PCA

เมื่อใช้เทคนิค PCA ทำการพล็อตกราฟ 3 มิติ ของ Loading Plot ทั้ง 3 องค์ประกอบตามชนิดของ PAHs พบว่าสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินได้ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย Flou, Chry, B[a]A, Chry, B[a]P, B[k]F, B[e]P, B[b]F, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P เป็นชนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันและถ่านหิน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย Phe และ An เป็น PAHs ที่มี 3 วงแหวน ซึ่งมาจากปิโตรเลียม และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย 11H-B[b]F และ 11H-B[a]F ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA มาเปรียบเทียบกับระหว่างบริเวณนอกชายฝั่งอันดามันและบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จากค่าเปอร์เซ็นต์ Variance สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ได้ว่านอกชายฝั่งอันดามันมีความหลากหลาย ไม่สามารถบอกแหล่งกำเนิดได้อย่างชัดเจน ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PAHs ได้ค่อนข้างชัดเจนกว่านอกชายฝั่งอันดามัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน ตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน พบว่าบริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน จำนวน 2 แท่งตะกอน จากบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก (จุดสีแดง) และบริเวณทับละมุ (จุดสีน้ำเงิน) พบว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลักมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล จากรถโดยสารและเรือท่องเที่ยวจากกิจกรรมทางด้านการท่องเที่ยว การ

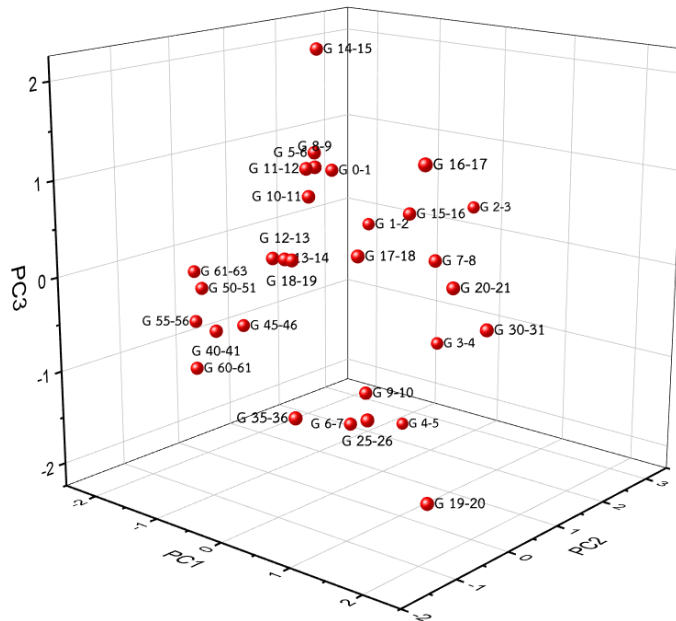
เผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลรวมทั้งน้ำทิ้งจากร้านอาหารและโรงแรมในชุมชน แต่พบว่าในชั้นตะกอนลึก 4-6 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดที่ต่างจากชั้นตะกอนอื่น อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของปิโตรเลียม และในส่วนบริเวณทับละมุ พบว่าแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียม และการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจากกิจกรรมการเดินเรือ เนื่องจากพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ใกล้กับฐานทัพเรือภาคที่ 5 ท่าเรือประมง และท่าเรือทับละมุ ซึ่งเป็นท่าเรือที่ไว้รับส่งนักท่องเที่ยว จึงทำให้มีจำนวนเรือหนาแน่นกว่าบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก และพบว่าในชั้นตะกอนลึก 4-6, 14-16, 20-22 และ 22-24 เซนติเมตร มีแหล่งกำเนิดต่างจากชั้นตะกอนอื่น ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม เช่น การรั่วของน้ำมันจากเรือ เป็นต้น ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 Score Plot ของแท่งตะกอนตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน บริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน ด้วยเทคนิค PCA

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอน ตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน พบว่าบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบว่าตัวอย่างตะกอนดินส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงชีวมวล ปิโตรเลียม หรือถ่านหิน แต่พบว่าในชั้นตะกอนลึก 14-15 และ 19-20 เซนติเมตร อาจมีเหตุการณ์บางอย่างในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้มีแหล่งกำเนิดต่างไปจากชั้นตะกอนอื่น โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรมอาจมีสาเหตุมาจาก

กิจกรรมทางน้ำที่ค่อนข้างหนาแน่นในพื้นที่ศึกษา เช่น เป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกแหลมฉะบับ ที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก ทำให้มีเรือเข้าออกในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 Score Plot ของแท่งตะกอนตามระดับความลึกของชั้นตะกอนดิน บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ด้วยเทคนิค PCA

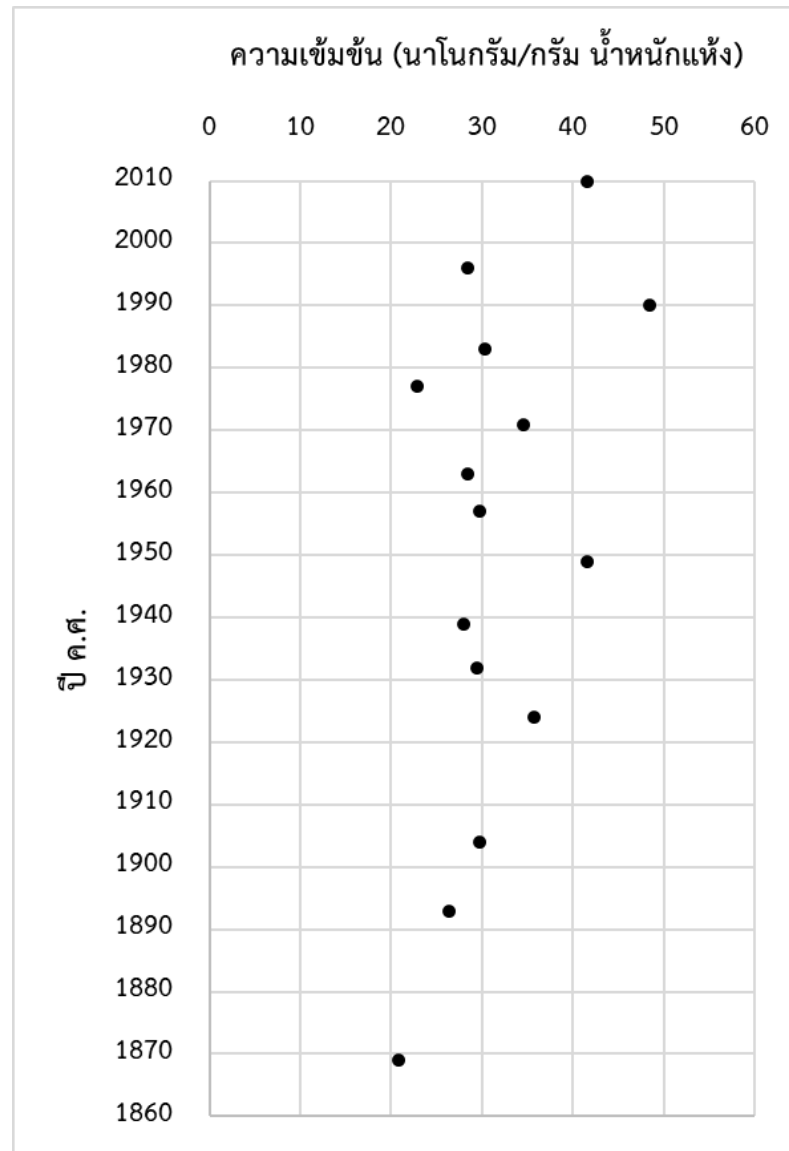
4.8 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs ในแท่งตะกอนดิน

4.8.1 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา

จากการวิเคราะห์อัตราการตกทับถมในแท่งตะกอนบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา ด้วยเทคนิคกัมมันตภาพรังสีตะกั่ว-210 (^{210}Pb) สามารถวิเคราะห์ได้ถึงชั้นตะกอนลึก 28-30 เซนติเมตร จากความยาวของแท่งตะกอน 44 เซนติเมตร เมื่อตะกอนถึงความลึกหนึ่งกลับไม่พบกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ เลยพอจะอนุมานได้ว่า $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในตะกอนนั้นถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ดังภาพที่ 4.14 โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีตที่ผ่านมาจากกิจกรรม

