



การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแท่งตะกอนดินทะเลน้อย  
และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี  
Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lakes  
Sediments Core in Thalenoi and Nonghankumpawapi Lake

นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม  
Natthapong ladtem

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแท่งตะกอนดินทะเลน้อย  
และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี  
Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lakes  
Sediments Core in Thalenoi and Nonghankumpawapi Lake

นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม  
Natthapong ladtem

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Environmental Management

Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแท่งตะกอนดิน ทะเลน้อยและทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี
ผู้เขียน	นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม

---

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**

.....  
(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ  
(ดร.คัมภีร์ พ่วงทอง)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์)

.....กรรมการ  
(ดร.รุจยา บุญยพูนานนท์)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธิสุนัน)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงค์)

.....กรรมการ  
(ดร.दनัย ทิพย์มณี)

.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งแสง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.दनัย ทิพยมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในแท่งตะกอนดินทะเลน้อยและทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี
ผู้เขียน	นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2561

### บทคัดย่อ

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs 15 ชนิด (ประกอบด้วย Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 11HBenzo[a]Fluoranthene, 11HBenzo[b]Fluoranthene, Benzo[a]Anthracene, Chrysene, Benzo[b]Fluoranthene, Benzo[k]Fluoranthene, Benzo[a]Pyrene, Benzo[e]Pyrene, Benzo[g,h,i]Perylene, Dibenzo[a,h] Anthracene, และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene ในตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลน้อย 73 ตัวอย่าง และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี 62 ตัวอย่าง โดยการสกัดด้วย Soxhlet Extraction ใช้ไดคลอโรมีเทน (DCM) เป็นตัวทำละลาย แล้วนำไปตรวจวัดค่าระดับความเข้มข้นด้วยเครื่อง GC-MS พบว่าตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL1, SL2, SL3 มีค่าความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> อยู่ในช่วง 169-1,217, 20-169, 19-167 นก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ ส่วนตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของสถานี HK1, HK2, HK3 มีค่าความเข้มข้นของ  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> อยู่ในช่วง 242-1,111, 170-394, 110-650 นก./ก.นน.แห้ง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์อัตราส่วนองค์ประกอบระหว่างชนิดของสาร PAHs พบว่าสาร PAHs ที่สะสมตลอดแท่งตะกอนดินส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ รองลงมาคือ ปิโตรเลียม และจากการวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากทะเลน้อยในปีพ.ศ.2504-2522 ประเทศไทยประสบกับปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นประจำแทบทุกปี ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดภาวะภัยแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ และจากภาวะแห้งแล้งนี้จึงส่งผลให้ในปีพ.ศ.2508 บริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยเกิดไฟไหม้ป่าครั้งใหญ่ขึ้น ส่วนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสามารถสันนิษฐานได้จากหลักฐานทางธรณีเคมีของอินทรีย์วัตถุจากอดีตส่วนใหญ่พบเศษถ่านไม้ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมากประกอบกับสภาพอากาศแบบแห้งแห้ง จึงคาดว่า มีเหตุการณ์ไฟไหม้ป่าอย่างบ่อยครั้งในช่วงสมัยโฮโลซีนตอนต้น

<b>Thesis</b>	Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Lakes Sediments Core in Thalenoi and Nonghankumpawapi Lake
<b>Author</b>	Mr.Natthapong ladtem
<b>Major Program</b>	Environmental Management
<b>Academic Year</b>	2018

### ABSTRACT

Analysis of types and quantities of 15 PAHs (including Phenanthrene, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, 11HBenzo[a]Fluoranthene, 11HBenzo[b]Fluoranthene, Benzo[a]Anthracene, Chrysene, Benzo[b]Fluoranthene, Benzo[k]Fluoranthene, Benzo[a]Pyrene, Benzo[e]Pyrene, Benzo[g,h,i]Perylene, Dibenzo[a,h]Anthracene and Indeno[1,2,3-cd]pyrene) in 73 sediment core samples from Thalenoi and 62 samples from Nonghankumpawapi Lake. By analyzing the relationships of elements deposited in the sediment through time at different depths, the sources of PAHs can be determined. The sediment extraction process was carried out by the soxhlet method using dichloromethane (DCM) as solvent, and then took to intensity measurement by GC-MS concentrations. Total concentration of PAHs ( $\Sigma$  PAHs) in Thalenoi sediment ranged from 169-1,217, 20-169, 19-167 ng/g dry weight for station SL1, SL2, SL3 respectively. Whereas,  $\Sigma$ PAHs in sediments core from Nonghankumpawapi Lake ranged from 242-1,111, 170-394, 110-650 ng/g dry weight for station HK1, HK2, HK3 respectively. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated composition of PAHs in sediment samples were characterized by pyrogenic source and petrogenic respectively. From the result of disaster that happened in Thalenoi during 1961-1979 found the El Nino almost every year. The result showed the drought is longer than usually and it affected to forest fire in 1965 at Thalenoi area. Nonghankumpawapi Lake assumed from the geochemical of organic matter from the past. The result found a lot of fragments of charcoal that made from biomass burning and related with the dry weather from that time its affected to forest fire during the period early holocene.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.दनัย ทิพย์มณี ศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรมาศ สุทธินนท์ ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิจัย รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและความถูกต้องของรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำจนกระทั่งเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณโครงการ “การกระจายตัวและลักษณะเฉพาะของแบล็คคาร์บอนจากการเผาไหม้ของชีวมวลในเขตละติจูดกลางและต่ำของเอเชียและผลกระทบที่มีต่อภูมิอากาศของภูมิภาครวมทั้งปริมาณน้ำฝนจากลมมรสุม” โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อย จ.พัทลุง และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และสุดท้ายขอขอบคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดการศึกษา

ณัฐพงษ์ เอียดเต็ม



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูปประกอบ	(14)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(17)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 พื้นที่ในการศึกษา	3
1.2.1 ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง	3
1.2.2 ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี	7
1.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	9
1.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ	12
1.3.2 คุณสมบัติทางเคมี	12
1.3.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	14
1.3.4 อัตราส่วนสำหรับการบ่งชี้แหล่งกำเนิด	19
1.3.5 การปนเปื้อนและการกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	21
1.3.6 การแพร่กระจายของสาร PAHs ในตะกอนดิน	23
1.3.7 ผลกระทบของสาร PAHs ในตะกอนดินต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม	27
1.4 วัตถุประสงค์	34
บทที่ 2 วิธีการวิจัย	35
2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	35
2.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา	37

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
2.3	วิธีทดสอบ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	38
2.3.1	วิธีทดสอบ	38
2.3.2	สารเคมี	39
2.4	การเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างตะกอนดิน	39
2.4.1	การเตรียมอุปกรณ์	39
2.4.2	การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน	40
2.5	การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดิน	41
2.5.1	การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน	41
2.5.2	วิธีการแยกส่วน (Factionation Chromatography)	42
2.5.3	เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS	43
2.6	การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	46
2.7	การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสาร PAHs	46
2.7.1	Relative Response Factor (RRF)	46
2.7.2	วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard	47
2.8	การวิเคราะห์ข้อมูล	48
บทที่ 3	ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	49
3.1	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน	49
3.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดสาร PAHs ในตะกอนดิน ตามระดับความลึก	50
3.2.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ใน ตะกอนดินทะเลน้อย	51
3.2.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ใน ตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี	59

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา	70
3.3.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลน้อย	70
3.4.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี	79
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	87
4.1 สรุปผลงานวิจัย	87
4.2 ข้อเสนอแนะ	89
บรรณานุกรม	90
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)	115
ภาคผนวก ข ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน	119
ภาคผนวก ค ค่าอัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน	133
ประวัติผู้เขียน	140

## รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1-1	สาร PAHs 16 ชนิด ในบัญชีรายชื่อสารพิษอันตรายกำหนดโดย U.S.EPA	11
ตารางที่ 1-2	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร PAHs	13
ตารางที่ 1-3	ปริมาณสาร B[a]P ในเขม่าจากท่อไอเสียยานพาหนะควันบุหรี่ชนิดต่างๆ และอาหารบางชนิด	16
ตารางที่ 1-4	ปริมาณสาร PAHs จากแหล่งกำเนิดน้ำมันดิบชนิดต่างๆ	18
ตารางที่ 1-5	แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ	18
ตารางที่ 1-6	แสดงอัตราส่วนแหล่งกำเนิดของสาร PAHs	20
ตารางที่ 1-7	การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในชั้นตะกอนดินบริเวณพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก	26
ตารางที่ 1-8	แสดงปริมาณสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ	29
ตารางที่ 1-9	การแบ่งชนิดของสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็งโดย IARC	33
ตารางที่ 2-1	แสดงรายละเอียดตำแหน่งพิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อย จ.พัทลุง	36
ตารางที่ 2-2	แสดงรายละเอียดตำแหน่งพิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหาน กุมภวาปี จ.อุดรธานี	37
ตารางที่ 2-3	สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS) ในการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสาร PAHs	44
ตารางที่ 3-1	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b	49
ตารางที่ 3-2	ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL1	51
ตารางที่ 3-3	ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL2	54
ตารางที่ 3-4	ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL3	56
ตารางที่ 3-5	ปริมาณความเข้มข้นรวมสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1	59

### รายการตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2	63
ตารางที่ 3-7 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3	65
ตารางที่ 3-8 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในตะกอนดินกับการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ ทั่วโลก	69
ตารางที่ 3-9 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL1	76
ตารางที่ 3-10 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL2	77
ตารางที่ 3-11 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL3	78
ตารางที่ 3-12 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของสถานี HK1	84
ตารางที่ 3-13 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของสถานี HK2	85
ตารางที่ 3-14 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของสถานี HK3	86
ตารางที่ ก-1 เวลาแสดงผล (Retention Time) ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard 2 ชนิด	116
ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1	119
ตารางที่ ข-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2	122

### รายการตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ข-3 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวม สาร PAHs (นบก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL3	124
ตารางที่ ข-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวม สาร PAHs (นบก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี สถานี HK1	127
ตารางที่ ข-5 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวม สาร PAHs (นบก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี สถานี HK2	129
ตารางที่ ข-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวม สาร PAHs (นบก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี สถานี HK3	131
ตารางที่ ค-1 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL1	133
ตารางที่ ค-2 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL2	134
ตารางที่ ค-3 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL3	135
ตารางที่ ค-4 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1	137
ตารางที่ ค-5 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2	138
ตารางที่ ค-6 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่าง ตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3	139

## รายการรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1-1 แสดงพื้นที่ตั้งทะเลน้อย จ.พัทลุง	4
รูปที่ 1-2 แสดงพื้นที่ตั้งทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี	8
รูปที่ 1-3 แสดงลักษณะการแพร่กระจายของสาร PAHs ในตะกอนดิน	24
รูปที่ 2-1 แสดงรายละเอียดตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณทะเลน้อย จ.พัทลุง	36
รูปที่ 2-2 แสดงรายละเอียดตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี	37
รูปที่ 2-3 (ก) อุปกรณ์เก็บตะกอนดินตามแนวติ่ง (Core Sediment) และ (ข) ตัวอย่างตะกอนดิน	38
รูปที่ 2-4 (ก) ตัวอย่างตะกอนดิน (ข) ตัวอย่างตะกอนดินที่ผ่านการบดจนละเอียด และ (ค) การเก็บตัวรักษาตัวอย่างเพื่อรอการวิเคราะห์	40
รูปที่ 2-5 (ก) ชุดสกัดแบบ Soxhlet และ (ข) เครื่องระเหยสาร (Rotary evaporators)	41
รูปที่ 2-6 (ก) การแยกส่วน (Factionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล และ (ข) การเป่าเบาๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อลดปริมาตรของสารละลาย	43
รูปที่ 2-7 เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS)	43
รูปที่ 2-8 ผังสรุปขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดินด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี	45
รูปที่ 3-1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Material; SRM) 1941b Organics in Marine Sediment	50
รูปที่ 3-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL1	52
รูปที่ 3-3 เปรอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> แต่ละชนิดในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1	53
รูปที่ 3-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma$ PAHs <sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL2	54

### รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-5 เเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2	55
รูปที่ 3-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อย สถานี SL3	57
รูปที่ 3-7 เเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3	58
รูปที่ 3-8 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบ หนองหานกุมภวาปีสถานี HK1	60
รูปที่ 3-9 เเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1	62
รูปที่ 3-10 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบ หนองหานกุมภวาปีสถานี HK2	63
รูปที่ 3-11 เเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2	64
รูปที่ 3-12 ปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบ หนองหานกุมภวาปีสถานี HK3	66
รูปที่ 3-13 เเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร $\Sigma\text{PAHs}_{15}$ แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3	67
รูปที่ 3-14 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Fluo/(Fluo+Pyr) ในดินตะกอนทะเลน้อย ของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	71
รูปที่ 3-15 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Ind/(Ind+B[ghi]P) ในดินตะกอนทะเลน้อย ของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	72
รูปที่ 3-16 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ B[a]A/(B[a]A+Chry) ในดินตะกอนทะเลน้อย ของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	73



### รายการรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-17 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) ในดินตะกอนทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	74
รูปที่ 3-18 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/(Ind+B[ghi]P) ในแท่งตะกอนดินทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	75
รูปที่ 3-19 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Fluo/(Fluo+Pyr) ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3	79
รูปที่ 3-20 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Ind/(Ind+B[ghi]P) ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3	80
รูปที่ 3-21 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ B[a]A/(B[a]A+Chry) ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3	81
รูปที่ 3-22 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่าง Ant/(Ant+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3	82
รูปที่ 3-23 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/(Ind+B[ghi]P) ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3	83
รูปที่ ก-1 โครมาโทแกรม (Chromatogram) ของสาร PAHs จำนวน 17 ชนิด	115
รูปที่ ก-2 โครมาโทแกรมสารอ้างอิงมาตรฐาน (SRM) ของ (ก) SRM 1 (ข) SRM 2 (ค) SRM 3 และ (ง) SRM 4	117
รูปที่ ก-3 โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL109 (ข) สถานี SL308 และโครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ค) สถานี HK105 (ง) สถานี HK213	118

### สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ซม.	=	เซนติเมตร
ตร.กม.	=	ตารางกิโลเมตร
น.ม.	=	นาโนเมตร
นกก./ก.นน.แห้ง	=	นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง
นกก./ล.	=	นาโนกรัมต่อลิตร
นกก./ลบ.ม.	=	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ม.	=	เมตร
มก./กก.	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
มคม.	=	ไมโครกรัม
มคก./ก.	=	ไมโครกรัมต่อกรัม
มคก./ลบ.ม.	=	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มคล.	=	ไมโครลิตร
มม.	=	มิลลิเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
พกก./ลบ.ม.	=	พิโกกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ซ.	=	องศาเซลเซียส

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำตั้งเรื่อง

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจน (H) และคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งถูกจัดอยู่ในประเภทของสารมลพิษจำพวกสารอินทรีย์ที่มีความคงทน (Persistent Organic Pollutants, POPs) มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป (Bouloubassi et al., 2012; Bragato et al., 2012; Callen et al., 2013) สาร PAHs ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ จุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง สามารถเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมมนุษย์ก็ได้ ซึ่งแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์และเชื้อเพลิงฟอสซิลจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม การถ่ายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วหรือการรั่วไหลของน้ำมันต่างๆ (Srogi, 2007; Timoney and Lee, 2011; Zhang et al., 2012; Katsoyiannis and Breivik, 2014) นอกจากนี้สาร PAHs เป็นสารที่มีความคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลายาวนาน การสัมผัสสาร PAHs ทั้งโดยตรงและโดยอ้อมของสิ่งมีชีวิตส่งผลให้เกิดการสะสมและถ่ายทอดผ่านวัฏจักรห่วงโซ่อาหาร และมีแนวโน้มที่จะเกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (Ravindra et al., 2001) โดยอาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (Carcinogen) (Ravindra, K. et al., 2008; Dumanoglu, Y. et al. 2017) และสามารถนำไปสู่การกลายพันธุ์ (Mutagen) หรือก่อให้เกิดความผิดปกติของตัวอ่อน (Teratogenic) ในมนุษย์และสัตว์ได้ (Zhi et al., 2015)