มนุษย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง โดยพบว่าในปี 1833 ได้มีการริเริ่มการทำเหมืองแร่ดีบุก และต่อมาในปี 1907 ได้มีวิวัฒนาการการขุดแร่ดีบุกในทะเลโดยใช้เรือขุดแร่มาใช้ในทะเล ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากเชื้อเพลิงจากเรือเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหมดยุคการทำเหมืองแร่ดีบุก ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มลดลง จนกระทั่งในปี 1950 พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติจากเหตุการณ์สึนามิที่เคยเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศไทยในปี 1955 (Emergency Events Database, 2009) ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อชายฝั่งทะเล มีการกวาดเอา PAHs bounded particles ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ลงสู่ทะเลมากผิดปกติในช่วงเวลาดังกล่าว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงปี 1990 โดยพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวได้มีการก่อสร้างฐานทัพเรือภาคที่ 5 การเข้ามาตั้งถิ่นฐานของชาวประมงในพื้นที่ และต่อมาได้มีการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงาในด้านของการท่องเที่ยว ได้มีการประกาศหมู่เกาะสิมิลันและหมู่เกาะสุรินทร์เป็นอุทยานแห่งชาติ ส่งผลให้เกิดการคมนาคมทั้งทางบกและทางน้ำหนาแน่นกว่าในอดีตที่ผ่านมา จากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดจากการท่องเที่ยว ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสาร PAHs จากระถางโดยสารและเรือท่องเที่ยวที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนการกระจายตัวเชิงเวลาในแท่งตะกอนดินบริเวณตำบลมุ จังหวัดพังงา ไม่สามารถวิเคราะห์อัตราการตกทับถมได้ เนื่องจากความลึกของแท่งตะกอนยังลึกไม่ถึงชั้นของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ไม่แสดงแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งอาจเกิดจากการที่ตะกอนถูกรบกวนด้วยแรงทางกายภาพ จึงทำให้ชั้นตะกอนด้านล่างไม่สามารถวิเคราะห์อัตราการตกทับถมได้

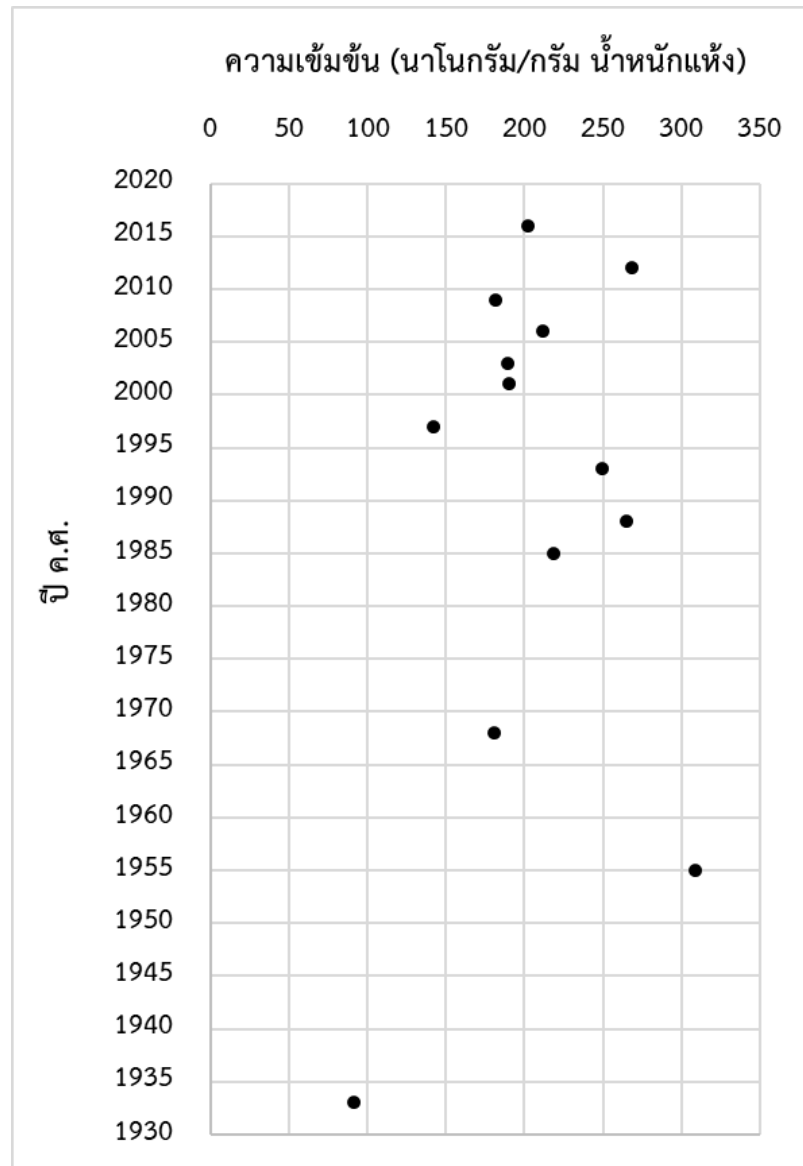


ภาพที่ 4.14 ความเข้มข้นรวมของ PAHs ในแท่งตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา ตามช่วงเวลา

4.8.2 การกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

จากการวิเคราะห์อัตราการตกทับถมในแท่งตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างแท่งตะกอนดินได้จากความลึก 0-36 เซนติเมตร จากความยาวของแท่งตะกอน 61 เซนติเมตร เนื่องจากเมื่อตะกอนถึงความลึกหนึ่งกลับไม่พบกัมมันตภาพรังสีของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ อนุมานได้ว่า $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ในตะกอนนั้นถึงจุดสิ้นสุดแล้ว ดังภาพที่ 4.15 จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาทางเศรษฐกิจในประเทศ

โดยประเทศไทยมีท่าเรือคลองเตยเป็นท่าเรือพาณิชย์หลัก แต่เมื่อประเทศไทยเริ่มพัฒนาไปสู่ประเทศอุตสาหกรรมมากขึ้น ทำให้ท่าเรือคลองเตยไม่สามารถรองรับการขนส่งได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้ทำให้อ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกเป็นพื้นที่ใหม่ในการก่อสร้างท่าเรือเพื่อรองรับการขนส่งที่หนักขึ้น โดยในปี 1961มีการสร้างโรงกลั่นน้ำมันของบริษัทไทยออยล์ ต่อมาในช่วงปี 1987-1991 พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ มีการขนถ่ายสินค้าที่เพิ่มขึ้น จนเกิดแนวคิดการขยายพื้นที่ขนถ่ายสินค้าของประเทศ โดยมีการก่อสร้างท่าเรือแหลมฉบังเกิดขึ้นที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นท่าเรือพาณิชย์แห่งใหม่ ทำให้ผู้ประกอบการเริ่มโยกย้ายฐานการผลิตมายังบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมบริเวณอำเภอศรีราชา ซึ่งเป็นแหล่งรวมของโรงงานอุตสาหกรรม และต่อมาได้มีท่าเรือเกิดขึ้นใหม่ 3 ท่า คือ เจ.ซี.มาร์รีน เคอร์รี่สยามซีพอร์ต และสยามคอมเมอร์เชียล จากนั้นในปี 1997 เกิดเหตุการณ์ฟองสบู่แตก ส่งผลให้เกิดวิกฤตทางเศรษฐกิจทำให้เศรษฐกิจเกิดการชะลอตัว จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาดังกล่าว และพบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงปี 2012 จากการฟื้นฟูทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเกิดเหตุการณ์อุทกภัยในปี 2011 เพื่อตอบสนองความต้องการที่ขยายตัวสูงจากมาตรการกระตุ้นของรัฐบาล ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาและการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ



ภาพที่ 4.15 ความเข้มข้นรวมของ PAHs ในแท่งตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกตามช่วงเวลา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้น และการปนเปื้อนของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดินบริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน จำนวน 2 แท่งตะกอนดิน จากบริเวณชายฝั่งเขาหลักและบริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา มีความยาว 44 และ 24 เซนติเมตร ตามลำดับ พบการปนเปื้อนของสาร ΣPAHs_{15} บริเวณชายฝั่งเขาหลัก จังหวัดพังงาอยู่ในช่วง 17.4-48.4 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 ± 7.21 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบการปนเปื้อนของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 4-6 เซนติเมตร โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดคือ Phe รองลงมาคือ An และบริเวณทับละมุ จังหวัดพังงาพบการปนเปื้อนของสาร ΣPAHs_{15} อยู่ในช่วง 20.8-88.5 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.8 ± 23.0 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบการปนเปื้อนของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 20-22 เซนติเมตร โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[b]F รองลงมาคือ B[a]P

ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก จากการวิเคราะห์ความเข้มข้น และการปนเปื้อนของ PAHs ในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน จำนวน 1 แท่งตะกอนดิน ความยาว 63 เซนติเมตร พบการปนเปื้อนของสาร ΣPAHs_{15} อยู่ในช่วง 22.6-313 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 177 ± 85.7 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง โดยพบการปนเปื้อนของ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนลึก 16-17 เซนติเมตร โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[k]F รองลงมาคือ B[b]F

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตะกอนดินจากบริเวณนอกชายฝั่งอันดามันและบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออกสูงกว่าบริเวณนอกชายฝั่งอันดามัน เนื่องจากกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาเป็นกิจกรรมในเชิงอุตสาหกรรม จากเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ที่มีอยู่อย่างหนาแน่น เรือประมงชายฝั่ง

และเรือข้ามฟาก ซึ่งแตกต่างจากบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดพังงา กิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมในเชิงการท่องเที่ยว

จากการวิเคราะห์สัดส่วนไอโซเมอร์ของ PAHs 3 คู่ไอโซเมอร์ ได้แก่ B[a]A/(B[a]A+Chr), Fluo/(Fluo+Pyr) และ Ind/(Ind+B[g,h,i]P) เพื่อหาแหล่งกำเนิดของ PAHs ในตะกอนดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล บริเวณทับละมุ ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงชีวมวล หรือถ่านหิน

แหล่งกำเนิดของ PAHs ในแท่งตะกอนดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา มีความคล้ายคลึงกัน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและปิโตรเลียม ซึ่งเกิดจากรถและเรือ ซึ่งมีการกวาดเอา PAHs bounded particles จากแผ่นดินลงสู่ทะเล รวมทั้งการปล่อยน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากชุมชน แต่กิจกรรมมนุษย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกัน โดยแหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก มาจากกิจกรรมในเชิงอุตสาหกรรม ส่วนแหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดพังงา มาจากกิจกรรมในด้านการท่องเที่ยว

จากการวิเคราะห์อัตราการตกทับถมด้วยเทคนิคกัมมันตภาพรังสีตะกั่ว-210 เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลาของตัวอย่างในแท่งตะกอนดิน จำนวน 3 แท่งตะกอนดินสามารถวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลาได้ 2 แท่งตะกอนดิน คือ แท่งตะกอนดินจากบริเวณชายฝั่งเขาหลัก จังหวัดพังงา และบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก ส่วนแท่งตะกอนดินบริเวณทับละมุ จังหวัดพังงา ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากความลึกของแท่งตะกอนยังลึกไม่ถึงชั้นของ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ไม่แสดงแนวโน้มลดลงตามความลึก ซึ่งอาจเกิดจากการที่ตะกอนถูกรบกวนด้วยแรงทางกายภาพ จึงทำให้ชั้นตะกอนด้านล่างไม่สามารถวิเคราะห์อัตราการตกทับถมได้ จากผลการวิเคราะห์พบว่าบริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา ความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีตจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง ในปี 1990 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เริ่มมีการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งในด้านท่องเที่ยว ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรม ส่งผลให้กิจกรรมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกิจการด้านพาณิชย์นาวี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) รูปแบบการกระจายตัวเชิงเวลาของ PAHs จากอดีตจนถึงปีที่เก็บตัวอย่างสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางลดผลกระทบของการปนเปื้อนของ PAHs ลงสู่ตะกอนดินในอนาคต ที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตามคาบเวลาในอดีต

2) การปนเปื้อนของ PAHs ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของยานพาหนะ ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการท่องเที่ยว ดังนั้นการกำหนดมาตรการป้องกันผลกระทบจึงควรลดกิจกรรมที่ทำให้เกิดความเสียหายในการปนเปื้อน เช่น มาตรการทำเรือปลอดการทิ้งน้ำมัน หรือการปล่อยทิ้งน้ำเสียจากชุมชน ท่าเรือ ร้านอาหาร และโรงแรมต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2549). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows*. ธรรมสาร, กรุงเทพฯ
- กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม. (2561). “ท่าเทียบเรือที่บละมู จังหวัดพังงา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://md5.go.th/index.php/2014-07-26-07-52-5/details/1/72> (วันที่ 7 มิถุนายน 2561).
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2549). *รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปีพุทธศักราช 2549*, บริษัท ซีพี จำกัด, กรุงเทพฯ
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2561). “ข้อมูลท่องเที่ยวจังหวัดพังงา.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <https://thai.tourismthailand.org> (วันที่ 21 เมษายน 2561).
- จรรยา สารินทร์. (2537). “การกระจายของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย.” สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิคม ละอองศิริวงศ์, ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และทองเพชร สันบุกา. (2542). “คุณภาพตะกอนดินในแหล่งเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาจังหวัดสุราษฎร์ธานี.”, *เอกสารการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 39*, (สาขาประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยุทธ ไกยวรรณ. (2556). *การวิเคราะห์สถิติหลายตัวแปรสำหรับงานวิจัย*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- รุจยา บุญยทุมานนท์ และ สุนิทร ทองเกลี้ยง. (2550). “การศึกษาการตกค้างสาร PCBS ในตะกอนดิน.” *ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม*, 4(8), 33-35.
- ศิริพร สิงห์ทอง. (2547). “การดูดซับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินแม่น้ำบางปะกง.” *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต*, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย. (2559). “ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.” *ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://www.gisthai.org/about-gis/compo-gis.html>. (วันที่ 21 เมษายน 2561).

- สำนักอุทยานแห่งชาติ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช. (2561). “หมู่เกาะลันตา-หมู่เกาะสุรินทร์.” (ออนไลน์) เข้าถึงได้ที่ <http://park.dnp.go.th/visitor/nationparkshow.php?PTACODE=1043> (วันที่ 1 สิงหาคม 2561)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1996). “Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.” (Online) Available on <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/pah/docs/pah.pdf>
- Akyuz, M. and Cabuk, H. (2010). “Gas-particle partitioning and seasonal variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Zonguldak, Turkey.” *Sci Total Environ*, 408(22), 5550-5558.
- Alebic Juretic, A. (2011). “Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments from the Rijeka Bay area, Northern Adriatic Croatia, 1998–2006.” *Mar Pollut Bull*, 62(4), 863–869.
- Altindag, A. and Yigit, S. (2005). “Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beysehir, Turkey.” *Chemosphere*, 60(4), 552-556.
- Anderson, J. W., Jones, J. M., Steinert, S., Sanders, B., Means, J., and McMillin, D. (1999). “Tukey Correlation of CYP1A1 induction, as measured by the P450 RGS biomarker assay, with high molecular weight PAHs in mussels deployed at various sites in San Diego Bay in 1993 and 1995.” *Mar Environ Res*, 48(4-5), 389–405.
- Appleby, P. G. and Oldfield, F. (1978). “The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment.” *Catena*, 5(1), 1-8.
- Appleby, P. G. and Oldfield, F. (1983). “The assessment of ^{210}Pb data from sites with varying sediment accumulation rates.” *Hydrobiologia*, 103(1), 29-35.
- Bandowe, B. A., Bigalke, M., Boamah, L., Nyarko, E., Saalia, F. K., and Wilcke, W. (2014). “Polycyclic aromatic compounds (PAHs and oxygenated PAHs) and trace metals in fish species from Ghana (West Africa): bioaccumulation and health risk assessment.” *Environ Int*, 65, 135–146.

- Barhoumi, B., Le Menach, K., Clerandau, C., Ben Ameer, W., Budzinski, H., and Driss, M.R. (2014). "Assessment of pollution in the Bizerte lagoon (Tunisia) by the combined use of chemical and biochemical markers in mussels, *Mytilus galloprovincialis*." *Mar Pollut Bull*, 84(1-2), 379–390.
- Barra, R., Cisternas, M., Urrutia, R., Pozo, K., Pacheco, P., Parra, O., and Focard, S. (2001). "First report on chlorinated pesticide deposition in a sediment core from a small lake in central Chile." *Chemosphere*, 45(6-7), 749-757.
- Baumard, P., Budzinski, H., and Garrigues, P. (1998). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea." *Environ Toxicol Chem*, 17(5), 765–776.
- Bell, R., Cowan, H., Dalziell, E., Evans, N., O Leary, M., Rush, B., and Yule, L. (2005). "Survey of impacts on the Andaman Coast, Southern Thailand following the great Sumatra-Andaman earthquake and tsunami of December 26, 2004." *Bull New Zealand Soc Earthq Eng*, 38(3), 123–148.
- Benninger, L. K. and Krishnaswami, S. (1981). "Sedimentary processes in New York bight: evidence from excess ^{210}Pb and $^{239+240}\text{Pu}$." *Earth Planet Sc Lett*, 53(2), 158-174.
- Benninger, L. K., Suayah, I. B., and Staley, D. J. (1997). "Mazola lagoon, Nile delta, Egypt: modern sediment accumulation based on radioactive tracers." *Environ Geol*, 34(2-3), 183-193.
- Bixian, M., Jiamo, F., Gan, Z., Zheng, L., Yushun, M., Guoying, S., and Xingmin, W. (2001). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Pearl river and estuary, China: spatial and temporal distribution and sources." *Appl Geochem*, 16(11-12), 1429-1445.
- Blumer, M. (1976). "Polycyclic aromatic compounds in nature." *Sci Am*, 234(3), 34–45.
- Bodin, T., Burgeot, J. Y., Stanisiere, G., Bocquene, D., Menard, C., and Minier, I. (2004). "Budzinski Seasonal variations of a battery of biomarkers and physiological indices for the mussel *Mytilus galloprovincialis* transplanted into the northwest Mediterranean Sea." *Comp Biochem Phys C*, 138(4), 411–427.

- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Amano, A., Inouchi, Y., and Takada, H. (2007). "Reconstruction of pollution history of organic contaminants in the upper the eastern inner Gulf of Thailand by using sediment cores: First report from Tropical Asia Core (TACO) project." *Mar Pollut Bull*, 54(5), 554-565.
- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Togo, A., and Takada, H. (2006). "Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand." *Mar Pollut Bull*, 52(8), 942-956.
- Bostrom, C. E., Gerde, P., Hanberg, A., Jernstrom, B., Johansson, C., Kyrklund, T., Rannug, A., Tornqvist, M., Victorin, K., and Westerholm, R. (2002). "Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air." *Environ Health Persp*, 110(3), 451-488.
- Broman, D., Naf, C., Wik, M., and Renberg, I. (1990). "The importance of spheroidal carbonaceous particles (SCPs) for the distribution of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an estuarine-like urban coastal water area." *Chemosphere*, 21(1-2), 69-77.
- Budzinski, H., Jones, J., Bellocq, J., Pierard, C., and Garriques, P. (1997). "Evaluation of Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary." *Mar Chem*, 58(1-2), 85-97.
- Buet, A., Banas, D., Vollaire, Y., Coulet, E., and Roche, H. (2006). "Biomarker responses in European eel (*Anguilla anguilla*) exposed to persistent organic pollutants. A field study in the Vaccarès lagoon (Camargue, France)." *Chemosphere*, 65(10), 1846-1858.
- Callen, M. S., De la Cruz, M. T., Lopez, J. M., Murillo, R., Navarro, M. V., and Mastral, A. M. (2008). "Long-range atmospheric transport and local pollution sources on PAH concentrations in a South European urban area. fulfillment of the European directive." *Water Air Soil Poll*, 190(1-4), 271-285.
- Cheung, K. C., Leung, H. M., Kong, K. Y., and Wong, M. H. (2007). "Residual levels of DDTs and PAHs in freshwater and marine fish from Hong Kong markets and their health risk assessment." *Chemosphere*, 66(3), 460-468.

- De La Torre-Roche R. J., Lee, W. Y., and Campos-Diaz, 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 (2-3), 946-958.
- Dong, T. T. and Lee, B. K. (2009). "Characteristics, toxicity, and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Ulsan, Korea." *Chemosphere*, 74(9), 1245-1253.
- Dou Abul, A. A. Z., Heba, M. A. H., and Fareed, K. H. (1997). "Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in fish from the Red Sea Coast of Yemen." *Hydrobiologia*, 352, 251-262.
- Duan, X., Liu, J., and Zhang, D. (2015). "An assessment of human influences on sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the estuarine and coastal sediments of China." *Mar Pollut Bull*, 97(1), 309-318.
- Environment Canada. (1994). *Guidance document on collection and preparation of sediments for physicochemical characterization and biological testing*, Environment Protection Service Report, EPS., Canada.
- Eom, I. C., Rast, C., Veber, A. M., and Vasseur, P. (2007). "Ecotoxicology of a polycyclic aromatic hydrocarbon contaminated soil." *Ecotox Environ Safe*, 67, 190-205.
- Ergut, A., Granata, S., Jordan, J., Carlson, J., Howard, J. B., and Richter, H. (2006). "PAH formation in one-dimensional premixed fuel-rich atmospheric pressure ethylbenzene and ethyl alcohol flames." *Combust Flame*, 144(4), 757-772.
- Francioni, E., Wagener, L. R., Scofield, A. L., Depledge, M. H., and Cavalier, B. (2007). "Evaluation of the mussel *Perna perna* as a biomonitor of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure and effects." *Mar Pollut Bull*, 54(3), 329-338.
- Fraser, M. P., Cass, G. R., Simoneit, B. R., and Rasmussen, R., (1998). "Air quality model evaluation data for organics. 5. C6-C22 nonpolar and semipolar aromatic compounds." *Environ Science Technol*, 32(12), 1760-1770.

- Fu, S., Cheng, H., Liu, Y., Xia, X., and Xu, X. (2009). "Composition, distribution, and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil in Linfen, China." *Rev Environ Contam T*, 82 (2), 167–171.
- Fuller, C. C., van Geen, A., Baskaran, M., and Anima, R. (1999). "Sediment Chronology in San Francisco Bay, California, defined by ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{137}Cs and $^{239+240}\text{Pu}$." *Mar Chem*, 64(1-2), 7-27.
- Gan, S., Lau, E. V., and Ng, H. K. (2009). "Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)." *J Hazard Mater*, 172(2-3), 532-549.
- Gevao, B., Boyle, E. A., Carrasco, G. G., Ghadban, A. N., Zafar, J., and Bahloul, M. (2016). "Spatial and temporal distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Northern Arabian Gulf sediments." *Mar Pollut Bull*, 112(1-2), 218–224.
- Giuliani, S., Piazza, R., El Moumni, B., Polo, F. P., Vecchiato, M., Romano, S., Zambon, S., Frignani, M., and Bellucci, L. G. (2015). "Recognizing different impacts of human and natural sources on the spatial distribution and temporal trends of PAHs and PCBs (including PCB-11) in sediments of the Nador Lagoon (Morocco)." *Sci Total Environ*, 526, 346–357
- Gocht, T., Barth, J. A. C., Epp, M., Jochmann, M., Blessing, M., Schmidt, T. C., and Grathwohl, P. (2007). "Indications for pedogenic formation of perylene in a terrestrial soil profile: depth distribution and first results from stable carbon isotope ratios." *Appl Geochem*, 22(12), 2652–2663.
- Gocht, T., Moldenhauer, K. M., and Puttmann, W. (2001). "Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and heavy metals in floodplain sediments from the Rhine River (Hessisches Ried, Germany)." *Appl Geochem*, 16(15), 1707–1721.
- 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." *J Chromatogr A*, 799(1-2), 215-231.

- Goldberg, E. G. (1963). "GeoChronology with ^{210}Pb . In: Radioactivity Dating." *Vienna: IAEA*, 514-521.
- Grimmer, G., Jacob, J., Dettbarn, G., and Naujack, K. W. (1985). "Determination of polycyclic aromatic compounds, azaarenes, and thiaarenes emitted from coal-fired residential furnaces by gas Chromatography/mass spectrometry." *Fresen J Anal Chem*, 322(6), 595-602.
- Guo, W., He, M., Yang, Z., Lin, C., Quan, X., and Wang, H. (2007). "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water, suspended particulate matter and sediment from Daliao River watershed, China." *Chemosphere*, 68(1), 93-104.
- Guo, W., Pei, Y. S., Yang, Z. F., and Chen, H. (2011). "Historical changes in polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) Indut in Lake Baiyangdian related to regional socio-economic development." *J Hazard Mater*, 187(1-3), 441-449.
- Guo, Z. G., Lin, T., Zhang, G., Yang, Z. S., and Fang, M. (2006). "High-resolution depositional records of polycyclic aromatic hydrocarbons in the central continental shelf mud of the East China Sea." *Environ Sci Technol*, 40(17), 5304-5311.
- Hamid, N., Syed, J. H., Kamal, A., Aziz, F., Tanveer, S., Ali, U., Cincinrlli, 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.
- Hansen, A. D. A., Bodhaine, B. A., Dutton, E. G., and Schnell, R. C. (1988). "Aerosol black carbon measurements at the South Pole: initial results, 1986-1987." *Geophys Res Lett*, 15(11), 1193-1196.
- Harrison, R. M., Smith, D., and Luhana, L. (1996). "Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK." *Environ Sci Technol*, 30(3), 825-832.
- Harvey, P. J., Campanella, B. F., Castro, P. M. L., Harms, H., Lichtfouse, E., and Schaffner, A. R. (2002). "Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons, aniline, and phenol." *Environ Sci Pollut R*, 9(1), 29-47.