สาร PAHs สามารถแพร่กระจายและสะสมตัวอยู่ในทะเลสาบ โดยมีการเคลื่อนตัวของสารจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิที่อยู่ในรูปของละอองการเผาไหม้ อนุภาคของแข็งขนาดเล็ก (Small Particles) ละอองในอากาศ (Aerosols) หรือละอองไอน้ำ (Vapor) จากนั้นจะดูดซับติดแน่นอยู่กับฝุ่นละอองหรืออนุภาคสารแขวนลอยในบรรยากาศ สามารถตกลงสู่บริเวณพื้นที่ทะเลสาบด้วยแรงโน้มถ่วงหรือปะปนมากับน้ำฝนได้ (Guzzella and De Paolis, 1994; Hu et al., 2014) นอกจากนี้ยัง

เกิดจากการชะล้างจากพื้นดิน เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม การหกรั่วไหลของน้ำมันหล่อลื่น น้ำจากแหล่งชุมชนและแหล่งเกษตรกรรม ซึ่งสาร PAHs สามารถเคลื่อนตัวลงสู่ทะเลสาบโดยการดูดซับกับอนุภาคของตะกอนดินได้ (EPRI, 2000; Dong et al., 2012; Rinawati et al., 2012; Tehrani et al., 2012)

ตะกอนดินทะเลสาบจัดเป็นแหล่งสะสมสารมลพิษที่สำคัญ โดยเฉพาะสาร PAHs เนื่องจากสาร PAHs จะถูกปล่อยมาจากแหล่งอุตสาหกรรม แหล่งชุมชน และเกิดจากน้ำชะ (Surface Run-off) จากธรรมชาติบริเวณรอบๆ ทะเลสาบ ดังนั้นจึงควรมีความตระหนักถึงระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนและการบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีความเจริญก้าวหน้าและมีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuan และคณะ (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประวัติและแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนทะเลสาบหยางจง ประเทศจีน โดยเก็บตะกอนดินที่ระดับความลึก 20 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในช่วงปีค.ศ.1950-1990 อยู่ในช่วง 200.70-1,913.70 นนก./ก.และพบปริมาณสูงสุดในปีค.ศ.1990 มีค่าเท่ากับ 4,560.80 นนก./ก.ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

พื้นที่ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม การทำประมง การเก็บสัตว์น้ำและพืชน้ำในทะเลสาบและแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งปัจจุบันได้มีการส่งเสริมในเรื่องของการท่องเที่ยวมากขึ้น ทำให้ต้องมีการพัฒนาพื้นที่เพื่อรองรับปริมาณจำนวนนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ล้วนแล้วมีความจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงทั้งสิ้น โดยการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดการปนเปื้อนของสาร PAHs ด้วย นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ยังได้มีเหตุการณ์สำคัญที่อาจก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสาร PAHs เช่น ปีพ.ศ.2546 ได้มีการก่อสร้างสะพานข้ามทะเลสาบสงขลาบริเวณพื้นที่ทะเลน้อยกับทะเลหลวง ปีพ.ศ.2555 เกิดสถานการณ์ไฟไหม้ป่าพรุควนเคร็งที่รุนแรงลามไปถึงบริเวณพื้นที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อย อ.ควนขนุน จ.พัทลุง ปีพ.ศ.2556 เกิดการระเบิดของภูเขาไฟมายอน เกาะลูซอน ประเทศฟิลิปปินส์ ปีพ.ศ.2558 เกิดไฟไหม้ป่าที่เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย และบริเวณพื้นที่จังหวัดอุดรธานีปัจจุบันมีความถี่ของการเกิดไฟไหม้ป่าที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น

ปัจจุบันงานวิจัยจำนวนมากได้มีความตระหนักถึงปัญหาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศที่มีกิจกรรมทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ แต่สำหรับประเทศไทยงานวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบยังมีน้อยอยู่ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ได้มีการวิเคราะห์ตะกอนดินโดยจะศึกษาถึงชนิด ปริมาณความเข้มข้น เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงระดับการสะสมของสาร PAHs ที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แล้วนำไปสู่การหาอัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดและวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นในอดีตว่ามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละคาบเวลาเป็นอย่างไร จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมและเป็นข้อมูลภูมิหลัง (Background Data) เพื่อกำหนดค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน เพื่อควบคุมการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นต่อไปในอนาคตและการจัดการพื้นที่ทะเลสาบให้มีความยั่งยืนต่อไป

## 1.2 พื้นที่ในการศึกษา

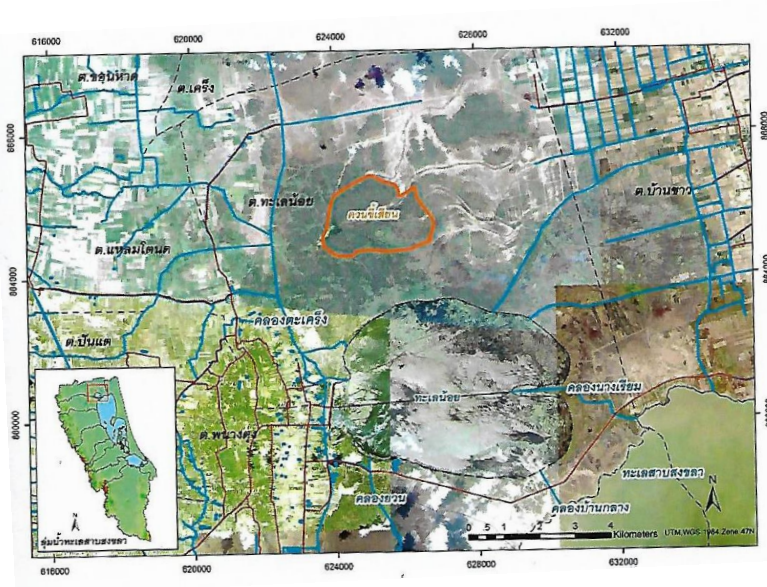
### 1.2.1 ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง

#### 1) สภาพทั่วไป

ทะเลน้อยเป็นทะเลสาบน้ำจืดที่มีพื้นที่เล็กที่สุดตั้งอยู่ทางตอนบนสุดของทะเลสาบสงขลา ตำบลนางตุงและตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ตั้งอยู่บริเวณละติจูดที่ 7 องศา 43 ลิปดา ถึง 8 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 5 ลิปดา ถึง 100 องศา 15 ลิปดา มีคลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน เชื่อมต่อระหว่างทะเลน้อยกับทะเลหลวง มีเนื้อที่ประมาณ 450 ตร.กม. ประกอบด้วยส่วนพื้นดินมีเนื้อที่ประมาณ 422 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 94 โดยมีลักษณะเป็นที่ราบริมทะเลสาบประกอบด้วย ป่าพรุ ป่าเสม็ด ทุ่งหญ้า และนาข้าว เป็นแอ่งน้ำมีพืชปกคลุม และที่ราบเชิงเทือกเขาบรรทัด ส่วนพื้นน้ำมีเนื้อที่ประมาณ 28 ตร.กม. หรือประมาณ 18,480 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6 ของพื้นที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อย มีความยาวประมาณ 6 กม. กว้างประมาณ 5 กม. ความลึกเฉลี่ย 1.50 ม. โดยมีต้นน้ำมาจากเทือกเขาบรรทัด ซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของทะเลน้อย

## 2) ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศเป็นลุ่มน้ำขังต่ำ (Marsh) หรืออาจเรียกว่าซากทะเล (Estuarine) เป็นฝั่งทะเลที่เว้าเป็นช่องเข้าไปยังปากแม่น้ำและน้ำจืดไหลลงมาปะทะแล้วผสมกับน้ำเค็มอยู่ทางตอนล่างของปากแม่น้ำโดยมีน้ำจืดกับน้ำเค็มผสมกันหรือบริเวณก้นอ่าวที่แม่น้ำหลายสายไหลลงมารวมกัน ทำให้มีอิทธิพลของน้ำทะเลหนุนเข้าไปผสมกับน้ำจืดในบริเวณทะเลน้อย โดยจะมีน้ำขังตลอดทั้งปี บางบริเวณมีซากพื้ของพืชพรรณทับถมอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังปกคลุมไปด้วยพื้ชน้ำ เช่น บัว กระจูด กก หญ้าน้ำกก ปรีอ ผักตบชวา และพื้ชลอยน้ำ เป็นต้น กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณน้ำตื้นและน้ำค่อนข้างนิ่ง (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2559) โดยทิศตะวันออกติดกับทะเลหลวง (ทะเลสาบสงขลาตอนบน) ทางหลวงจังหวัดสงขลา หมายเลข 4093 ท้องที่ตำบลตะเครียะ ตำบลบ้านขาว อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา ทิศตะวันตกติดกับคลองคึกฤทธิ์ (ทางซุด) ฝั่งทะเลน้อยด้านตะวันตก พุ่ณา ป่าปรีอ ป่าไม้เสม็ดขาว ตำบลทะเลน้อย ตำบลพนางตุง อำเภควนขุ่น จังหวัดพัทลุง ตำบลชอนหาด ตำบลนางหลง ตำบลท่าเสม็ด ตำบลเครีง อำเภควนข่อย จังหวัดนครศรีธรรมราช ทิศเหนือติดกับคลองชะอวด พุ่ณา ป่าไม้เสม็ด ตำบลเครีง อำเภควนข่อย ตำบลควนชลีก อำเภควนไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช และทิศใต้ติดกับคลองปากประ ตำบลพนางตุง อำเภควนขุ่น จังหวัดพัทลุง ดังแสดงรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 แสดงพื้นที่ตั้งทะเลน้อย จ.พัทลุง

แหล่งที่มา: ฉัตรไชย รัตนไชยและคณะ, 2559

### 3) ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศทะเลน้อยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดผ่านมหาสมุทรอินเดียช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านทะเลจีนใต้และอ่าวไทยช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม มีลักษณะอากาศเป็นแบบมรสุมในเขตร้อน (Tropical Monsoon Climate) ซึ่งเป็นภูมิอากาศที่มีอากาศร้อนชื้น ทำให้มีฝนตกเกือบทั้งปี สามารถแบ่งออกเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูฝน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน โดยได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดเอาความชื้นจากทะเลอันดามันทำให้เกิดฝนตกชุก และช่วงที่ 2 ได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเอาความชื้นจากอ่าวไทยทำให้มีฝนตกชุกในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ฤดูร้อนอยู่ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ที่เป็นลมร้อนพัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้อากาศทั่วไปมีสภาพร้อนชื้น ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 2,065.70 มม. ปริมาณน้ำฝนตกเฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 505.00 มม. และปริมาณฝนตกเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 72.00 มม. มีจำนวนวันที่ฝนตกรวมประมาณ 178 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.90 ซ. อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายนมีค่า 29.00 ซ. และอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนธันวาคมมีค่า 26.30 ซ. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีมีค่าค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 76 ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม เนื่องจากอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยและนำเอาความชุ่มชื้นมาสู่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีค่าประมาณร้อยละ 81 และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในเดือนสิงหาคมมีค่าประมาณร้อยละ 72 (ปรเมศร์ อมาตยกุลและเทวินทร์ โจมทา, 2560)

### 4) สภาพทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยา บริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อย เป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) มีอายุประมาณ 1.80 ล้านปี ปัจจุบันเป็นชั้นตะกอนร่วนที่ยังจับตัวไม่แน่น อัตราการสะสมตะกอนดินมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-0.87 ซม./ปี และอัตราเฉลี่ยการสะสมตะกอนดินมีค่า 0.54 ซม./ปี (เทิดทูน ดำรงค์ฤทธิศาสตร์, 2548) ลักษณะการสะสมของตะกอนดินเกิดจากการกระทำของแม่น้ำและกระแสน้ำชายฝั่งทะเล ต้นกำเนิดของแหล่งตะกอนดินมาจากการเทือกเขาบรรทัดและเทือกเขาสันกาลาคีรี โดยมีคลองต่างๆ เป็นตัวนำพาตะกอนลงสู่ทะเลสาบ นอกจากนี้ในบริเวณพื้นที่ยังมีพีชน้ำ เช่น ต้นกก ผักตบชวา บัวเป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดการย่อยสลายของซากพืชเหล่านั้นก็จะ

ทำให้บริเวณตะกอนท้องน้ำมีปริมาณซากพืชอยู่เป็นจำนวนมาก ลักษณะตะกอนดินทะเลสาบประกอบด้วย ตะกอนชั้นล่างสุดเป็นตะกอนที่เกิดจากการพัดพาของน้ำในช่วงที่ระดับน้ำทะเลถดถอยลง มีลักษณะเป็นดินเหนียวแข็งและดินเหนียวปนทราย มีสีเทาถึงสีเทาดำ ซึ่งมีความลึกประมาณ 4-7 ม. ต่อมาเป็นตะกอนชั้นกลางซึ่งจะเป็นตะกอนที่ราบลุ่มแม่น้ำที่เกิดจากการพัดพาโดยความแรงของกระแสน้ำ โดยตะกอนดินจะประกอบด้วย โคลนทะเล ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสลับชั้นกัน มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนและมีซากพืชปะปนอยู่มาก มีความหนาประมาณ 0.50-2.00 ม. และสุดท้ายตะกอนชั้นบนเป็นตะกอนที่เกิดจากการสะสมตัวระหว่างตะกอนบกและตะกอนทะเล และยังเป็นชั้นการสะสมตัวของพวกอินทรีย์วัตถุ มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนปนทรายแป้ง และมีซากพืชปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังพบตะกอนสันทราย (Beach Deposits) เกิดจากการรุกของน้ำทะเลเข้าไปในแผ่นดินแล้วถอยออกมาเมื่อประมาณ 6,000 ปีที่แล้ว โดยมีลักษณะเป็นทรายละเอียดสีขาวปนเทา ตะกอนริมฝั่งทะเล (Near Shore Deposits) ซึ่งประกอบด้วยตะกอนลุ่มน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Flat Deposits) มีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง ตะกอนป่าชายเลน (Mangrove and Swamp Deposits) ตะกอนหลังแนวสันทราย (Lagoon or Back Barmier Deposits) มีลักษณะส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวอ่อน ถัดลงไปเป็นดินเหนียว ปานกลาง และดินเหนียวแข็งในที่สุด ตะกอนในที่ลุ่มน้ำขังเกิดจากการสะสมตัวตามทะเลสาบ หนอง บึง มีลักษณะเป็นตะกอนทรายและดินเหนียวที่เกิดจากการพัดพาของธารน้ำ แต่ทั้งนี้ลักษณะความหนาของแต่ละชั้นตะกอนดินจะไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการตกตะกอนและสภาพพื้นที่ที่มีการตกตะกอนในขณะนั้นด้วย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2557)

### 5) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินของทะเลน้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ ป่าพรุ ป่าเสม็ด ป่าหญ้า นาข้าว สวนยางพารา สวนผลไม้ และพื้นที่น้ำท่วมขังตลอดปี โดยตำบลนางตุง มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรทั้งหมดประมาณ 21,733 ไร่ แบ่งออกเป็นการทำนา 10,953 ไร่ สวนยางพารา 6,962 ไร่ ไม้ผล ไม้ยืนต้นและพืชผักอื่นๆ 2,229 ไร่ นอกจากนี้ยังใช้เป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงทำการประมงและเลี้ยงสัตว์ประมาณ 503 ไร่ ส่วนตำบลทะเลน้อยมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งเป็นพื้นที่นาข้าว 3,500 ไร่ พื้นที่สวนยางพารา 1,151 ไร่ พื้นที่ไม้ผล 92 ไร่ พื้นที่ไม้ยืนต้นอื่นๆ 54 ไร่ พื้นที่ป่าพรุ ป่าสงวนและทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ประมาณ 25,877 ไร่ (เทศบาลตำบลทะเลน้อย, 2558)