- Heintzenberg, J. (1982). "Size-segregated measurements of particulate elemental carbon and aerosol light absorption at remote arctic locations." *Atmos Environ*, 16(10), 2461-2469.
- Hites, R. A., Laflamme, R. E., and Farrington, J. W. (1977). "Sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons: the historical record." *Science*, 198(4319), 829-831.
- Hu, G., Luo, X., Li, F., Dai, J., Guo, J., and Chen, S. (2010). "Organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment from Baiyangdian Lake, North China: concentrations, sources profiles and potential risk." *J Environ Sci*, 22(2), 176-183.
- Hu, L., Guo, Z., Shi, X., Qin, Y., d, Lei, K., and Zhang, G. (2011). "Temporal trends of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in the Bohai Sea, China: Evidence from the sedimentary record." *Org Geochem*, 42(10), 1181-1193.
- Hussein, I., Abdel Shafy, M., and Mansour, S. M. (2016). "A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation." *Egyptian J Petroleum*, 25(1), 107-123.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1987). "In Overall Evaluation of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs, on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.", *International Agency for Research on Cancer, World Health Organization*, Lyon, France: 10-18 March 1987.
- Jiang, Y. F., Wang, X. T., Wang, F., Jia, Y., Wu, M. H., and Sheng, G. Y. (2009). "Levels, composition profiles and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China." *Chemosphere*, 75(8), 1112-1118.
- Jones, K. C., Stratford, J. A., Waterhouse, K. S., and Vogt, N. B. (1989). "Organic contaminants in Welsh soils: polynuclear aromatic hydrocarbons." *Environ Sci Technol*, 23(5), 540-550.
- Kanaly, R. A., Bartha, R., Fogel, S., and Findlay, M. (1997). "Biodegradation of [¹⁴C] benzo[a]pyrene added in crude oil to uncontaminated soil." *Appl Environ Microb*, 63(11), 4511-4515.
- 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(8), 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(11), 2288–2294.
- Khairy, M. A., Kolb, M., Mostafa, A. R., EL-Fiky, A., and Bahadir M. (2009). "Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Mediterranean semi-enclosed basin affected by human activities (Abu Qir Bay, Egypt)." *J Hazard Mater*, 170(1), 389-397.
- Khalili, N. R., Scheff, P. A., and Holsen, T. M. (1995). "PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions." *Atmos Environ*, 29(4), 533–542.
- Kilbane, J. J. (1998). "Extractability and subsequent biodegradation of PAHs from contaminated soil." *Water Air Soil Poll*, 104(3-4), 285–304.
- Kirchner, G. (2011). "²¹⁰Pb as a tool for establishing sediment Chronologies: examples of potentials and limitations of conventional dating models." *J Environ Radioactiv*, 102(5), 490-494.
- Krishnaswami, S., Benninger, L. K., Aller, R. C., and Damm, K. L. (1980). "Atmospheric-derived radionuclides as a tracer of sediment mixing and accumulation in near-shore marine and lake sediment: evidence from ⁷Be, ²¹⁰Pb and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu." *Earth Planet Sc Lett*, 47, 307-318.
- Krishnaswamy, S., Lal, D., Martin, J. M., and Meybeck, M. (1971). "GeoChronology of lake sediments." *Earth Planet Sc Lett*, 11(1-5), 407-414.
- 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(9), 1873–1881.
- Latimer, J. S. and Zheng, J. (2003) *Sources, transport and fate of PAHs in the marine environment In: Douben PET (ed) PAH: an ecotoxicological perspective.* Wiley, Chichester, UK.

- Li, P., Xue, R., Wang, Y., Zhang, R., and Zhang, G. (2015). "Influence of anthropogenic activities on PAHs in sediments in a significant gulf of low-latitude developing regions, the Beibu Gulf, South China Sea: Distribution, sources, inventory and probability risk." *Mar Pollut Bull*, 90(1-2), 218–226.
- Liu, F., Yang, Q., Hu, Y., Du, 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(1-2), 401-410.
- Long, E. R., MacDonald, D. D., Smith, S. L., and Calder, F. D. (1995). "Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuary sediments." *Environ Manage*, 19(1), 81–97.
- Luo, X., Chen, S., Yu, M., Mai, B., Sheng, G., and Fu, J. (2008a). "Distribution and partition of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water from the Pearl River estuary." *Environm Sci*, 29 (9), 2385–2391.
- Luo, X.J., Chen, S.J., Mai, B.X., Sheng, G.Y., Fu, J.M., and Zeng, E.Y. (2008b). "Distribution, source apportionment, and transport of PAHs in sediments from the Pearl River Delta and the northern South China Sea." *Arch Environ Con Tox*, 55(1), 11–20.
- Macias-Zamora, J., Mendoza-Vega, E., and Villaescusa-Celaya, J. (2002). "PAHs composition of surface marine sediments: a comparison to potential local sources in Todos Santos Bay, BC, Mexico." *Chemosphere*, 46(3), 459–468.
- Mai, B. X., Qi, S. H., Zeng, E. Y., Yang, Q. S., Zhang, G., and Fu, J. M. (2003). "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: assessment of Indut sources and transport pathways using compositional analysis." *Environ Sci Technol*, 37(21), 4855-4863.
- Manoli, E., Kouras, A., and Samara, C. (2004). "Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece." *Chemosphere*, 56(9), 867-878.

- Martins, C. C., Bi cego, M. C., Rose, N. L., Taniguchi, S., Lourenço, R. A., and Figueira, R. C. L. (2010). "Historical record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and spheroidal carbonaceous particles (SCPs) in marine sediment cores from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica." *Environ Pollut*, 158(1), 192–200.
- Masih, A., and Taneja, A. (2006). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentrations and related carcinogenic potencies in soil at a semi-arid region of India." *Chemosphere*, 65(3), 449-456.
- Mast, M. A., Manthorne, D. J., and Roth, D. A. (2010). "Historical deposition of mercury and selected trace elements to high-elevation National Parks in the Western U.S. inferred from lake-sediment cores." *Atmos Environ*, 44(21-22), 2577-2586.
- Mayewski, P. A., Lyons, W. B., Spencer, M. J., Twickler, M. S., Buck, C. F., and Whitlow, S. (1990). "An ice-core record of atmospheric response to anthropogenic sulphate and nitrate." *Nature*, 346, 554–556.
- Mcdonald, S. J., Willett, K. L., Thomsen, J., Beatty, K. B., Connor, K., and Narasimhan, T. R. (1996). "Sublethal detoxification responses to contaminant exposure associated with offshore oil production." *Can J Fish Aquat Sci*, 53, 2606–2617.
- Meire, R. O., Azeredo, A., Pereira, M. S., Torres, J. P. M., and Malm, O. (2008). "Polycyclic aromatic hydrocarbon assessment in sediment of national parks in southeast Brazil." *Chemosphere*, 73(1), 180-185.
- Mitra, S., Lalicata, J. J., Allison, M. A., and Dellapenna, T. M. (2009). "The effects of hurricanes Katrina and Rita on seabed polycyclic aromatic hydrocarbon dynamics in the Gulf of Mexico." *Mar Pollut Bull*, 58(6), 851–857
- Mzoughi, N. and Chouba, L. (2012). "Heavy metals and PAH assessment based on mussel caging in the North Coast of Tunisia (Mediterranean Sea)." *Int J Environ Res*, 6(1), 109–118.
- Nikolaou, A., Kostopoulou, M., Lofrano, G., and Meric, S. (2009). "Determination of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns." *Global NEST J*, 11(4), 391–405.

- Nilsen, E. B., Rosenbauer, R. J., Fuller, C. C., and Jaffe, B. (2015). "Sedimentary organic biomarkers suggest detrimental effects of PAHs on estuarine microbial biomass during the 20th century in San Francisco Bay, CA, USA." *Chemosphere*, 119, 961-970.
- Norena-Barroso, E., Gold-Bouchot, G., Zapata-Perez, O., and Sericano, J. L. (1999). "Polynuclear aromatic hydrocarbons in American Oysters *Crassostrea virginica* from the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico." *Mar Pollut Bull*, 38(8), 637-645.
- Nour El-Din, N. M., and Abdel-Moati, M. A. (2001). "Accumulation of trace metals, petroleum hydrocarbons, and polycyclic aromatic hydrocarbons in marine copepods from the Persian Gulf." *B Environ Contam Tox*, 66(1), 110-117.
- 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.
- 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(1), 47-55.
- 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.
- Patrolecco, L., Ademollo, N., Capri, S., Pagnotta, R., and Polesello, S. (2010). "Occurrence of priority hazardous PAHs in water, suspended particulate matter, sediment and common eels (*Anguilla anguilla*) in the urban stretch of the River Tiber (Italy)." *Chemosphere*, 81(11), 1386-1392.
- Perugini, M., Visciano, P., Manera, M., Turno, G., Lucisano, A., and Amorena, M. (2007). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from the Gulf of Naples, Tyrrhenian Sea." *J Agric Food Chem*, 55(5), 2049-2054.
- 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(10), 1594-1601.