## 1.2.2 ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี

### 1) สภาพทั่วไป

ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี เป็นทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในอำเภอกุมภวาปี และอำเภอประจักษ์ศิลปาคม จังหวัดอุดรธานี ตั้งอยู่ที่ 17 องศา 06-14 ลิปดาเหนือ และ 103 องศา 00-05 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 45 ตร.กม. เป็นต้นกำเนิดของลำน้ำปาว และยังเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำจากลำห้วย 11 สาย ได้แก่ ห้วยโพนไพร ห้วยโพนทอง ห้วยกุดแซ่ ห้วยไผ่จาน ห้วยนาโน ห้วยหนองกุด ห้วยนาแบก ห้วยกองสี ห้วยน้ำซ้อย ห้วยสามพาด และห้วยสา ซึ่งประกอบด้วย 3 ลุ่มน้ำย่อย คือ ลุ่มน้ำห้วยสามพาด ลุ่มน้ำคำลั่นควาย และลุ่มน้ำไผ่จานใหญ่ ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลำน้ำปาวตอนบน น้ำจากหนองหานกุมภวาปีจะไหลลงสู่ลำน้ำปาว (เป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำชี) โดยพื้นที่ทะเลสาบจะครอบคลุม 6 ตำบล 2 อำเภอ คือ ตำบลแซแล เชียงแหวก กุมภวาปี เวียงคำ พันดอน อำเภอกุมภวาปี และตำบลอุ่มจาน อำเภอประจักษ์ศิลปาคม (สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ 10, 2559)

### 2) ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ที่ล้อมรอบด้วยพงหญ้าขึ้นแฉะ มีพื้นผิวเก็บกักน้ำประมาณ 36 ตร.กม. ความจุ 102 ล้าน ลบ.ม. มีความหลากหลายทางระบบนิเวศ รวมถึงเกาะและดอนจำนวนมาก โดยมีเกาะใหญ่ 2 เกาะ คือ ดอนแก้ว ดอนป่า และเกาะเล็กเกาะน้อยประมาณ 20 เกาะ พื้นที่รอบๆ เป็นพื้นที่ราบเรียบ ลักษณะดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง บริเวณรอบๆ ทะเลสาบพบดินเค็มบ้างเล็กน้อย การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการผลิตประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ทำนา และอีกประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทำไร่และเลี้ยงสัตว์ โดยมีทิศเหนือติดกับตำบลอุ่มจาน กิ่งอำเภอประจักษ์ศิลปาคม ทิศใต้ติดกับตำบลกุมภวาปี และตำบลเวียงคำ อำเภอกุมภวาปี ทิศตะวันออกติดกับตำบลแซแล อำเภอกุมภวาปี และทิศตะวันตกติดกับตำบลเชียงแหวก อำเภอกุมภวาปี ดังแสดงรูปที่ 1-2 (สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ 10, 2559)



รูปที่ 1-2 แสดงพื้นที่ตั้งทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี  
แหล่งที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2560

### 3) ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศในเขตทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี โดยจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดพาเอามวลอากาศชื้นจากทะเลและมหาสมุทรเข้าปกคลุมพื้นที่ช่วงประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมทำให้มีฝนตกชุก และตกมากที่สุดในเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,240 มม. และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมพื้นที่ตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้ง และอากาศหนาวมากที่สุดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม นอกจากนี้ช่วงว่างของฤดูมรสุมประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยมีลมทิศใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าว โดยเฉพาะเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุด อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 26.80 ซ. อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.00 ซ. และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.40 ซ. ซึ่งจากอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดูคือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

#### 4) สภาพทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยา พื้นที่โครงการตั้งอยู่บนหมวดหินมหาสารคาม ( $KT_{ms}$ ) ตะกอนดินอยู่ในยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) มีอายุประมาณ 2-3 ล้านปี โดยมีดินและตะกอนน้ำพา ( $Q_a$ ) ปิดทับหนา 1-15 ม. ห่างออกไปจากพื้นที่ทะเลสาบทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก ประมาณ 10 กม. เป็นหมวดหินโคกกรวด ( $K_{kk}$ ) วางตัวอยู่ใต้หมวดหินมหาสารคาม ลักษณะการวางตัวของหมวดต่างๆ เป็นโครงสร้างกระแทะ คือ ด้านตะวันตกชั้นหินจะเอียงเทไปทางด้านทิศเหนือเล็กน้อย ในหมวดหินมหาสารคามมีชั้นเกลือหินวางตัวอยู่ในระดับที่ไม่ลึกมากนัก และชั้นหินปิดทับด้านบนในหมวดหินมหาสารคามไม่หนามาก นอกจากนี้ในบริเวณทะเลสาบยังได้มีการเจาะสำรวจแร่โพแทชหรือแร่เกลือหินที่บ้านพันดอนพบชั้นเกลือหินที่ความลึกตั้งแต่ 67.24 ม. มีความหนา 79 ม. ซึ่งคาดว่าแหล่งทรัพยากรแร่หินที่มีปริมาณมาก การสะสมของตะกอนดินเกิดจากการพัดพาของตะกอนลำน้ำและหินกรวดมายังบริเวณพื้นที่ทะเลสาบ ทำให้ลักษณะชั้นตะกอนดินส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และกรวดเม็ดละเอียด ซึ่งเกิดจากการผุพังของหินตะกอนกลุ่มโคราช (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2549; สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ 10, 2559)

#### 6) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์บริเวณทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี พบว่าเป็นแหล่งชุมชนเก่าแก่ที่มีอายุมากกว่า 100 ปี มีหมู่บ้านอยู่รอบริมหนองน้ำประมาณ 30 หมู่บ้าน และยังเป็นแหล่งทรัพยากรชีวภาพที่มีความสำคัญของชุมชน สามารถหาเก็บผลผลิตได้หลากหลายชนิด เช่น สัตว์น้ำ พืชน้ำ เป็นต้น การทำประมงพื้นบ้านรอบๆ บริเวณทะเลสาบ การเก็บสัตว์น้ำและพืชน้ำ เป็นแหล่งน้ำสำหรับการเกษตร ปศุสัตว์ การอุปโภคบริโภค และยังส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ และแหล่งศึกษาระบบนิเวศ เป็นต้น (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2549)

















### 1.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons : PAHs) เป็นสารประกอบกลุ่มเคมีอินทรีย์อันตรายที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเกิดจากการต่อกันของวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปที่เชื่อมต่อกันในลักษณะที่เป็นมุม เส้นตรง หรือเป็นกลุ่ม

(Luzardo et al., 2014; Cetin et al., 2016) มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจน (H) และคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ (Blumer, 1976; WHO, 1983; Netto et al, 2000) เกิดเป็นสารประกอบที่แตกต่างกันมากกว่า 100 ชนิด และยังเป็นสารตั้งต้นของกรดอะมิโน กรดไขมัน โปรตีน และโคเรสเตอรอล เป็นต้น (Simonich & Hites, 1994; Sverdrup et al., 2002; Navarro et al., 2009; Zhang et al., 2012) สาร PAHs ยังสามารถแบ่งตามน้ำหนักโมเลกุลออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low Molecular Weight PAHs; LMW PAHs) เป็นสารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีน 2-3 วงเชื่อมต่อกัน และสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight PAHs; HMW PAHs) เป็นสารประกอบที่มีวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 4 วงขึ้นไปเชื่อมต่อกัน (Jiang et al., 2009) การเชื่อมต่อกันของวงแหวนเบนซีนภายในโมเลกุลของสาร PAHs มีผลต่อความคงทนในการย่อยสลาย ซึ่งโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันแบบเส้นตรงจะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าที่เป็นมุมหรือเป็นกลุ่ม (Perera, 1997; Zhang et al., 2012; Gu et al., 2013) นอกจากนี้สาร PAHs มักจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบจำพวกปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และยังเป็นสารโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว (Non-Polar) จึงสามารถละลายได้ดีในไขมัน แต่จะละลายในน้ำได้น้อย ดังนั้นจึงสามารถสะสมในชั้นไขมันของร่างกายได้เป็นระยะเวลานาน (Ravindra et al., 2001) โดยสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือการย่อยสลายทางเคมีของสารอินทรีย์โดยความร้อน เช่น ถ่านหิน ไม้ น้ำมันเชื้อเพลิง การปิ้งย่างของอาหาร ควันบุหรี กิจกรรมการเผาไหม้ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ และการเผาไหม้ของป่า (Yunker et al., 2002; Saha et al., 2009; Bouloubassi et al., 2012)

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency : US.EPA) ได้กำหนดสาร PAHs ที่เป็นพิษอันตรายที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Anthracene, Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, Benzo[a]anthracene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]pyrene, Benzo[g,h,i]perylene, Dibenzo[a,h]anthracene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene (Zhi et al., 2015) ดังแสดงตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 สาร PAHs 16 ชนิด ในบัญชีรายชื่อสารพิษอันตรายกำหนดโดย US.EPA

ชนิดของสาร PAHs	สัญลักษณ์	สูตร โมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล	โครงสร้างทางเคมี	ความเป็นพิษ
Naphthalene	Nap	C <sub>18</sub> H <sub>8</sub>	128		(-)
Acenaphthylene	Acy	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152		(-)
Acenaphthene	Ace	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154		(-)
Fluorene	Fl	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166		(-)
Anthracene	An	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178		(-)
Phenanthrene	Phe	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178		(-)
Fluoranthene	Fluo	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub>	202		(-)
Pyrene	Pyr	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202		(-)
Chrysene	Chry	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228		(+/-)
Benzo[a]anthracene	B[a]A	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228		(+)
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252		(++/+++)
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252		(+)
Benzo[a]pyrene	B[a]P	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252		(++++)
Indeno[1,2,3-cd] pyrene	Ind	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276		(++)
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276		(±)
Dibenzo[a,h]anthracene	D[a,h]A	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278		(+++ / +++++)

แหล่งที่มา: Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 1996 และ International Agency for Research on Cancer [IARC], 1983

หมายเหตุ: ค่าความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (-) ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (++) ก่อให้เกิดการเป็นมะเร็งปานกลาง  
 (±) ไม่แน่ชัดหรือมีส่วนการเป็นมะเร็งเล็กน้อย (+++) ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง  
 (+) มีส่วนก่อให้เกิดการเป็นมะเร็งเล็กน้อย (+++++) ก่อให้เกิดโรคมะเร็งมาก

### 1.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นกลุ่มสารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว หรือสีเหลืองอ่อนปนเขียวจางๆ และมีกลิ่น โดยปกติในธรรมชาติมักจะพบสารนี้ปะปนอยู่กับอนุภาคอื่นเสมอ เช่น ฝุ่นละออง ตะกอนดิน ควั่น เป็นต้น (Hu et al., 2014) สาร PAHs เป็นสารไม่มีขั้ว (Non-Polar) ส่วนใหญ่จึงสามารถละลายน้ำได้น้อยหรือไม่ละลายน้ำ ทำให้เมื่อสาร PAHs อยู่ในน้ำจึงยังคงรูปอนุภาคซึ่งจะถูกดูดซับและยึดเกาะกับตะกอนดินหรือละลายอยู่ในชั้นไขมันในน้ำ (Dong et al., 2012; Rinawati et al., 2012; Tehrani et al., 2012) นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลหรือวงเบนซินที่เพิ่มขึ้น รวมถึงอุณหภูมิและความเค็ม (Gary and Sam, 1985) ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสามารถในการละลายน้ำของสาร PAHs ด้วย

### 1.3.2 คุณสมบัติทางเคมี

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์กึ่งระเหย (Semi-Volatile Organic Compounds) ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ มีค่าลอการิทึมของค่าคงที่การละลายในน้ำ - ออกทานอล ( $\log K_{ow}$ ) ระหว่าง 3-7 จุดเดือดมีค่าระหว่าง 150-325 °C และจุดหลอมเหลวมีค่าระหว่าง 101-438 °C (Broman et al., 1996; Zhou and Rowland, 1997; Zhou and Maskaoui, 2003) ส่วนสารประกอบที่มีความบริสุทธิ์และเป็นสารประกอบเดี่ยวจะกลายเป็นไอได้ที่ความดัน  $10^{-4}$  torr (3 วง)– $10^{-12}$  torr (7 วง) และสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-400 น.ม. โดยในสิ่งแวดล้อมสาร PAHs มักเกาะติดกับอนุภาคฮิวมิคในดินหรือสะสมในสิ่งมีชีวิต (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2543) โมเลกุลของสาร PAHs จะต้องมีวงแหวนเบนซินอย่างน้อย 2 วง แต่ส่วนใหญ่จะมี 5 วง โดยแต่ละชนิดจะมีลักษณะและน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การดูดซับ (Adsorption) และการคาย (Desorption) เป็นกลไกที่สามารถควบคุมปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินและในแหล่งน้ำได้อีกด้วยดังแสดงตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร PAHs

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

แหล่งที่มา: Boonyatumanond, 1999

หมายเหตุ: K<sub>ow</sub> คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้วัดความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ของสารเคมี (N-Octanol-Water Partition Coefficient) รายงานในรูปแบบของ Log K<sub>ow</sub>

### 1.3.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

สาร PAHs เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ มีแหล่งกำเนิดหลัก 2 แหล่งใหญ่ คือ แหล่งกำเนิดที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Yunker et al., 2002; Saha et al., 2009; Bouloubassi et al., 2012) แสดงดังตารางที่ 1-5

1) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ (Natural Sources) เกิดขึ้นเองโดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟไหม้ป่าและทุ่งหญ้า (Yunker et al., 2002) การสังเคราะห์ด้วยแสงที่เรียกว่าชนิดจากพืชชั้นสูง การรั่วซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันใต้ดิน การทับถมของตะกอนดินจากการย่อยสลายของ Triterpenoids หรือ Steroids ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของน้ำมันดิบ (Eglinton et al., 1996) ซึ่งในประเทศแคนาดาพบว่ามีสาร PAHs ในบรรยากาศที่เกิดจากไฟป่าประมาณ 2,000 ตัน/ปี และพบ B[a]P จากภูเขาไฟระเบิดประมาณ 1.2–1.4 ตัน/ปี (Canadian Environmental Protection Act : CEPA, 1994) จากการศึกษาของ Yang et al., (2016) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงปริมาณและแหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณที่ราบสูงทิเบตในพื้นที่ทะเลสาบจำนวน 5 แห่ง ได้แก่ Peiku Co, Nam Co, Cuo E, Cuo Na และ Keluke โดยพื้นที่ทะเลสาบทั้งหมดอยู่ห่างไกลจากบริเวณแหล่งชุมชนเมืองและพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs 16 ชนิด มีค่าอยู่ระหว่าง 98-595 นนก./ก.น.น.แห่ง โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จำพวกชีวมวล เช่น หญ้าและถ่านหิน เป็นต้น จากการศึกษาของ Denis et al. (2011) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณทะเลสาบ Swamp ในอุทยานแห่งชาติโยเซมิตี รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา โดยทำการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง An/(An + Phe), IP/(IP + Bghi) และ Ret/(Ret + Chr) ในตะกอนดินทะเลสาบ พบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของชีวมวลจำพวกพืชต่างๆ ซึ่งสอดคล้องกับบริเวณพื้นที่ทะเลสาบที่มีความถี่ไฟไหม้ป่าจำนวนบ่อยครั้ง โดยเฉพาะไฟไหม้ป่าครั้งรุนแรงในปีค.ศ. 1967 และปีค.ศ. 1996