- Qiu, Y. W., Zhang, G., Liu, Q. G., Guo, L. L., Li, X. D., and Wai, O. (2009). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water column and sediment core of Deep Bay, South China." *Estuar, Coast Shelf S*, 83(1), 60-66.
- Rama, M. and Honda, M. (1961). "Natural radioactivity in the atmosphere." *J Geophys Res*, 66(10), 3227-3231.
- Rangarajan, C., Madhavan, R., and Gopalakrishnan, Smt. S. (1986). "Spatial and temporal distribution of lead-210 in the surface layer of the atmosphere." *J Environ Radioactiv*, 3(1), 23-33.
- Ravindra, K., Sokhi, R., and Van Grieken, R. (2008). "Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation." *Atmos Environ*, 42(13), 2895-2921.
- Roche, H., Buet, A., and Ramade, F. (2002). "Accumulation of lipophilic microcontaminants and biochemical responses in eels from the Camargue." *Ecotoxicology*, 11(3), 155-164.
- Rocher, B., Le Goff, J., Peluhet, L., Briand, M., Manduzio, H., and Gallois, J. (2006). "Genotoxicant accumulation and cellular defense activation in bivalves Chronically exposed to waterborne contaminants from the Seine river." *Aquat Toxicol*, 79(1), 65-77.
- Shahbazi, A., Zakaria, M. P., Yap, C. K., Tan, S. G., Surif, S., and Mohamed, C. A. R. (2010). "Use of different tissues of *Perna* as biomonitors of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the coastal waters of Peninsular Malaysia." *Environ Forensics*, 11(3), 248-263.
- Shen, H. Z., Huang, Y., Wang, R., Zhu, D., Li, W., and Shen, G. (2013). "Global atmospheric emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from 1960 to 2008 and future predictions." *Environ sci Technol*, 47(12), 6415-6424.
- Siripong, A. (2006). "Andaman seacoast of Thailand field survey after the December 2004 Indian Ocean tsunami." *Earthq Spectra*, 22(3), 187-202.
- Smirnov, A., Abrajano, T. A., Smirnov, A., and Stark, A. (1998). "Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Lake Erie, Part 1. Spatial distribution, transport, and deposition." *Org Geochem*, 29(5-7), 1813-1828.

- Stout, S. A., Uhler, A. D., and Boehm, P. D. (2001). "Recognition of and allocation among multiple sources of PAH in urban sediments." *Environ Claims J*, 13(4), 141–158.
- Sojину, O. S. S., Wang, J. Z., Sonibared, O. O., and Zeng, E. Y. (2010). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and soils from oil exploration areas of the Niger Delta, Nigeria." *J Hazard Mater*, 174(1-3), 641–647.
- Sugai, S. F., Alperin, M. J., and Reeburge, W. S. (1994). "Episodic deposition Cs-137 immobility in SkanBay sediment: a ten year Pb-210 and Cs-137 time series." *Mar Geol*, 116(3-4), 351-372.
- Tateda, Y., Carvalho, F. P., Fowler, S. W., and Miquel, J. C., (2003). "Fractation of ^{210}Po and ^{210}Pb in coastal waters of the NW Mediterranean continental Margin." *Cont Shelf Res*, 23(3-4), 295-316.
- Tipmanee, D., Deelaman, W., Pongpiachan, S., Schwarzer, K., and Sompongchaiyakul, P. (2012). "Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) as a chemical proxy to indicate Tsunami 2004 backwash in Khao Lak coastal area, Thailand." *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 12(5), 1441–1451.
- Toro, B., Palma-Fleming, H., and Navarro, J. M. (2004). "Organic pollutant burden of the giant mussels *Choromytilus chorus* from the south-central Chilean coast." *Chemosphere*, 55(2), 267–275.
- Turekian, K. K., Nozaki, Y. and Benninger, L. K. (1977). "Geochemistry of atmospheric radon and radon products." *Annu Rev Earth Pl Sc*, 5, 227-255.
- Universite Catholique de Louvain. (2005). "EM-DAT: The International Disaster Database." (online) Available on <http://www.em-dat.net>. (11 October 2018).
- United States Environmental Protection Agency. (1993). *Provisional guidance for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons*, Office of Research and Development Washington, DC., U.S.A.
- Wang, D., Tian, F., Yang, M., Liu, C., and Li, Y. F. (2009). "Application of positive matrix factorization to identify potential sources of PAHs in soil of Dalian, China." *Environ Pollut*, 157(5), 1559-1564.

- Wang, Z. and Fingas, M. (1995). "Differentiation of the source of spilled oil and monitoring of the oil weathering process using gas Chromatography-mass spectrometry." *J Chromatogr A*, 712(2), 321-343.
- Wattayakorn, G. and Chaipuriwong, J. (2006). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Thachin Estuary, Thailand." *J Sci Res Chula Univ*, 31(2), 76-82.
- Wild, S. R., Berrow, M. L., McGrath, S. P., and Jones, K.C. (1992). "Polynuclear aromatic hydrocarbons in crops from long-term field experiments amended with sewage sludge." *Environ Pollut*, 76(1), 25-32.
- Wilkening, M. H. and Clements, W. E. (1975). "Radon-222 from the ocean surface." *J Geophys Res*, 80(27), 3828-3830.
- Winkler, R. and Rosner, G. (2000). "Seasonal and long-term variation of ^{210}Pb concentration in air, atmospheric deposition rate and total deposition velocity in south Germany." *Sci Total Environ*, 263(1-3), 57-68.
- Witting, R., Ballach, H., and Kuhn, A. (2003). "Exposure of the root of *Populus nigra* L. cv. Loenen to PAHs and its effect on growth and water balance." *Environ Sci Pollut R*, 10(4), 235-244.
- Xu, J., Yu, Y., Wang, P., Guo, W., Dai, S., and Sun, H. (2007). "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments from Yellow River, China." *Chemosphere*, 67(7), 1408-1414.
- Xu, X., Li, X. G., and Sun, S. W. (2012). "A QSAR study on the biodegradation activity of PAHs in aged contaminated sediments." *Chemometr Intell Lab*, 114, 50-55.
- Yang, H. H., Lee, W. J., Mi, H. H., Wong, C. H., and Chen, C. B. (1998). "PAH Emissions Influenced by Mn-based Additive and Turbocharging from a Heavy-duty Diesel Engine." *Environ Int*, 24(4), 389-403.
- 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(18), 7012-7019

- Yender, R. and Chryistine, M. J. (2002). *Managing seafood safety after an oil spill. In research report of hazardous materials response division, office of response and restoration.* national oceanic and atmospheric administration, seattle., U.S.A.
- Yim, U. H., Hong, S. H., Shim, W. J., Oh, J. R., and Chang, M. (2005). "Spatio-temporal distribution and characteristics of PAHs in sediments from Masan Bay, Korea." *Mar Pollut Bull*, 50(3), 319-326.
- 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(4), 489-515.
- Yunker, M. B., Snowdon, L. R., Macdonald, R. W., Smith, J. N., Fowler, M. G., Skibo, D. N., McLaughlin, F. A., Danyushevskaya, A. I., Petrova, V. I., and Ivanov, G. I. (1996). "Polycyclic aromatic hydrocarbons composition and potential sources for sediment samples from the Beaufort and Barents Seas." *Environ Sci Technol*, 30(4), 1310-1320.
- Zeng, E. Y. and Vista, C. L. (1997). "Organic pollutions in the coastal environment off San Diego, California Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons." *Environ Chem*, 16(2), 179-188.
- Zhang, F., Zhang, R., Guan, M., Shu, Y., Shen, L., and Chen, X. (2016). "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and Pb isotopic ratios in a sediment core from Shilianghe Reservoir, eastern China: Implying pollution sources." *Appl Geochem*, 66, 140-148.
- Zhang, R., Zhang, F., and Zhang, T. C. (2013). "Sedimentary records of PAHs in a sediment core from tidal flat of Haizhou Bay, China." *Sci Total Environ*, 450-451, 280-288.
- Zhang, Y. and Tao, S. (2009). "Global atmospheric emission inventory of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) for 2004." *Atmos Environ*, 43(4), 812-819.
- Zuo, Z., Eisma, D., Gieles, R., and Beks, J. (1997). "Accumulation rates and sediment deposition in the Northwestern Mediterranean." *Deep Sea Res Part 2 Top Stud Oceanogr*, 44(3-4), 597-609.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