2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Source) ได้แก่

ก) การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซล ถ่านหิน และการปล่อยควันเสียจากยานพาหนะ ส่วนใหญ่จะพบอากาศจากท่อไอเสียของยานพาหนะ และเครื่องจักรกลเป็นส่วนใหญ่ โดยสาร PAHs จะรวมตัวกับฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2542) พบว่ากรุงเทพมหานครบริเวณตามเส้นทางการจราจรพบสาร B[a]P มีค่าประมาณ 2.04 นนก./ลบ.ม. และบริเวณถนนพหลโยธิน จังหวัดปทุมธานีพบสาร B[a]A มีค่าประมาณ 1.13 นนก./ลบ.ม. จากการศึกษา Pongpiachan et al. (2013) ได้วิเคราะห์ค่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสาร PAHs จำนวน 4 ชนิด คือ Phe, An, Fluo และ Pyr บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรุงเทพมหานคร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทสถานีบริเวณริมถนน (สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง) และประเภทสถานีพื้นที่ทั่วไป (โรงเรียนนนทรีวิทยา โรงเรียนบดินเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม และการเคหะชุมชนคลองจั่น) พบปริมาณความเข้มข้นของสาร Phe, An, Fluo และ Pry มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $348 \pm 144$ ,  $47 \pm 26$ ,  $84 \pm 31$  และ  $109 \pm 63$  พกก./ลบ.ม. ตามลำดับ

ข) กระบวนการปรุงอาหารและแปรรูปอาหาร ส่วนใหญ่เกิดจากการปรุงอาหารโดยการปิ้งย่าง ซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เช่น หมูปิ้ง ไก่ย่างที่ไหม้เกรียมทำให้มีสาร PAHsปนเปื้อนในอาหาร และเกิดจากการแปรรูปอาหาร เช่น การเคี้ยวน้ำตาลให้เป็นคาราเมล การคั่วกาแฟ การหมักดอง เป็นต้น ซึ่งจากการวิจัยของ United Nations Environmental Program [UNEP]. (1991) พบว่า หมู่บ้านชนบทในประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีการประกอบอาหารโดยใช้ฟืนและถ่าน พบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วงประมาณ 100-1,000 มคก./ลบ.ม. นอกจากนี้สาร PAHs ที่เกิดจากการสูบบุหรี่ที่โดยตรง และควันรอบมวนบุหรี่ พบว่าควันที่เกิดจากบุหรี่โดยตรงมีชนิดและปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs มากกว่ารอบมวนบุหรี่ถึง 3 เท่า แต่ยังมีสาร PAHs บางชนิดรอบมวนบุหรี่ที่พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าควันที่เกิดจากบุหรี่โดยตรง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) โดยบริเวณที่มีการสูบบุหรี่จะมีปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs อยู่ในช่วงประมาณ 20-100 มค.ก./ลบ.ม. แสดงดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 ปริมาณสาร B[a]P ในเขม่าจากท่อไอเสียยานพาหนะ คิวบิกหรือชนิดต่างๆ และอาหารบางชนิด

แหล่งกำเนิด	ปริมาณสาร benzo[a]pyrene
ไอเสียรถโดยสารที่ใช้ น้ำมันดีเซล	25-29 ส่วนต่อล้านส่วน
ไอเสียรถสามล้อเครื่อง รถที่มีควันเขม่ามากใช้น้ำมันเบนซิน	110-145 ส่วนต่อล้านส่วน
ควันบุหรี่จากซิการ์	16 ไมโครกรัมต่อหนึ่งพันมวน
ควันบุหรี่จากซิการ์	34 ไมโครกรัมต่อหนึ่งพันมวน
ควันบุหรี่จากกล่องยาสูบ	85 ไมโครกรัมต่อหนึ่งพันมวน
ไก่อ่างด้วยถ่าน	401 ส่วนต่อล้านส่วน
ไก่อ่ทอด	19 ส่วนต่อล้านส่วน

แหล่งที่มา: โมตรี, 2532

ค) การเผาไหม้ของสารอินทรีย์จากการเกษตรกรรม เช่น การเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การเตรียมพื้นที่การเพาะปลูก ได้แก่ การเผาตอฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น โดยการเผาในลักษณะนี้นอกจากจะทำให้คุณภาพอากาศลดลงแล้วยังทำให้ลดทัศนวิสัยในการมองเห็นของผู้ขับขี่ยานพาหนะ และยังทำให้เกิดการปนเปื้อนของสาร PAHs ในอากาศได้ (Gadde et al., 2009) จากการศึกษาของ Pongpiachan et al. (2015) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในช่วงฤดูการเผาพื้นที่ทางการเกษตรบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร Fluo, Pyr, B[b+k]F, B[g,h,i]P, B[a]P และ  $\Sigma$ 3,4-rings PAHs มีค่าเท่ากับ  $1,948 \pm 2,395$ ,  $2,867 \pm 2,845$ ,  $5,363 \pm 8,476$ ,  $3,057 \pm 4,777$ ,  $1,794 \pm 2,389$  และ  $9,923 \pm 13,628$  พกก./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยแหล่งกำเนิดมลพิษส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าวและชากอ้อย เป็นต้น

ง) การปนเปื้อนของน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันที่ใช้ในเครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรม เรือ น้ำมันเครื่องเก่าที่ผ่านการใช้แล้ว น้ำมันแวนทราซินนิยมใช้เป็นสารเคลือบเนื้อไม้ และรักษาเนื้อไม้จากแมลงโดยจะพบสาร PAHs เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 85% (Wilson and Jones, 1993) ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำมันปิโตรเลียมจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน

เช่น Phe และ Pyr พบในน้ำมันชนิดต่างๆ ประมาณ 22 ชนิด มีค่าระหว่าง 17-1,100 และ 0.6-97 มก./กก. ตามลำดับ (Wernersson, 2003) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าพบปริมาณสาร PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีนระหว่าง 3-7 วง จากตะกอนดินในลำคลองและแม่น้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาและชายฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย โดยพบปริมาณของสาร PAHs รวมประมาณ 8,399 นนก./ก.น.น.แห่ง (Boonyatumanond et al., 2006) จากการศึกษาของ Pongpiachan et al. (2018) เกี่ยวกับการรั่วไหลของน้ำมันดิบจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในช่วงวันที่ 27-31 ตุลาคม พ.ศ.2556 บริเวณชายฝั่งทะเลเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง พบว่าบริเวณอ่าวพร้าว มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma$ PAHs เท่ากับ  $30.40 \pm 70.50$  นนก./ก.น.น.แห่ง และบริเวณหาดทรายแก้วมีปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs เท่ากับ  $37.40 \pm 29.80$  นนก./ก.น.น.แห่ง โดยสาร PAHs ที่พบ คือ Phe, An, Fluo, Pyr, B[a]A, Chry, B[b+k]F, B[a]P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P

จ) กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาถ่านหิน โรงไฟฟ้าชีวมวล การเผาขยะ เป็นต้น จากการศึกษาของ Davies et al. (1976) ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกได้ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากปลายปล่องเตาเผาขยะชุมชน พบปริมาณความเข้มข้นสาร Pyr, B[a]A, Chry, Fluo และ B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 1.60, 0.72, 0.72, 0.58 และ 0.42 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ การศึกษาของ IPCS (1998) ได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในเมือง Ontario ประเทศแคนาดา บริเวณใกล้กับโรงงานเหล็กกล้าพบปริมาณความเข้มข้นสาร B[k]F, Pyr, B[a]P, B[g,h,i]P และ Fluo มีค่าเท่ากับ 140, 110, 90, 90, และ 43 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ การศึกษาของรุ่งนภา (2551) ได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในภาคตะวันตกของประเทศไทย พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs 16 ชนิด มีค่าเท่ากับ 0.20-8.00 นนก./ลบ.ม. โดยชนิดสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ D[a,h]A, B[a]P, B[b]F และ B[g,h,i]P นอกจากนี้สาร PAHs ยังสามารถผลิตได้จากการสกัดแยกของน้ำมันดิบ (Coal Tar) ในขั้นตอนการผลิตจะประกอบไปด้วยการกลั่นลำดับส่วน และการตกผลึกในตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สาร PAHs ที่บริสุทธิ์ ทั้งนี้ น้ำมันดิบจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน พบว่าจะมีองค์ประกอบของสาร PAHs ที่แตกต่างกันด้วยแสดงดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 ปริมาณสาร PAHS จากแหล่งกำเนิดน้ำมันดิบชนิดต่างๆ

สาร PAHs	ปริมาณ (มก./กก.น้ำมันดิบ)		
	ถ่านหิน	ปิโตรเลียม	หินน้ำมัน
Naphthalene	<2,800	402-900	203-1,390
Acenaphthene	<800	-	0.3
Fluorene	<9,900	106-220	104-381
Phenanthrene	<20,400	129-322	221-842
Anthracene	4,100	204-321	231-986
Fluoranthene	<3,700	2-326	6-400
Pyrene	<35,000	2-216	18-421
Benzo[a]anthracene	<2,200	1-7	1
Chrysene	<2,500	> -26	3-52
Benzo[a]pyrene	<1,200	0.1-4	3-192
Dibenzo[a,h]anthracene	-	0.4-0.7	1-5
Benzo[g,h,i]perylene	<6,600	<8	1-5

แหล่งที่มา: International Programme on Chemical Safety [IPCS], 1998

หมายเหตุ: (-) ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 1-5 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ

แหล่งที่มา	สาร PAHs ที่พบ
กระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน	Phe, Fluo และ Pry
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chry, Pry และ Fluo
กระบวนการเผาไหม้	B[a]P และ Fluo
เชื้อเพลิงจากน้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรม	Fluo, Pry และ Chry
การเผาไหม้ฟางข้าว	Ind, B[a]P และ D[a,b]A
เตาเผาขยะ	Pry, Phe และ Fluo
การใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะ	Fluo, Pry, B[b]F และ B[k]F

แหล่งที่มา: Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 1995

### 1.3.4 อัตราส่วนสำหรับการบ่งชี้แหล่งกำเนิด

การบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้และการผลิตพลังงาน ซึ่งในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดชนิดของสาร PAHs ที่แตกต่างกัน เช่น การเผาไหม้ของปิโตรเลียม การเผาไหม้ของไอเสียรถยนต์ และการเผาไหม้ชีวมวล เป็นต้น (Lima et al., 2003; Zhang et al., 2015) โดยสารที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ส่วนใหญ่มักจะพบสารโมเลกุลที่มีวงเบนซินตั้งแต่ 2-4 วง ได้แก่ Nap, Fl, Phe, An และ Chry (Laflamme and Hites, 1978; Jiang et al., 2009) ส่วนสาร PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไฟป่า ถ่านหิน น้ำมัน ส่วนใหญ่มักจะพบสารโมเลกุลที่มีวงเบนซินตั้งแต่ 3-5 วง และพบมาก ได้แก่ Fluo และ Pyr (Zeng and Vista, 1997; Wang et al., 1999; Dahle et al., 2003; Jiang et al., 2009) โดยสาร PAHs แต่ละชนิดจะสามารถบ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ได้หลายแหล่งกำเนิด ซึ่งจะสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1) ปิโตรเลียม (Petrogenic Source) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม จะพบสาร PAHs ที่มีวงแหวนเบนซินตั้งแต่ 2-4 วง ได้แก่ FL, Phe, An และ Chry เป็นต้น โดยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการคมนาคมขนส่งทางเรือ เช่น การขนส่งน้ำมัน การเกิดอุบัติเหตุของเรือบรรทุกน้ำมันหรือเรือสินค้า และการปล่อยทิ้งน้ำอับเฉาใต้ท้องเรือ (Laflamme and Hites, 1978; Lake et al., 1979; Ravindra et al., 2008; Perra et al., 2009; Keshavarzifard et al., 2014)

2) การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion Process) เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์ เครื่องยนต์ เครื่องจักรต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ถ่านหิน น้ำมัน และไฟไหม้ป่า เป็นต้น ส่วนใหญ่จะพบสาร PAHs ที่มีวงแหวนเบนซินตั้งแต่ 3-5 วง ได้แก่ Fluo และ Pyr เป็นต้น (wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Lima et al., 2003; Qiu et al., 2009; Zhang et al., 2015)

การหาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของแหล่งกำเนิดสาร PAHs แต่ละชนิด ซึ่งสามารถวิเคราะห์แยกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมได้ หรือเรียกว่า “Diagnostic Ratio” (Bi et al., 2003; Guo et al., 2003; Yungger et al., 2003; Sienra et al., 2005) โดยสามารถใช้สัดส่วน Fluo/(Fluo+Pyr), Ind/(Ind+B[ghi]P), B[a]A/(B[a]A+Chry), An/(An+Phe), Fl/(Fl+Pyr), Phe/An, B[a]A/Chry และ Fluo/Pyr ในการคำนวณแยกหาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ที่แตกต่างกันได้ (Yungger et al., 2003; Tsapakis et al., 2005) ดังแสดงตารางที่ 1-6 อย่างไรก็ตามในการใช้ Diagnostic Ratio ไม่สามารถใช้สัดส่วนเดียวในการบ่งชี้แหล่งกำเนิดสาร PAHs ได้ เนื่องจากสาร PAHs มีแหล่งกำเนิดหลายรูปแบบ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาไม่สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้อย่างแน่นอนว่ามาจากแหล่งใด อาจเป็นเพราะสาร PAHs มีการทำปฏิกิริยากับสารชนิดอื่นๆ ในบรรยากาศ เช่น NO<sub>x</sub> และ O<sub>3</sub> เป็นต้น การทำปฏิกิริยากับแสง UV และการย่อยสลายของจุลินทรีย์และแบคทีเรียในดิน จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปตามสถานที่และระยะเวลา (Pyysalo et al., 1987; Fang et al., 2006; Ravindra et al., 2006)

ตารางที่ 1-6 แสดงอัตราส่วนแหล่งกำเนิดของสาร PAHs

อัตราส่วนของ PAHs	แหล่งกำเนิด		อ้างอิง
	Pyrogenic	Petrogenic	
Fluo/(Fluo+Pyr)	> 0.4	< 0.4	Yunker et al., 2002; Andersson et al., 2014 ; Manneh et al., 2016
Ind/(Ind+B[ghi]P)	> 0.2	< 0.2	Zhang et al., 2016
B[a]A/(B[a]A+Chry)	> 0.35	< 0.2	Zhang et al., 2016
An/(An+Phe)	> 0.1	< 0.1	Barakat et al., 2011
Phe/An	< 10	> 15	Sicre et al., 1987 ; Steinhauer and Boehm, 1992; Budzinski et al., 1997; Baumard et al., 1998
B[a]A/Chry	> 0.9	< 0.4	Yunker et al., 2002; Gschwend and Hites, 1981
Fluo/Pyr	> 1	< 1	Sicre et al., 1987 ; Steinhauer and Boehm, 1992; Budzinski et al., 1997; Baumard et al., 1998

หมายเหตุ: Fluo: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, Ind: Indeno[1,2,3-cd] pyrene, B[ghi]P: Benzo[g,h,i]perylene,

B[a]A: Benzo[a]anthracene, Chry: Chrysene, An: Anthracene, Phe: Phenanthrene

### 1.3.5 การปนเปื้อนและการกระจายตัวของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

การเคลื่อนย้ายสาร PAHs ลงสู่สิ่งแวดล้อมในบริเวณเกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ การชะล้างจากพื้นดิน และคราบน้ำมัน เป็นต้น (Yunker et al., 2002; Saha et al., 2009; Bouloubassi et al., 2012) ซึ่งอาจทำให้สาร PAHs เกิดการปนเปื้อนสู่บรรยากาศ แหล่งน้ำ ดิน และตะกอนดิน (Jiang et al., 2007; Hiller et al., 2011; Keshavarzifard et al., 2014) โดยการปนเปื้อนของสาร PAHs จะทำให้คุณสมบัติของน้ำ ดิน และตะกอนดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตหากมีการสัมผัสกับสาร PAHs โดยสามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ดังนี้

1) อนุภาคในบรรยากาศ (Airborne Particulate Matter) สาร PAHs ในบรรยากาศจะเกาะติดกับอนุภาคและสามารถแพร่กระจายตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ (Parinos and Gogou, 2016) โดยอนุภาคในชั้นบรรยากาศจะเกิดจากการรวมตัวกันของของแข็งและของเหลวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ นอกจากนี้ความสามารถของแสงจะกระตุ้นให้สาร PAHs เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและเกิดการสลายตัวได้ แต่การเปลี่ยนแปลงนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับประเภทอนุภาคที่สาร PAHs เกาะติดอยู่ด้วย โดยการศึกษาของ Cetin et al., (2017) ได้ทำการวิเคราะห์สาร PAHs ในอากาศบริเวณเมืองโกจาเอลี ประเทศตุรกี พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs 15 ชนิด มีค่าเท่ากับ  $285 \pm 431$  นนก./ลบ.ม. ความเข้มข้นของสาร PAHs จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเขตเมือง โดยแหล่งกำเนิดหลักส่วนใหญ่มาจากพื้นที่อุตสาหกรรมและการจราจร การศึกษาของ Pongpiachan et al. (2017) ได้ทำการวิเคราะห์สาร PAHs ที่เกาะติดกับ  $PM_{10}$  ขณะที่กำลังแสดงดอกไม้ไฟในวันลอยกระทง กรุงเทพมหานคร พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma PAHs$  ในช่วงที่กำลังแสดงดอกไม้ไฟมีค่าเท่ากับ  $8301 \pm 4910$  พกก./ลบ.ม. และปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในช่วงที่ไม่ได้แสดงดอกไม้ไฟมีค่าเท่ากับ  $3540 \pm 4141$  พกก./ลบ.ม. โดยสาร PAHs ที่พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นมากที่สุดคือ B[g,h,i]P และ Ind

2) ดิน (Soil) สาร PAHs เป็นสารที่กระจายอยู่ในดิน และยังสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากแหล่งกำเนิด โดยสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ไอเสียจากยานพาหนะ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน เป็นต้น (Guzzella and De Paolis, 1994; Hu et al., 2014) นอกจากนี้การปนเปื้อนของสาร PAHs ในดินไม่เพียงแต่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ที่บริโภคอาหารที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนเท่านั้น แต่ยังทำให้ต้นไม้และพืชผักต่างๆ ที่มีการดูดซึมสาร PAHs จากดินก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตด้วยเช่นกัน จากการศึกษาของ Ray et al. (2008) ได้ทำการวิเคราะห์สาร PAHs ในดินบริเวณรอบนอกสนามบินเดลี ประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่นและเป็นเส้นทางการบินของเครื่องบิน โดยทำการวิเคราะห์สาร  $\Sigma$ PAHs จำนวน 12 ชนิด พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วง 2.39-7.53 มคก./ก. และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.43 \pm 1.45$  มคก./ก. โดยแหล่งกำเนิดหลักส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของปิโตรเลียม

3) น้ำ (Water) สาร PAHs สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นสารที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอนุภาคที่ถูกขนส่งทางอากาศสามารถตกลงสู่พื้นล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกหรือถูกชะด้วยน้ำฝนหรือน้ำค้าง และจากการดูดซับโดยตรงจากผิวสัมผัสสาร PAHs ในบรรยากาศ (Wetzel and Van Vleet, 2004) ซึ่งสารมลพิษเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตที่ใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค จากการศึกษาของ Yan et al. (2016) ทำการศึกษาบริเวณปากแม่น้ำไห่เมืองเทียนจิน ประเทศจีน โดยการวิเคราะห์สาร PAHs พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วง 287.49-3796.97 นนก./ล. และพบปริมาณความเข้มข้นสูงในบริเวณใกล้ประตูระบายน้ำ เนื่องจากเป็นบริเวณปากแม่น้ำซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้เกิดการกระจายตัวของสาร PAHs มากในบริเวณดังกล่าว โดยแหล่งกำเนิดหลักส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การศึกษาของ Tongo et al. (2017) บริเวณแม่น้ำโอเวียร์ รัฐเอโด ประเทศไนจีเรีย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินมาวิเคราะห์สาร PAHs จำนวน 17 ชนิด พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วง 2.33-25.83 มคก./ล. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $17.56 \pm 7.62$  มคก./ล. ส่วนใหญ่จะพบสาร Nap และ Acy โดยแหล่งกำเนิดหลักมาจากปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

4) ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petroleum and its products) ปิโตรเลียมเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากการทับถมของซากอินทรีย์ใต้พื้นผิวโลกเป็นเวลานานหลายล้านปี โดยมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และยังเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญต่อการสะสมในตะกอนดินอีกด้วย (EPRI, 2000; Dong et al., 2012; Rinawati



et al., 2012; Tehrani et al., 2012) นอกจากนี้การใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้นในกิจกรรมต่างๆ ทั้งในแหล่งชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม ก็ส่งผลกระทบต่อการใช้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า การปนเปื้อนน้ำมันในแหล่งน้ำ อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น การขนส่งน้ำมันโดยเรือบรรทุกอาจเกิดการรั่วไหลขณะขนถ่าย การขุดเจาะน้ำมัน การแตกหรือรั่วของท่อส่งน้ำมันในทะเล อุบัติเหตุจากเรือบรรทุกน้ำมันชนกัน การล้างทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องจักรหรือถังน้ำมัน น้ำทิ้งที่มีการชะล้างคราบน้ำมัน เป็นต้น

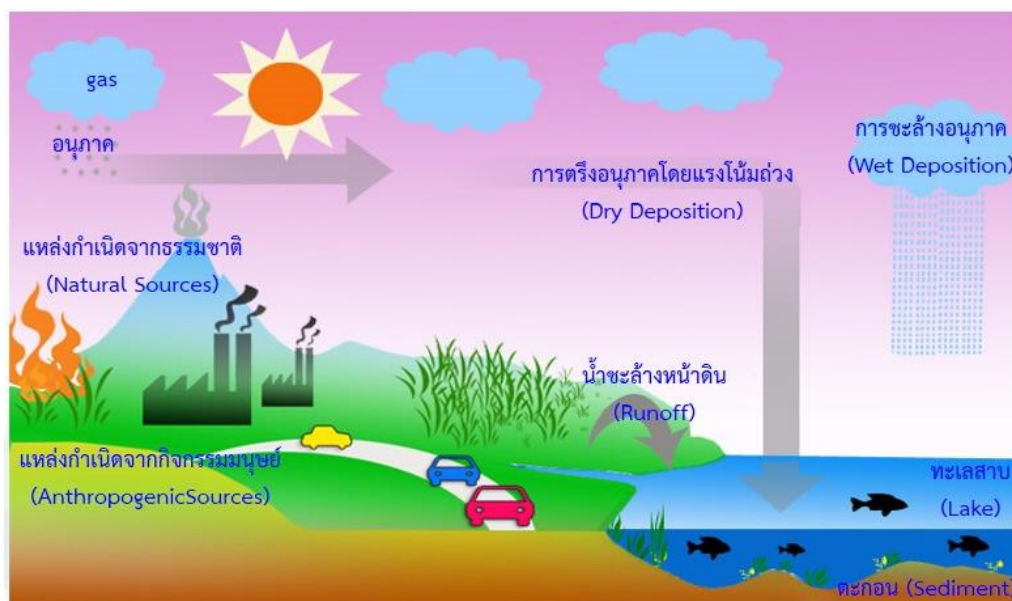
5) ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (Sewage Sludge) จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งชุมชน โดยสาร PAHs ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะรวมตัวกับอนุภาคแขวนลอยและตกลงสู่ตะกอนดิน

6) ตะกอนดิน (Sediment) สาร PAHs จะกระจายตัวอยู่ในแหล่งน้ำและเกิดการรวมตัวกับอนุภาคในน้ำเกิดการตกตะกอนไปสะสมบริเวณตะกอนดิน และมักจะพบปริมาณสาร PAHs ที่ตะกอนดินสูงกว่าผิวน้ำประมาณ 2.5 เท่า (Boonyatumanond et al., 2006; Wang et al., 2015)

### 1.3.6 การแพร่กระจายของสาร PAHs ในตะกอนดิน

สาร PAHs สามารถแพร่กระจายและสะสมตัวอยู่ในทะเลสาบ โดยการเคลื่อนตัวของสารจากแหล่งกำเนิดปฐมภูมิที่อยู่ในรูปของละอองการเผาไหม้ อนุภาคของแข็งขนาดเล็ก (Small Particles) ละอองในอากาศ (Aerosols) หรือละอองไอน้ำ (Vapour) และแก๊ส จากนั้นจะดูดซับติดแน่นอยู่กับฝุ่นละอองหรืออนุภาคสารแขวนลอยในบรรยากาศ สามารถตกลงสู่ผิวน้ำและผิวดินได้ด้วยวิธีการตกแบบแห้ง (Dry deposition) โดยสาร PAHs จากบรรยากาศในสภาวะแก๊ส ที่ไม่ใช่ฝนตกตกลงสู่แหล่งผิวน้ำและผิวดินได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และวิธีการตกแบบเปียก (wet deposition) โดยสาร PAHs สามารถเคลื่อนย้ายจากบรรยากาศโดยน้ำฝนหรือน้ำรูปแบบอื่นๆ เช่น ไอน้ำและน้ำค้างตกลงสู่ผิวน้ำและผิวดินได้ (ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ, 2553) โดยเฉพาะมวลอากาศที่พัดผ่านโรงงานอุตสาหกรรมมักจะพบปริมาณของสาร PAHs เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 20-30 นนก./ลบ.ม. (สุวัจน์ ธีรุต, 2557) นอกจากนี้สาร PAHs ที่ตกตะกอนสะสมในดิน เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรม การปล่อยน้ำมันหล่อลื่น น้ำจากแหล่งชุมชน และแหล่งเกษตรกรรม เป็นต้น สามารถเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำได้ด้วยวิธีการชะล้างจากพื้นดิน (Run Off) และ

น้ำใต้ดิน (Ground Water) โดยสาร PAHs สามารถเคลื่อนตัวลงสู่ทะเลสาบโดยการดูดซับกับอนุภาคในน้ำและตกตะกอนสะสมบริเวณตะกอนดินทะเลสาบได้แสดงดังรูปที่ 1-3 (Wakeham et al., 1980; Fernández et al., 1999; Lima et al., 2003; Yunker and Macdonald, 2003; Moriwaki et al., 2005; Ishitake et al., 2007)



รูปที่ 1-3 แสดงลักษณะการแพร่กระจายของสาร PAHs ในตะกอนดิน

แหล่งที่มา: จิตรลดา มุประสิทธิ์ (2553)

การปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินนั้น ปกติแล้วการสะสมของสาร PAHs จะมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ แต่แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสาร PAHs นั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้การปนเปื้อนของสาร PAHs สามารถดูดซับติดกับอนุภาคของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์รวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นตกลงสู่ท้องน้ำ (Gerritse, 1998; Tolosa et al., 2004) และการย่อยสลายตะกอนดินใต้ท้องน้ำโดยปฏิกิริยาที่ใช้แสง ปฏิกิริยาทางเคมีหรือการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้น้อยกว่าในลำน้ำ จึงทำให้ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดินมีมากกว่าในน้ำ (Liu et al., 2000) ดังนั้นตะกอนดินจึงมักจะถูกใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดิน พบว่าส่วนใหญ่ สาร PAHs มีแหล่งกำเนิดมาจากพื้นที่อุตสาหกรรมกลุ่มปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน การเผาไหม้ปิโตรเลียม และถ่านหิน เป็นต้น โดยประเทศไทยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของ สาร PAHs ที่สะสมอยู่ในตะกอนดินหลายพื้นที่อาทิเช่น

จิราณีย์ ไชยปूरังค์ (2544) ได้ทำการศึกษาตะกอนดินตามความลึกบริเวณเอสทูรี แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง จังหวัดสมุทรสาคร พบว่าสถานี C1 บริเวณปากแม่น้ำตะวันออกระดับความลึก 39 ม. มีปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วง 98.80-314.80 นนก./ก.น.น.แห่ง โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ มาจากการเผาไหม้และน้ำมัน สถานี C2 บริเวณปากแม่น้ำตำบลบางหญ้าแพรกระดับความลึก 39 ม. มีปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วง 43.50-731.60 นนก./ก.น.น.แห่ง โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน และสถานี C3 บริเวณคลองสุนัขหอนระดับความลึก 39 ม. มีปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วง 0.28-0.92 นนก./ก.น.น.แห่ง โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการปนเปื้อนของ น้ำมันและการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังพบว่าการสะสมของสาร PAHs ในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดมี ปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ไกลออกไปแหล่งกำเนิด รวมถึงระดับความลึกที่มากขึ้นของชั้นตะกอนดินมีผล ต่อปริมาณของสาร PAHs ที่ลดลงอีกด้วย

วรารภรณ์ ศรีมูล (2544) ได้ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ใน ตะกอนดินผิวหน้าบริเวณตะกอนดินผิวหน้าจากอ่าวศรีราชา จ.ชลบุรี พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวม ของสาร PAHs มีค่าเท่ากับ 1,310-3,590 นนก./ก.น.น.แห่ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,452 นนก./ก.น.น.แห่ง โดยส่วนใหญ่สาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ An, D[a,h]A และ Fluo

วรรณช ดีละมัน (2553) ได้ทำการศึกษาบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอกจังหวัด สงขลาและอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา พบว่าตะกอนดินทะเลสาบสงขลาตอนนอกมีปริมาณความ เข้มข้นรวมของสาร PAHs เท่ากับ 12.60-150.10 นนก./ก.น.น.แห่ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $36.60 \pm 31.60$  นนก./ก.น.น.แห่ง ส่วนตะกอนดินทะเลนอกชายฝั่งอ่าวทับละมุมีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs เท่ากับ 12.60-272.00 นนก./ก.น.น.แห่ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $64.50 \pm 44.30$  นนก./ก.น.น.แห่ง และพบว่าบริเวณนอกแหลมปะการังออกไปยังทะเลด้านนอกมีปริมาณสาร PAHs รวมสูงซึ่งใกล้เคียง กับแนวที่มีรายงานเบื้องต้นว่าอาจเป็นแนวที่มีการสะสมของตะกอนจากแผ่นดินที่ถูกพามาด้วย

กระแสน้ำไหลย้อนของคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นเมื่อปีพ.ศ. 2547 โดยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

Danai Tipmanee (2012) ได้ทำการศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดพังงา พบว่า ปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs จำนวน 13 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 11.90-272.00 นนก./ก.น.น.แห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $57.10 \pm 35.70$  นนก./ก.น.น.แห้ง โดยเฉพาะบริเวณแหลมปะการังและเกาะพระทองพบการปนเปื้อนของสาร PAHs สูง การจำแนกแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นถนน การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่งทะเล จ.พังงาได้รับอิทธิพลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ผลการศึกษาสาร PAHs ยังสามารถบ่งชี้ได้อีกว่าคลื่นสึนามิที่เกิดขึ้นในปีพ.ศ. 2547 เป็นตัวการสำคัญในการชะเอาสาร PAHs จากชายฝั่งไหลลงสู่พื้นท้องทะเลเป็นระยะทางไกลกว่า 25 กม. จากชายฝั่งอีกด้วย นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินจากพื้นที่ต่างๆ ดังแสดงตารางที่ 1-7

ตารางที่ 1-7 การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในชั้นตะกอนดินบริเวณพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก

พื้นที่ศึกษา	พิสัย (นนก./ก.น.น.แห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (นนก./ก.น.น.แห้ง)	แหล่งกำเนิด	รายการอ้างอิง
Lake Hongfeng, Southwest China	2936.1 - 5282.3	-	coal combustion and biomass burning. Increasing fuel combustion	Jian-Yang Guo et al., 2011
Holzmaar, Eifel Germany	62 - 8000	-	Fossil Fuel Combustion	Benjamin et al., 2014
Caspian Sea Anzali Watland, Iran	1,294-9,009 212-2,674	3,228 908	Petrogenic	Yancheshmenh et.al., 2014
Djibouti City, The Horn of African	2.65-3,760.11	387.87	petrogenic, combustion of grass wood and coal	Mahdi Ahmed et. al., 2016