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) เมทานอล (methanol: CH_3OH)
- 9) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid: HCl)
- 10) ผงทองแดง (copper powder)
- 11) Standard reference marine (SRM) 1941b Organic in Marine Sediment

เครื่องมือและอุปกรณ์

ก. เครื่องมือ

- 1) Gravity corer
- 2) Freeze dryer ยี่ห้อ Heto รุ่น LyoPro 6000
- 3) เครื่องชั่งแบบความละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น PG5002-S
- 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 Spectrometer (GC-MS) รุ่น GCMS-QP2010 Ultra

ข. อุปกรณ์

- 1) แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)
- 2) ขวดแก้วสีชาแบบมีฝาปิด ขนาด 30 มิลลิตร
- 3) ขวดแก้ว duran 100 มิลลิตร
- 4) ขวด Vial (Amber) 2 มิลลิตร
- 5) เซลลูโลสทิมเบิล (cellulose thimble) ขนาด 30 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร
- 6) ตะแกรงร่อน (Test sieve) ขนาด) 0.25 ไมครอน
- 7) Microliter Syringes
- 8) Disposable Glass Pasteur Pipettes ขนาด 230 มิลลิเมตร

ภาคผนวก ข

ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างแท่งตะกอนดิน

ตารางที่ ข-1 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
C2 0-2	5.66	5.24	5.76	5.95	0.65	0.67	2.56	2.67	2.57	2.62	2.42	2.48	0.19	0.71	1.41	41.57
C2 2-4	5.55	4.69	3.76	3.75	0.79	0.80	0.83	0.87	1.59	1.68	1.32	1.31	0.09	0.55	0.81	28.41
C2 4-6	10.20	9.55	7.27	8.10	1.16	0.89	2.24	2.37	1.22	1.31	1.24	1.26	0.05	0.65	0.87	48.39
C2 6-8	5.40	5.93	4.55	4.84	1.22	0.76	1.41	1.48	0.82	0.78	1.01	1.04	0.05	0.44	0.60	30.33
C2 8-10	4.76	4.46	3.58	3.70	0.55	0.52	0.82	0.85	0.56	0.60	0.84	0.86	0.06	0.30	0.43	22.90
C2 10-12	5.90	5.60	5.06	5.11	0.80	0.86	1.95	1.98	1.40	1.43	1.46	1.49	0.09	0.54	0.91	34.59
C2 12-14	5.21	4.50	4.04	3.78	0.51	0.63	2.33	2.43	0.78	0.82	1.27	1.30	0.04	0.31	0.51	28.46
C2 14-16	5.19	4.85	4.04	3.99	0.54	0.45	2.85	2.92	0.67	0.76	1.31	1.34		0.30	0.46	29.71
C2 16-18	8.67	8.28	4.11	4.64	0.76	0.77	2.60	2.67	1.48	1.28	2.21	2.25	N.D.	0.79	1.00	41.52

ตารางที่ ข-1 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา (ต่อ)

ความถี่กษณ ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
C2 18-20	6.52	6.08	3.97	3.93	0.55	0.53	1.63	1.72	0.40	0.46	0.74	0.76	N.D.	0.28	0.40	27.96
C2 20-22	6.02	5.63	3.95	3.98	0.57	0.71	2.88	2.99	0.45	0.44	0.63	0.61	0.03	0.20	0.28	29.38
C2 22-24	4.46	4.20	3.38	3.36	1.27	1.29	3.33	3.47	3.18	3.30	1.85	1.93	0.04	0.25	0.33	35.63
C2 24-26	4.04	3.79	3.53	3.33	0.53	0.49	3.02	3.15	2.23	2.23	1.35	1.40	0.03	0.23	0.30	29.66
C2 26-28	6.91	6.37	4.12	4.07	0.54	0.59	0.67	0.74	0.32	0.32	0.59	0.64	0.02	0.19	0.21	26.29
C2 28-30	4.19	3.86	3.00	3.09	0.56	0.61	0.66	0.72	0.88	0.89	0.84	0.87	N.D.	0.28	0.37	20.82
C2 30-32	4.22	3.89	2.89	2.71	0.73	1.34	2.46	2.57	1.71	1.74	1.04	1.06	N.D.	0.18	0.23	26.79
C2 32-34	4.70	4.26	2.77	2.80	0.48	0.39	2.12	2.20	1.69	1.73	1.08	1.22	N.D.	0.17	0.25	25.85
C2 34-36	4.40	4.13	3.57	3.51	0.49	0.53	2.03	2.22	1.83	1.95	1.12	1.15	N.D.	0.20	0.23	27.36
C2 36-38	3.59	3.52	3.28	3.03	0.78	1.50	3.41	2.82	2.20	2.27	1.32	1.35	N.D.	0.20	0.19	29.44

ตารางที่ ข-1 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณเขาหลัก จังหวัดพังงา (ต่อ)

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
C2 38-40	2.52	3.27	2.14	1.96	0.49	0.41	1.64	1.71	0.80	0.83	0.63	0.62	0.02	0.16	0.22	17.43
C2 40-42	4.13	3.83	2.86	2.76	0.62	0.63	2.28	2.38	1.29	1.33	0.78	0.75	0.01	0.15	0.17	23.97
C2 42-44	3.58	3.07	2.38	2.37	0.52	0.53	2.47	2.61	1.48	1.51	0.97	0.99	N.D.	0.16	0.18	22.83

หมายเหตุ N.D = Not Detected

ตารางที่ ข-2 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณท่าบลูมู จังหวัดพังงา

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
CT 0-2	3.03	2.87	1.25	1.85	1.07	0.35	1.11	1.16	4.55	4.63	2.99	2.98	0.00	0.33	0.49	28.66
CT 2-4	2.88	2.73	1.62	1.75	1.36	1.64	0.19	1.32	1.15	1.34	1.91	1.78	0.00	0.38	0.71	20.75
CT 4-6	5.21	4.50	4.21	4.79	2.57	2.45	2.88	3.02	10.58	9.68	7.31	7.52	0.00	0.64	0.37	65.73
CT 6-8	3.17	2.98	2.06	3.42	3.06	2.93	2.24	2.05	1.07	1.09	0.89	0.76	0.00	0.39	0.40	26.50
CT 8-10	1.75	1.72	1.11	1.60	1.09	1.10	1.27	1.36	3.11	3.19	2.40	2.47	0.00	0.79	1.33	24.30
CT 10-12	3.15	2.76	1.54	2.74	1.61	2.21	1.32	1.37	1.49	1.57	1.52	1.55	0.00	0.26	0.50	23.60
CT 12-14	3.34	2.87	2.08	2.70	1.65	1.74	1.24	1.33	1.65	1.58	1.89	2.04	0.00	0.39	0.54	25.04
CT 14-16	5.36	4.24	1.78	2.55	1.31	1.12	1.54	1.60	4.75	2.70	9.09	9.41	0.00	2.61	13.64	61.70
CT 16-18	3.31	3.38	1.39	2.41	0.67	0.92	0.88	0.92	2.38	2.26	3.37	3.19	0.00	0.37	0.72	26.16
CT 18-20	4.37	4.74	1.66	3.30	1.90	1.34	2.03	2.13	2.35	2.40	2.82	2.85	0.00	0.46	0.92	33.25
CT 20-22	8.75	8.28	4.14	6.91	1.75	1.94	0.76	0.77	12.14	12.32	12.37	12.38	0.00	2.29	3.69	88.50
CT 22-24	5.22	4.51	4.22	4.80	2.58	2.45	2.88	3.02	10.60	9.70	7.32	7.53	0.00	0.64	0.37	65.86