ตารางที่ 1-7 การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในชั้นตะกอนดินบริเวณพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	พิสัย (นกก./ก.นน.แห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (นกก./ก.นน.แห้ง)	แหล่งกำเนิด	รายการอ้างอิง
Lake Kitaura, Japan	380 - 520	-	combustion of grass, wood and coal	Itoh et al., 2017
Shilianghe Reservoir, Eastern China	17.37-839.55	213.51	combustion of coal and biomass	Zhang et. al., 2016
Cochon Estuary, India	304-5,874	-	Petrogenic	Romzi et.al., 2017
ก่อนมรสุม	493-14,149	-	Pyrogenic	
ช่วงมรสุม	194-10,691			
หลังมรสุม				
Liaohu River Delta wetland, Northeast China	46 - 1167	-	Wood burning to fossil fuel combustion	Ma et al., 2017
Yangzonghai Lake, China	200.7 - 1913.7	-	petroleum discharge and combustion processes	Yuan et al., 2017
Shadegan International Wetland , The Persian Gulf	593.74-53,393.89	-	Petrogenic	Bemanikh aranagh et. al., 2017

### 1.3.7 ผลกระทบของสาร PAHs ในตะกอนดินต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

The UNITED STATES. Department of Health and Human Services [US.DHHS] ได้สรุปว่าสาร PAHs อาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ อาจมาจากสาร PAHs หลายตัว เช่น Chry, B[a]A, B[a]P, B[b]F, D[a,h]A และ Ind โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการกับสัตว์ทดลอง พบว่าสัตว์ที่กินอาหารได้รับทางผิวหนังหรือการหายใจเอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปเป็น

ระยะเวลาสั้น สามารถก่อให้เกิดเนื้องอกได้ สำหรับมนุษย์มีรายงานว่า การได้รับสารเหล่านี้โดยทางการหายใจหรือการสัมผัสทางผิวหนังกับสารผสมที่มีสาร PAHs อยู่เป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้เช่นกัน (Armstrong, 2004; CCME, 2010)

### 1) ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

สาร PAHs ที่ละลายน้ำส่วนใหญ่เป็นประเภทน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วโดยขบวนการโฟโตออกซิเดชัน (Photooxidation) ภายใต้ปัจจัยสภาพที่มีแสง อุณหภูมิและออกซิเจนสูง (Kennish, 1992) อย่างไรก็ตามการสลายตัวของสาร PAHs ในตะกอนดินจากขบวนการข้างต้นจึงเป็นไปได้เล็กน้อยและค่าความเป็นพิษสูงขึ้นหากตะกอนดินอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน โดยแต่ละพื้นที่จะมีระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในตะกอนดินที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของแต่ละพื้นที่ เช่น น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม แหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น

องค์ประกอบของสาร PAHs ในสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น การผันแปรความเข้มข้นของสภาพแวดล้อม ระดับความเข้มข้นที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งมีชีวิตและกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น เนื่องจากสาร PAHs จะสะสมอยู่มากบริเวณตะกอนพื้นท้องน้ำ ทำให้สัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดินได้รับสาร PAHs ตลอดเวลา โดยเฉพาะพื้นที่ที่ได้รับสารมลพิษนี้ผ่านทางน้ำตะกอนดินและการกลืนกินตะกอนดินที่ปนเปื้อนสารมลพิษเข้าไปและยังได้มีการตรวจพบสาร B[a]P ในหอยสองฝาขณะที่ความสามารถในการเมตาบอลิซึมน้อยและส่วนใหญ่เป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่กับที่ ทำให้เกิดการสะสมของสารได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย (Den Bsten et.al., 1992 ; Kennish, 1992) รวมถึงมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ สัตว์ผู้ล่าและมนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำนั้นจากการถ่ายทอดสารมลพิษผ่านทางห่วงโซ่อาหารตามลำดับชั้น (US.DHHS, 1995) ดังนั้นมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคชั้นสูงสุดเมื่อรับประทานสัตว์น้ำที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนอยู่ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังหากได้รับสาร PAHs ในปริมาณที่มากพอ (ATSDR, 1996) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาสาร PAHs ที่ปนเปื้อนสิ่งมีชีวิตในหลายพื้นที่ อาทิเช่น

ปภาศิริ บาร์เนท และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาบริเวณแนวชายฝั่งทะเลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรีและนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ห่างจากชายฝั่งเป็นระยะ 5 กม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตับปลาจากอ่างศิลามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

0.16982±0.1650 นนก./ก.นน.แห้ง ในกล้ามเนื้อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0607±0.0708 นนก./ก.นน.แห้ง ส่วนมาบตาพุดปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตับปลามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1314±0.0699 นนก./ก.นน.แห้ง ในกล้ามเนื้อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0351±0.0378 นนก./ก.นน.แห้ง ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในหอยแมลงภู่นาโตใหญ่จากอ่างศิลา พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1190±0.0959 นนก./ก.นน.แห้ง ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าหอยขนาดเล็กถึง 2.3 เท่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0507±0.0398 นนก./ก.นน.แห้ง ส่วนมาบตาพุดปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในหอยขนาดใหญ่พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2542±0.1301 นนก./ก.นน.แห้ง ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าหอยขนาดเล็กถึง 1.6 เท่า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1569±0.1160 นนก./ก.นน.แห้ง ดังนั้นพบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในหอยแมลงภู่นาโตใหญ่และหอยแมลงภู่นาโตเล็กที่อาศัยอยู่บริเวณมาบตาพุดจะมีค่าสูงกว่าบริเวณอ่างศิลาอีกด้วย

Barhoumi et al. (2015) ได้ทำการศึกษาบริเวณทะเลสาบ Bizerte ทางตอนเหนือของประเทศตูนิเซีย พบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในหอยแมลงภู่มีค่าเท่ากับ 107.40-430.70 นนก./ก.นน.แห้ง และปลาไหลมีค่าเท่ากับ 114.50-133.70 นนก./ก.นน.แห้ง โดยพบสาร Nap สะสมอยู่ในหอยแมลงภู่นาโตและปลาไหลเป็นส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 31.50-272.60 และ 57.90-68.60 นนก./ก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปแสดงดังตารางที่ 1-8

ตารางที่ 1-8 แสดงปริมาณสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ชนิดของสาร PAHs	ชนิดของสัตว์น้ำ	ระดับความเข้มข้น (มคก./ล.)	ผลกระทบ
Benza[a]pyrene	เพรียงทราย (Sandworm), ไส้เดือนทะเล (neanthes)	>1,000	LC-50 (9 hours)
Chrysene	เพรียงทราย (Sandworm)	>1,000	LC-50 (9 hours)
Dibenzo[a,h]anthracene	เพรียงทราย (Sandworm)	>1,000	LC-50 (9 hours)
Fluoranthene	เพรียงทราย (Sandworm)	500	LC-50 (9 hours)
Fluorene	กุ้งกุลาดำ (Grass shrimp)	320	LC-50 (9 hours)
	กุ้งทะเล (Gammarus pseudolimnaeus)	600	LC-50 (9 hours)

ตารางที่ 1-8 แสดงปริมาณสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (ต่อ)

ชนิดของสาร PAHs	ชนิดของสัตว์น้ำ	ระดับความเข้มข้น (มคก./ล.)	ผลกระทบ
Fluorene	เพรียงทราย (Sandworm)	1,000	LC-50 (9 hours)
	ปลาตะเพียน (sheepshead minnow)	1,680	LC-50 (9 hours)
Naphthalene	แพลงก์ตอนน้ำจืด	50	LC-30 (10 days)
	(Copepod)	920	LC-50 (24 hours)
	ปลาแซลมอน (Pink salmon)	2,400	LC-50 (96 hours)
	กุ้งกุลาดำ (Grass shrimp)	2,400	LC-50 (96 hours)
	ปลาตะเพียน (sheepshead minnow)		
Phenanthrene	กุ้งกุลาดำ (Grass shrimp)	370	LC-50 (25 hours)

แหล่งที่มา: Kennish, 1992

## 2) ผลกระทบต่อมนุษย์

สาร PAHs สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางการหายใจผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดโดยการสูดดมก๊าซหรืออนุภาคฝุ่นควันในอากาศ ซึ่งการหายใจถือได้ว่าเป็นเส้นทางที่ได้รับสัมผัสสาร PAHs มากที่สุด เนื่องจากการปนเปื้อนมากับฝุ่นละอองหรืออนุภาคในอากาศ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2557) ทางการกินผ่านเข้าทางด้านบริเวณลำไส้และกระเพาะอาหารจากการรับประทานพืชผัก อาหาร และน้ำที่ปนเปื้อนสาร PAHs เป็นต้น ซึ่งสาร PAHs ในน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำมันจะมีระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำดื่มประมาณ 4-24 นก./ล. และทางผิวหนังเกิดจากการสัมผัสดินหรือเขม่าควันที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนอยู่ หรือเกิดจากการสัมผัสน้ำมันหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เครื่องสำอางและยา เป็นต้น (US.DHHS, 1995) นอกจากนี้สาร PAHs ยังเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายได้ดีในไขมัน ทำให้พบสาร PAHs ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ หลังจากในร่างกายได้รับการสัมผัสสาร PAHs โดยเฉพาะบริเวณอวัยวะที่ประกอบด้วยไขมันสูง โดยสามารถกักเก็บและปลดปล่อยสาร PAHs ออกมาได้อย่างซ้ำๆ อีกทั้งบริเวณลำไส้และกระเพาะอาหารซึ่งจะมีระดับของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอัตราเมตาบอลิซึมในระดับสูง เมื่อสาร PAHs



ถูกขนส่งผ่านเส้นทางการรับสัมผัสต่างๆ จะถูกกำจัดด้วยเมือกขน (Mucociliary) หรือทางน้ำดี โดยการแพร่กระจายของสาร PAHs ในร่างกายของสัตว์ทดลองพบว่าเมื่อได้รับการสูดดมหรือการกินเข้าไปจะแพร่ไปยังปอด ตับ ไตและทางเดินอาหาร แต่ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการแพร่กระจายจากการสัมผัสทางผิวหนัง (US.DHHS, 1995) ดังนั้นเมื่อมนุษย์ได้รับสาร PAHs แล้วก็จะก่อให้เกิดความเป็นพิษที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดหรือปริมาณของสารที่ได้รับสัมผัส ความถี่ของสารที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจจะเกิดพิษทันทีหรือไม่เกิดพิษทันทีก็ได้ โดยการได้รับการสัมผัสสาร PAHs จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพดังนี้

### ก) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

โดยทั่วไปผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่ำ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ระยะเวลาการสัมผัส ความเข้มข้นและปริมาณของสารที่รับเข้าไป ความเป็นพิษของสารแต่ละชนิด รวมถึงปัจจัยทางด้านสุขภาพของแต่ละบุคคล จากรายงาน Jamison et al. (1992) พบว่า An มีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกายมนุษย์ให้มีความไวต่อแสงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติบริเวณผิวหนัง เกิดอาการแสบร้อน คันและมีการระคายเคืองของเยื่อぶตาและหลอดลม เป็นต้น US.EPA (1998) รายงานว่า Nap หรือลูกเหม็นส่งผลให้เกิดภาวะโลหิตจาง เนื่องจากเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolytic Anemia) และต้อกระจก (Cataract) โดยผลการชันสูตรรายงานว่าผู้เสียชีวิตที่เกิดจากการกินลูกเหม็นขนาด 5 ก. เข้าไปพบว่าปอดมีการคั่งของโลหิต ตับบวมน้ำและเกิดการเปลี่ยนแปลงไขมันในเซลล์ตับอีกด้วย Cottini and Mazzone (1939) รายงานว่า B[a]P เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อぶทางเดินหายใจและผิวหนัง ส่งผลให้เกิดอาการไอ หลอมลมอักเสบ รวมถึงความผิดปกติของผิวหนัง เช่น หูด เป็นต้น เบญจวรรณ คำศรีและวชิรารวรรณ นนทกนก (2552) ได้ทำการศึกษาโดยใช้สารประกอบ 8 ชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันดิบความเข้มข้น 5 มิลลิโมล - 5 ไมโครโมล โดยป้ายสารละลายบนผิวหนังของหนูตะเภาแล้วฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่า Pry ก่อให้เกิดอาการแพ้แสงของผิวหนังอย่างรุนแรง เกิดอาการอักเสบ บวมแดงของผิวหนัง และ B[a]P ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อぶทางเดินหายใจ รวมถึงเกิดความผิดปกติของผิวหนังอีกด้วย

## ข) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

สาร PAHs เมื่อได้รับเข้าไปในร่างกายเป็นระยะเวลานานก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ โดย US.DHHS ระบุว่าสาร PAHs อาจเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ในสิ่งมีชีวิต (ATSDR, 1996) เช่น B[a]A , D[a,h]A , Chry , B[a]P , B[b]F และ Ind เป็นต้น จากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าสัตว์ทดลองที่ได้รับสาร PAHs จากการกิน การสัมผัสทางผิวหนังและการหายใจเอาอากาศที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายเป็นระยะเวลานานก่อให้เกิดเนื้องอก สำหรับมนุษย์หากมีการสูดดมหรือสัมผัสกับสาร PAHs เป็นระยะเวลานาน อาจจะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้เช่นกัน โดยพิษเรื้อรังของสาร PAHs สามารถจำแนกได้ดังนี้

- สารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดแบ่งกลุ่มสาร PAHs โดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มสารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน กลุ่มสารที่อาจก่อมะเร็งในคนและกลุ่มสารที่ไม่ก่อมะเร็งในคนแสดงดังตารางที่ 1-9 นอกจากนี้ยังพบว่าสาเหตุหรือส่วนที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในคนมาจากควันบุหรี่ น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่านหินและท่อไอเสียรถยนต์ เป็นต้น (Grariviat, 1999) ซึ่งนอกจากปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ที่มนุษย์ได้รับแล้วยังมีสารก่อมะเร็งชนิดอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย ตัวอย่างเช่น การสัมผัสสาร PAHs ทางผิวหนังอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง การสูดดมก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดและระบบทางเดินหายใจ ส่งผลต่อระบบการสืบพันธุ์และระบบประสาท และการรับประทานอาหารที่มีสาร PAHs ปนเปื้อนเข้าไปก่อให้เกิดโรคมะเร็งกระเพาะอาหาร (US.EPA, 1987) รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กจากการทำกิจกรรมต่างๆ ที่มีโอกาสได้รับสาร PAHs เช่น การกิน การคลานสัมผัสกับฝุ่น การเอามือเข้าปากหรือการดูดนิ้ว เป็นต้น (Hoffman et al.,1984; Rocca et al., 1996)

ตารางที่ 1-9 การแบ่งชนิดของสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็งโดย IARC

กลุ่ม	สาร PAHs
กลุ่ม 1	ก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic to humans) Benzo[a]pyrene
กลุ่ม 2A	มีความเป็นไปได้ในการก่อมะเร็งในมนุษย์ (Probably Carcinogen to Humans) Creosotes, Cyclopenta[c,d]pyrene, Dibenz[a,h]anthracene Dibenzo[a,l]pyrene, Dibenz[a,j]acridine
กลุ่ม 2B	อาจก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ (Possibly Carcinogen to Humans) 5-Methylchrysene, Benz[j]aceanthrylene, Benz[a]anthracene Benzo[b]fluoranthene, Benzo[j]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene Benzo[c]phenanthrene, Chrysene, Dibenz[a,h]pyrene Dibenzo[a,i]pyrene, Indeno[1,2,3-c,d]pyrene, Dibenz[a,h]acridine Dibenz[c,h]acridine, Carbazole, 7H-Dibenzo[c,g]carbazole
กลุ่ม 3	ไม่สามารถจัดแยกกว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Not classifiable as to its carcinogenicity to humans) Anthracene, Benzo[g,h,i]perylene, Benzo[e]pyrene, Chrysene Fluoranthene, Fluorene, Phenanthrene, Pyrene

แหล่งที่มา: International Agency for Research on Cancer [IARC], 1983

- สารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) สาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อการกลายพันธุ์ด้วย สาร PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเปลี่ยนสาร PAHs ให้เป็นอนุพันธ์ Epoxide ซึ่งจะเข้าไปยึดเกาะกับ DNA ได้ เมื่อสาร PAHs เข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนรูปด้วยเอนไซม์ในกลุ่มไซโตโครม พี-450 ที่มีการทำงานแบบออกซิเดส ซึ่งจะได้อเมตาบอไลต์ (สารตัวใหม่ที่เกิดจากกระบวนการทางชีวเคมี) ต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของสาร PAHs เมตาบอไลต์บางชนิดเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 3,4-diol-1,2, epoxide ซึ่งเป็นเมตาบอไลต์ของ B[a]A และ 7,8,α-dihydroxy-9α, 10α-7,8,9,10-tetrahydro-benzo[a]pyrene (BPDE) ซึ่งเป็นเมตาบอไลต์ของ B[a]P เมตาบอไลต์ที่เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น BPDE เหล่านี้มีอนุพันธ์ Epoxide อยู่ในส่วนที่เรียกว่า "Bay Region" อนุพันธ์ที่ตำแหน่งนี้จะสามารถเปลี่ยนเป็น Carbonium Ion ที่มีประจุเป็น

บวกและมีความไวสูงในการเข้าจับกับสารชีวโมเลกุลที่มีประจุเป็นลบได้ เมตาบอไลต์ดังกล่าวจะเข้าไปจับกับ DNA ที่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อ DNA เกิดการจำลองตัวเอง การเติมเบสมาเข้าคู่กับสารที่ถูกจับจะผิดไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่ลำดับเบส อย่างไรก็ตามโอกาสของการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมขึ้นกับความสามารถของเซลล์ในการซ่อมแซม DNA ที่ผิดปกติและระยะเวลาที่ได้รับสารก่อนการจำลองตัวเอง ถ้าเซลล์ซ่อมแซมได้ทัน การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมก็จะลดลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างอิงมาจาก IPCS, 1998)

- ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxicity) ไม่มีรายงานความเป็นพิษต่อระบบประสาทจากการได้รับสาร PAHs ยกเว้นสาร Nap มีรายงานว่าทำให้เกิดอาการทางระบบประสาทในเด็กทารก เช่น อาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลงและมีติชานในสมอง เป็นต้น ซึ่งอาการเหล่านี้เข้าใจว่าเกิดจากการขาดออกซิเจนในสมอง เป็นผลของสภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแตก (Hemolytic Anemia) (US.EPA, 1999)

### 3) ผลกระทบต่อพืช

สาร PAHs มีความเป็นพิษต่อพืช โดยจะไปยับยั้งการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสงและการดูดซึมแร่ธาตุของพืช เช่น การทำลายคลอโรฟิลล์และการยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอนส่งผลให้พืชมีสีเหลือง (Chlorosis) และทำให้พืชเหี่ยวเฉาโดยลดแรงดันเต่งภายในเซลล์พืช ซึ่งเกิดจากการรบกวนการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นพิษต่อการเจริญของต้นอ่อนมากกว่าการงอก นอกจากนี้ความเป็นพิษของสาร PAHs แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความสามารถในการระเหยและสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความเป็นกรดและด่างของดิน เป็นต้น (Gao and Zhu, 2004; Zhang and Zhu, 2009)

## 1.5 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงชนิด ปริมาณความเข้มข้นและการสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในแต่ละคาบเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
2. เพื่อวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในตะกอนดินทะเลสาบ พร้อมทั้งวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นในอดีต

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

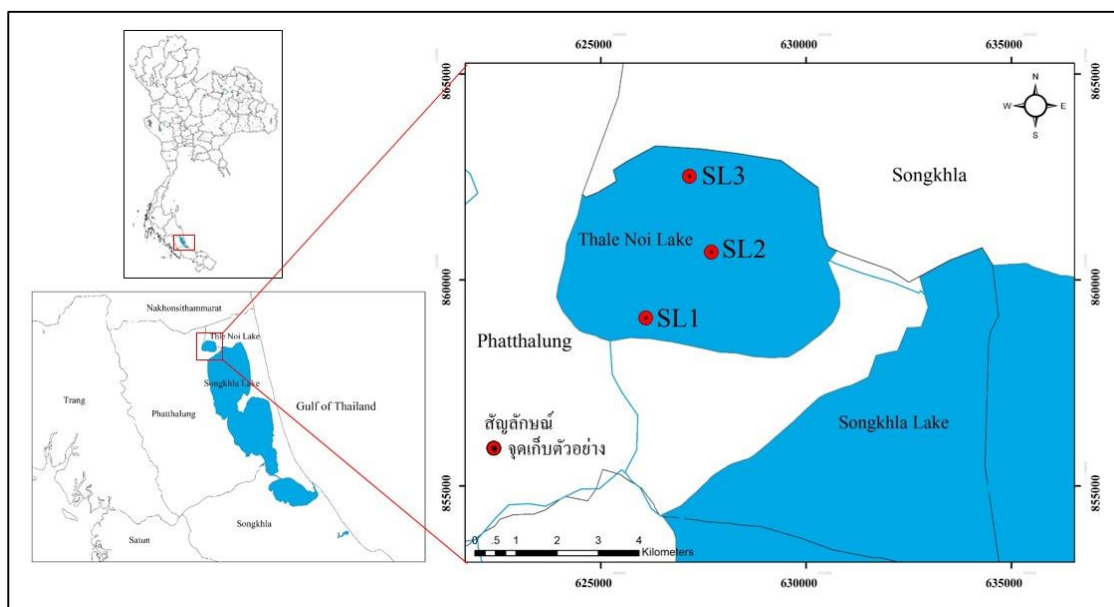
#### 2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างตะกอนดินประกอบด้วย ตัวอย่างจากทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง และตัวอย่างจากทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการการกระจายตัวและลักษณะเฉพาะของแบล็คคาร์บอนจากการเผาไหม้ของชีวมวลในเขตละติจูดกลางและต่ำของเอเชียและผลกระทบที่มีต่อภูมิอากาศของภูมิภาครวมทั้งปริมาณน้ำฝนจากลมมรสุม สำหรับการคัดเลือกพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้จะพิจารณาจากลักษณะการใช้ประโยชน์ในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งพื้นที่ทั้ง 2 แหล่งส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งชุมชน พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติ มีความหลากหลายทางระบบนิเวศ มีคุณค่าและเอื้อประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อชุมชนโดยรอบ และมีธรรมชาติที่สวยงามโดดเด่นเป็นเอกลักษณ์คือ “ทะเลบัวแดง” โดยการกำหนดสถานีสำหรับเก็บตัวอย่างผู้วิจัยได้ออกแบบสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 3 สถานีให้ครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบ เพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษาระดับการปนเปื้อนสาร PAHs ที่ได้รับผลกระทบจากพื้นที่โดยรอบทะเลสาบให้ครอบคลุมดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ตะกอนดินจากทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง เก็บตัวอย่างวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ.2560 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานี SL1 จำนวน 29 ตัวอย่าง สถานี SL2 จำนวน 16 ตัวอย่าง และสถานี SL3 จำนวน 28 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้นจำนวน 73 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 2-1 และรายละเอียดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงรายละเอียดตำแหน่งพิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อย จ.พัทลุง

สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		จำนวนตัวอย่าง
	ละติจูด	ลองจิจูด	
SL1	7.7703	100.1436	29
SL2	7.7847	100.1581	16
SL3	7.8014	100.1533	28
รวมทั้งสิ้น			73

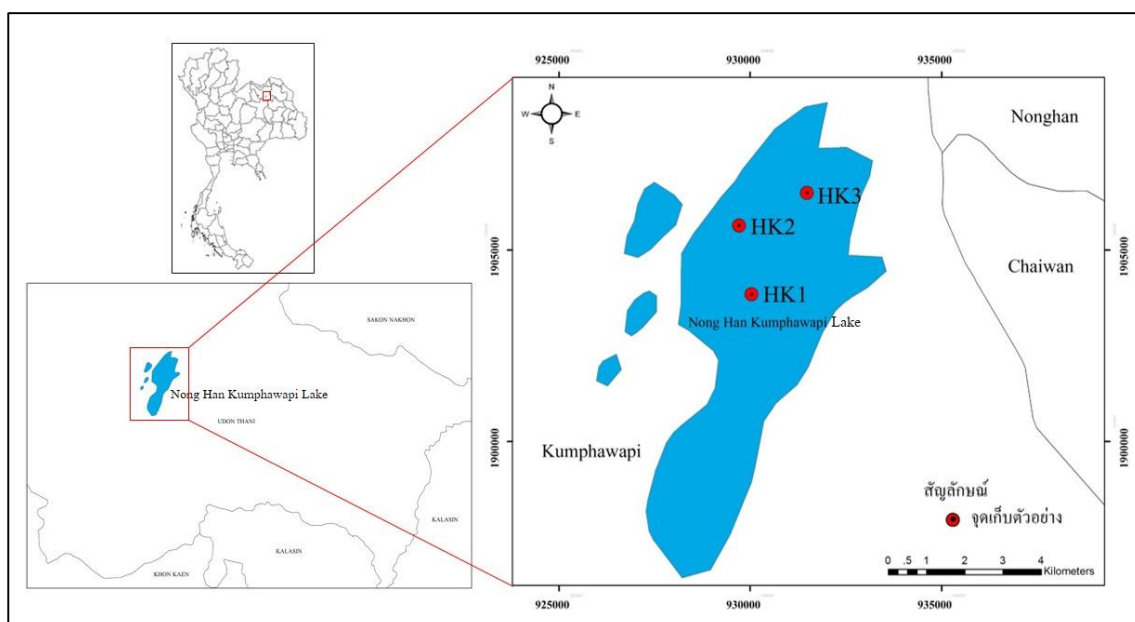


รูปที่ 2-1 แสดงรายละเอียดตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณทะเลน้อย จ.พัทลุง

2) ตะกอนดินจากทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี เก็บตัวอย่างวันที่ 26 กันยายน พ.ศ.2560 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานี HK1 จำนวน 20 ตัวอย่าง สถานี HK2 จำนวน 26 ตัวอย่าง และสถานี HK3 จำนวน 16 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้นจำนวน 62 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 2-2 และรายละเอียดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงรายละเอียดตำแหน่งพิกัดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหาน กุมภวาปี จ.อุดรธานี

สถานี	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง		จำนวนตัวอย่าง
	ละติจูด	ลองจิจูด	
HK1	17.1790	103.0411	20
HK2	17.1952	103.0384	26
HK3	17.2026	103.0552	16
<b>รวมทั้งสิ้น</b>			<b>62</b>



รูปที่ 2-2 แสดงรายละเอียดตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณ ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี

## 2.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและการเก็บรักษา

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินจะทำการเก็บตัวอย่างตามระดับความลึกโดยใช้อุปกรณ์เก็บตะกอนดินตามแนวตั้ง (Core Sediment) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ยาว 150 ซม. โดยนำตัวอย่างตะกอนดินที่ได้มาตัดแบ่งหนาชั้นละ 2 ซม. ตามวิธีการเก็บตัวอย่างตะกอนดินของกรมควบคุม

มลพิษ (2557) สำหรับศึกษาแหล่งกำเนิดมลพิษและการติดตามตรวจสอบทางด้านสิ่งแวดล้อม จากนั้นนำตัวอย่างตะกอนดินวางบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum Foil) ห่อให้มิดชิด ใส่ลงในถุงซิปล็อค จัดบันทึกรายละเอียด และเก็บรักษาตัวอย่างโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2-3



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-3 (ก) อุปกรณ์เก็บตะกอนดินตามแนวติ่ง (Core Sediment) และ (ข) ตัวอย่างตะกอนดิน

## 2.3 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

### 2.3.1 วัสดุอุปกรณ์

- 1) ชุดสกัดซอกเลต (Soxhlet) ประกอบด้วย ซอกเลต (Soxhlet Body) และ คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 2) ชุด Fractionation Chromatography
- 3) ชุดระเหย (Evaporator)
- 4) เตาทลุม (Heating Mantle)
- 5) ตู้อบ (Oven)
- 6) ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
- 7) ตู้ดูดควัน (Hood)
- 8) ตู้เย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส
- 9) เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง



- 10) ขวดก้นกลมขนาด 250 มล.
- 11) หลอดแก้วก้านยาว (Disposable Glass Pipette) พร้อมจุกยาง
- 12) ขวดแก้วขนาด 15 มล.
- 13) ขวดวัดปริมาตร (Flask) ขนาด 250 มล.
- 14) กระจกบอกรวง (Volumetric flask) ขนาด 15 และ 50 มล.
- 15) ปีกเกอร์ ขนาด 50 มล.
- 16) ขวด Vial ขนาด 2 มล. พร้อม Insert Vial ขนาด 200 มล.
- 17) เข็มฉีดยา ขนาด 50 มล.
- 18) ลูกแก้ว (Anti Bumper)
- 19) เซลลูโลสทิมเบิล (Cellulose Thimble) ขนาด 30 x 100 มล.

### 2.3.2 สารเคมี

- 1) สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane : DCM)
- 2) สารตัวทำละลายเฮกเซน (Hexane)
- 3) สารตัวทำละลายโทลูอีน (Toluene)
- 4) สารตัวทำละลายไซโครเฮกเซน (Cyclohexane)
- 5) สารตัวทำละลายอะซิโตน (Acetone)
- 6) สารตัวทำละลายเมทานอล (Methanol)
- 7) ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas)
- 8) ก๊าซฮีเลียม (Helium gas)
- 9) ซิลิกาเจล (Silica gel)

## 2.4 การเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างตะกอนดิน

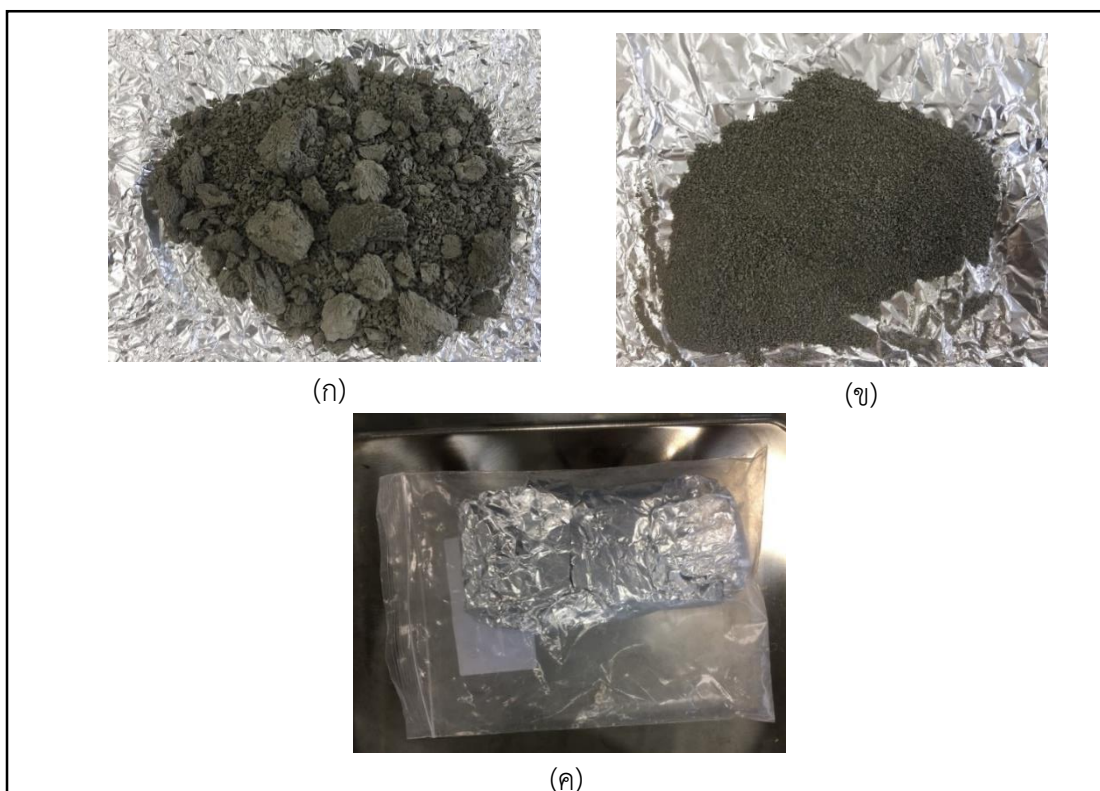
### 2.4.1 การเตรียมอุปกรณ์

อุปกรณ์และภาชนะทุกชิ้นก่อนการใช้งานต้องทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด จากนั้นชะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และชะด้วยอะซิโตนผึ่งอุปกรณ์และอบเครื่องแก้วให้แห้ง ก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง ชะด้วยไดคลอโรมีเทน 3 ครั้ง เพื่อขจัดสารที่อาจติดค้างกับเครื่องแก้วออกไป