ตารางที่ ข-3 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
G 0-1	13.34	12.52	22.09	20.29	4.87	4.96	14.45	15.01	21.91	22.35	16.43	16.84	1.33	5.61	10.64	202.65
G 1-2	17.96	17.14	19.38	17.70	4.34	4.42	11.93	12.41	22.87	23.30	16.54	16.92	1.30	4.97	10.28	201.45
G 2-3	23.79	22.28	29.41	27.38	6.47	5.12	19.98	21.11	34.54	35.15	26.91	27.67	1.80	8.48	16.58	306.67
G 3-4	16.52	17.18	23.33	22.11	2.51	3.99	16.57	16.79	25.23	25.40	19.36	19.83	1.65	6.87	12.75	230.09
G 4-5	16.38	14.84	14.95	19.04	0.90	1.71	7.66	7.98	18.26	18.63	13.29	13.58	1.13	4.32	7.79	160.48
G 5-6	11.83	12.08	19.17	17.98	5.18	5.27	12.60	13.06	25.42	25.87	18.15	18.57	1.18	5.92	11.18	203.46
G 6-7	8.57	8.91	13.11	14.35	1.78	1.02	9.65	10.05	17.57	17.90	13.06	13.36	1.15	4.67	8.15	143.28
G 7-8	14.83	14.02	26.53	25.10	4.90	4.82	19.90	20.37	34.72	34.78	26.76	27.50	1.89	7.87	15.25	279.24
G 8-9	11.01	10.45	19.67	19.43	2.70	7.25	13.63	14.20	25.63	25.94	18.44	18.54	1.32	5.57	10.74	204.53
G 9-10	10.13	9.90	14.82	14.60	1.95	2.38	10.75	11.20	23.72	24.36	16.62	16.89	1.11	5.54	10.57	174.54
G 10-11	10.60	9.56	18.27	17.65	4.46	4.54	12.46	13.22	22.11	22.53	16.47	16.75	1.12	5.91	11.15	186.80
G 11-12	10.93	10.23	16.35	16.60	5.03	5.12	13.36	13.92	23.43	23.86	17.61	18.11	1.45	5.94	11.65	193.59
G 12-13	7.94	7.55	11.43	13.01	3.64	3.70	9.03	9.44	19.54	19.91	14.57	14.69	1.29	5.19	9.86	150.78

ตารางที่ ข-3 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก (ต่อ)

ความถี่ชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
G 13-14	8.67	7.84	10.43	11.05	3.35	3.41	7.76	8.15	16.77	16.85	12.22	12.39	0.99	4.66	8.47	132.99
G 14-15	14.26	12.82	23.38	25.21	6.55	6.44	17.41	17.99	26.29	26.79	19.06	19.50	1.21	5.99	11.75	234.62
G 15-16	16.08	14.64	24.00	23.84	5.36	5.47	16.96	17.66	31.83	32.68	24.39	25.02	1.91	7.80	16.32	263.95
G 16-17	12.82	11.83	26.03	25.05	6.66	6.89	21.71	22.89	41.58	42.76	30.43	31.13	2.62	10.02	20.65	313.07
G 17-18	11.32	10.60	17.67	16.75	4.57	4.39	14.23	14.84	29.01	29.63	20.51	21.07	1.62	7.08	14.13	217.42
G 18-19	8.54	8.00	10.59	11.94	3.81	3.75	9.21	9.41	22.41	22.83	16.20	16.80	1.02	5.95	11.15	161.61
G 19-20	8.48	8.46	16.14	16.86	1.65	1.68	14.64	15.55	28.23	28.76	20.73	21.21	1.66	8.07	14.70	206.80
G 20-21	14.60	13.66	25.97	23.96	4.69	5.23	20.63	21.49	36.04	36.73	26.31	26.64	2.17	9.90	18.66	286.67
G 25-26	7.78	7.94	13.53	13.44	2.09	2.53	11.50	11.92	25.21	26.36	18.60	19.08	1.57	6.01	13.22	180.78
G 30-31	13.40	12.22	33.51	28.13	4.46	4.54	23.93	24.80	38.18	38.86	27.82	28.46	2.47	9.39	18.34	308.52
G 35-36	5.44	5.25	6.66	6.32	1.79	2.14	4.88	5.19	17.51	18.00	13.53	13.57	1.30	6.39	10.66	118.63
G 40-41	4.62	4.18	4.69	4.06	1.58	1.59	3.37	3.58	6.36	6.45	4.78	4.89	0.55	2.40	4.26	57.36

ตารางที่ ข-3 ระดับความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดบริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก (ต่อ)

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	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
G 45-46	6.59	6.14	6.67	10.62	1.76	1.31	3.35	3.63	6.96	7.09	5.02	5.13	0.49	2.02	3.16	69.96
G 50-51	4.78	4.46	6.07	6.27	1.74	1.73	3.53	3.72	3.91	3.98	3.19	3.18	0.29	1.57	2.27	50.71
G 55-56	4.54	4.27	4.18	3.65	0.88	1.10	1.93	2.02	1.44	1.41	0.80	0.85	0.08	0.44	0.77	28.36
G 60-61	3.11	2.93	2.57	2.18	0.62	0.41	1.51	1.57	1.60	1.66	1.17	1.00	0.17	0.71	1.33	22.55
G 61-63	5.40	5.12	5.54	8.68	1.14	2.00	1.90	1.98	1.27	1.27	0.98	1.02	0.05	0.42	0.60	37.38

ตารางที่ ข-4 ค่าอัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs บริเวณชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	Fluo/(Fluo+Pyr)	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	B[a]A/(B[a]A+Chry)
C2 0-2	0.49	0.66	0.49
C2 2-4	0.50	0.59	0.49
C2 4-6	0.47	0.57	0.49
C2 6-8	0.48	0.58	0.49
C2 8-10	0.49	0.58	0.49
C2 10-12	0.50	0.63	0.50
C2 12-14	0.52	0.62	0.49
C2 14-16	0.50	0.61	0.49
C2 16-18	0.47	0.56	0.49
C2 18-20	0.50	0.59	0.49
C2 20-22	0.50	0.59	0.49
C2 22-24	0.50	0.57	0.49
C2 24-26	0.51	0.57	0.49
C2 26-28	0.50	0.53	0.48
C2 28-30	0.49	0.57	0.48
C2 30-32	0.52	0.56	0.49
C2 32-34	0.50	0.59	0.49
C2 34-36	0.50	0.54	0.48
C2 36-38	0.52	0.49	0.55
C2 38-40	0.52	0.58	0.49
C2 40-42	0.51	0.52	0.49
C2 42-44	0.50	0.53	0.49

ตารางที่ ข-5 ค่าอัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs บริเวณท่าบละมู จังหวัดพังงา

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	Fluo/(Fluo+Pyr)	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	B[a]A/(B[a]A+Chry)
CT 0-2	0.40	0.60	0.49
CT 2-4	0.48	0.65	0.13
CT 4-6	0.47	0.37	0.49
CT 6-8	0.38	0.51	0.52
CT 8-10	0.41	0.63	0.48
CT 10-12	0.36	0.66	0.49
CT 12-14	0.44	0.58	0.48
CT 14-16	0.41	0.84	0.49
CT 16-18	0.37	0.66	0.49
CT 18-20	0.33	0.67	0.49
CT 20-22	0.37	0.62	0.50
CT 22-24	0.47	0.37	0.49

ตารางที่ ข-6 ค่าอัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	Fluo/(Fluo+Pyr)	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	B[a]A/(B[a]A+Chry)
G 0-1	0.52	0.65	0.49
G 1-2	0.52	0.67	0.49
G 2-3	0.52	0.66	0.49
G 3-4	0.51	0.65	0.50
G 4-5	0.44	0.64	0.49
G 5-6	0.52	0.65	0.49
G 6-7	0.48	0.64	0.49
G 7-8	0.51	0.66	0.49
G 8-9	0.50	0.66	0.49
G 9-10	0.50	0.66	0.49
G 10-11	0.51	0.65	0.49
G 11-12	0.50	0.66	0.49
G 12-13	0.47	0.66	0.49
G 13-14	0.49	0.65	0.49
G 14-15	0.48	0.66	0.49
G 15-16	0.50	0.68	0.49
G 16-17	0.51	0.67	0.49
G 17-18	0.51	0.67	0.49
G 18-19	0.47	0.65	0.49
G 19-20	0.49	0.65	0.48
G 20-21	0.52	0.65	0.49
G 25-26	0.50	0.69	0.49

ตารางที่ ข-6 ค่าอัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs บริเวณอ่าวไทยตอนในฝั่งตะวันออก (ต่อ)

ความลึกชั้น ตะกอนดิน (เซนติเมตร)	Fluo/(Fluo+Pyr)	Ind/(Ind+B[g,h,i]P)	B[a]A/(B[a]A+Chry)
G 30-31	0.54	0.66	0.49
G 35-36	0.51	0.63	0.49
G 40-41	0.54	0.64	0.49
G 45-46	0.39	0.61	0.48
G 50-51	0.49	0.59	0.49
G 55-56	0.53	0.64	0.49
G 60-61	0.54	0.65	0.49
G 61-63	0.39	0.59	0.49

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวพัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5930221002

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2558

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พัชรินทร์ ฉิมดิษฐ์, เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และदनัย ทิพย์มณี. (2561). “บันทึกทางตะกอนวิทยาของสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) ในแท่งดินตะกอนจากชายฝั่งทะเลเขาหลัก จังหวัดพังงา.” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 6 , โรงแรมบางแสนเฮอริเทจ จังหวัดชลบุรี: 18-20 มิถุนายน 2561.