สารเคมีที่นำมาใช้สำหรับเป็นตัวทำละลายในงานวิจัยครั้งนี้ใช้สารเคมีชนิด HPLC Grade ซึ่งประกอบด้วย ไตคลอโรมีเทน เฮกเซนและเมทานอล สำหรับเซลล์โลสทิมเบิล ไยแก้วและ ซิลิกาเจล ก่อนใช้ทุกครั้งต้องนำไปทำความสะอาดโดยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet Extraction ด้วย DCM นาน 8 ชม. แล้วผึ่งให้แห้งในเดซิเคเตอร์แล้วเก็บในภาชนะที่มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์คลุมปิดไว้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่มากับฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ เมื่อซิลิกาเจลและใยแก้วแห้งสนิทจึงนำไปเก็บในขวดแก้วที่มีฝาปิดสนิท

#### 2.4.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างตะกอนดินไปทำให้แห้งด้วยวิธี Freeze Dry เลือกเศษไม้แห้ง แล้วนำตะกอนดินมาบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงละเอียด เก็บตัวอย่างตะกอนดินโดยการห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วบรรจุใส่ถุงซิปล็อค เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไปแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2-4 (ก) ตัวอย่างตะกอนดิน (ข) ตัวอย่างตะกอนดินที่ผ่านการบดจนละเอียด และ (ค) การเก็บตัวรักษาตัวอย่างเพื่อรอการวิเคราะห์

## 2.5 การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดิน

### 2.5.1 การสกัดสาร PAHs จากตะกอนดิน

การสกัดสาร PAHs จะใช้วิธีการสกัดแบบ Soxhlet Extraction โดยเริ่มจากการชั่งตัวอย่างตะกอนดินแห้งประมาณ 10 ก. ใส่ลงในเซลล์ลูโลสทิมเบิล จากนั้นใช้คีมคีบเซลล์ลูโลสทิมเบิลใส่ลงในชอกเลต เติมผงทองแดงและลูกแก้วลงในขวดก้นกลม เติม Internal Standard (ประกอบด้วย Deuterated-Fluorene และ Deuterated-Perylene ลงบนตัวอย่าง 50 มคล. เติมไดคลอโรมีเทนลงในชอกเลตประมาณ 150 มล. หรือประมาณ 1 รอบครึ่ง เพื่อใช้เป็นตัวทำละลาย ทำการประกอบชุดสกัด Soxhlet และ Condenser บนเตาหลุมพร้อมกับเปิดสวิตช์เตาหลุม เปิดน้ำประปาเพื่อใช้ในการหล่อเย็น โดยจะใช้เวลาในการสกัด 8 ชม. แสดงดังรูปที่ 2-5

นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรโดยใช้เครื่องระเหยสาร หมุนอย่างช้าๆ หากมีฟองอากาศให้ลดความเร็วลงทันทีจนเหลือปริมาตรประมาณ 2-3 มล. แสดงดังรูปที่ 2-5 ใช้ปิเปตดูมาเก็บไว้ในขวดแก้วขนาด 15 มล. แล้วนำไปเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบาๆ (Blow-Down) เพื่อระเหยตัวทำละลาย โดยนำขวดสารตัวอย่างต่อกับท่อแก๊สไนโตรเจนแล้วค่อยๆ เปิดแก๊สเบาๆ สังเกตเห็นว่าสารตัวอย่างกระเพื่อมเล็กน้อยจนเหลือสารละลายประมาณ 0.2-0.3 มล. แล้วทำการเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นเฮกเซนปริมาตร 10 มล. เป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนอีกครั้งจนเหลือปริมาตร 2 มล. จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปสกัดแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสาร PAHs ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column Chromatography)



(ก)

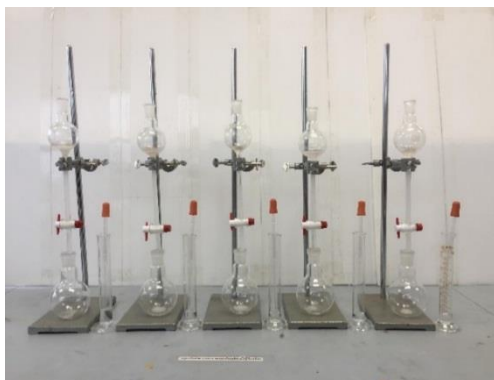


(ข)

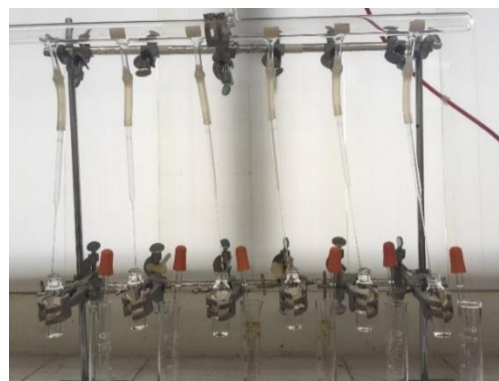
รูปที่ 2-5 (ก) ชุดสกัดแบบ Soxhlet และ (ข) เครื่องระเหยสาร (Rotary Evaporators)

## 2.5.2 วิธีการแยกส่วน (Factionation Chromatography)

วิธีการแยกส่วนเพื่อแยกสาร PAHs ออกจากสารละลายที่ได้จากการสกัดตะกอนดิน โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีแสดงดังรูปที่ 2-6 เริ่มจากการเตรียมซิลิกาเจลสำหรับบรรจุลงในคอลัมน์ โดยการอบซิลิกาเจล (ยี่ห้อ Merck) ที่อุณหภูมิ 150 ซ. เป็นเวลา 3 ชม. จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ แล้วเตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟีชนิดที่มีวาล์วเปิด-ปิด ใส่ใยแก้วลงไปคอลัมน์เล็กน้อย ละลายซิลิกาเจลด้วยสารตัวทำละลายเฮกเซนในปีกเกอร์แล้วเทลงในคอลัมน์ให้อยู่ในลักษณะชั้นหนืด (Slurry) เปิดวาล์วให้สารตัวทำละลายเฮกเซนในคอลัมน์ค่อยๆ ไหลลงในปีกเกอร์เปล่าจนสารตัวทำละลายเฮกเซนเหลืออยู่ที่ระดับคอขวด ควรระวังอย่าให้คอลัมน์แห้ง ซึ่งระดับของเฮกเซนต้องอยู่เหนือระดับของซิลิกาเจลเสมอ แล้วเทสารตัวอย่างที่ผ่านการ Blow-Down ลงในคอลัมน์ จากนั้นเทสารตัวทำละลายเฮกเซนปริมาตร 15 มล. ลงในคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลของตัวทำละลายเฮกเซนให้อยู่ที่ 1 หยดต่อ 1 วินาที รอจนสารละลายไหลลงมาจนถึงแนวซิลิกาเจล แล้วเติมสารตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนกับโทลูอีน (อัตราส่วนเฮกเซน 1 มล. : โทลูอีน 0.6 มล.) ปริมาตร 15 มล. ลงในคอลัมน์รอจนสารละลายไหลลงมาแห้งสนิท แล้วนำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์แล้ว ลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยสาร หมุนอย่างช้าๆ จนเหลือปริมาตรประมาณ 2-3 มล. ใช้ปิเปตดูดมาเก็บไว้ในขวดแก้ว ขนาด 15 มล. แล้วนำสารตัวอย่างไปเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อระเหยตัวทำละลายอีกครั้ง โดยนำขวดสารตัวอย่างต่อกับท่อแก๊สไนโตรเจนแล้วค่อยๆ เปิดแก๊สเบาๆ จนเหลือสารละลายประมาณ 0.2-0.3 มล. เติมไซโครเฮกเซนปริมาตร 5 มล. และลดปริมาตรจนเหลือประมาณ 0.1 มล. ดูดตัวอย่างใส่ใน Insert Vial ปรับปริมาตรตัวอย่างที่ 100 มคก. นำไปแช่เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2-6 (ก) การแยกส่วน (Factionation) สารละลายผ่านซิลิกาเจล และ (ข) การเป่าเบาๆ ด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อลดปริมาตรของสารละลาย

### 2.5.3 เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS

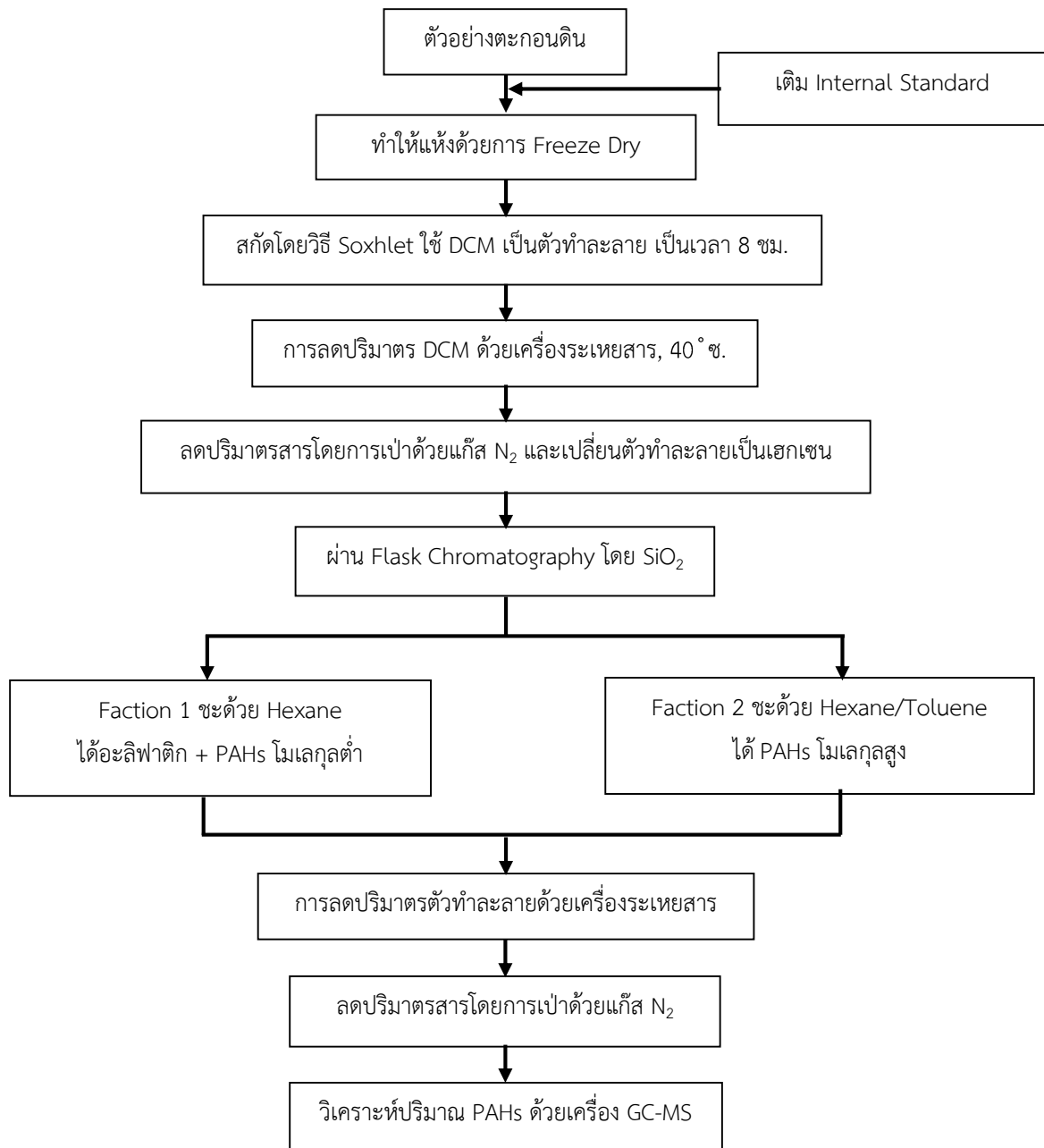
การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC/MS) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น QP2010 Ultra ผลิตโดยบริษัท SHIMADZU แสดงดังรูปที่ 2-7 และติดตั้ง Capillary Column รุ่น Rtx ความยาว 30 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (I.D.) 0.25 มม. และความหนาของฟิล์มเคลือบ (Filmthickness) 0.5 ไมครอน สำหรับสภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS แสดงดังตารางที่ 2-3 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



รูปที่ 2-7 เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

ตารางที่ 2-3 สภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS) ในการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสาร PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column Type)	คอลัมน์แคปิลลารี (Capillary Column) รุ่น Rtx เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 มม. ยาว 30 ม. ความหนาของฟิล์มเหลว 0.5 ไมครอน.
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase)	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มล./นาที
	อุณหภูมิของ Ion Source	200 ซ.
	อุณหภูมิของ Interface	280 ซ.
	อุณหภูมิของ Injection	280 ซ.
	อุณหภูมิของ Transfer Line	280 ซ.
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมครอน. (Splitless Liner)
	โหมดควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Mode)	Linear Velocity
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Quadrupole
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI <sup>+</sup> )
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIM (Selected Ion Monitoring)



รูปที่ 2-8 ผังสรุปขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดินด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี

## 2.6 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดิน โดยทำการตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์จากการสกัดและวิเคราะห์ Standard Reference Material (SRM) 1941b Organics in Marine Sediment ปริมาณ 5 ก. ทำการสกัดและวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกับตัวอย่างตะกอนดิน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์สาร PAHs ซึ่งจะเป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลอง และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (%Accuracy) ของ Internal Standard ในการทดลองได้

## 2.7 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสาร PAHs

### 2.7.1 Relative Response Factor (RRF)

การตอบสนองของเครื่อง GC-MS ต่อปริมาณของสาร PAHs จะแสดงออกมาในรูปแบบพื้นที่ของพีค (Peak) กล่าวคือ หากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีปริมาณความเข้มข้นสูงเครื่องจะตอบสนองโดยการแสดงพื้นที่ของพีคมาก แต่หากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีความเข้มข้นต่ำพื้นที่พีคก็จะแสดงออกมาน้อยลง ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์นั้น เครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องแสดงพื้นที่พีคคงที่ตลอด

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

โดยที่	$A_{\text{Nat}}$	=	พื้นที่พีคของ Native-PAHs
	$A_{\text{Deut}}$	=	พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs
	$C_{\text{Nat}}$	=	ความเข้มข้นของ Native-PAHs
	$C_{\text{Deut}}$	=	ความเข้มข้นของ Deuterated-PAHs

หากค่าของ  $\text{RRF} < 1$  แสดงว่า Sensitivity ของ Native-PAHs มีค่าต่ำกว่าของ 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

### 2.7.2 วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard

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

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

จากสมการที่ 2-2 สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native-PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง

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

โดยที่	$C_{\text{Nat}}$	=	ความเข้มข้นของ Native-PAHs ในตัวอย่าง (นกก./ก.)
	$A_{\text{Nat}}$	=	พื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
	$A_{\text{Deut}}$	=	พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง
	$W_{\text{Deut}}$	=	น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง (นกก.)
	RRF	=	Relative Response Factor
	V	=	ปริมาณตัวอย่างตะกอนดิน (ก.)

## 2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เป็นการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจากตัวอย่างตะกอนดินของแต่ละสถานี โดยใช้ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ในการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มและการกระจายของข้อมูล โดยหาค่าผลรวม (Summation), ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด (Max), ค่าต่ำสุด (Min) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) วิเคราะห์สัดส่วนและองค์ประกอบของสาร PAHs ในแต่ละแหล่งกำเนิดโดยวิธีทางสถิติแบบ Binary Ratio จากนั้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนด้วยโปรแกรม Sigma Plot

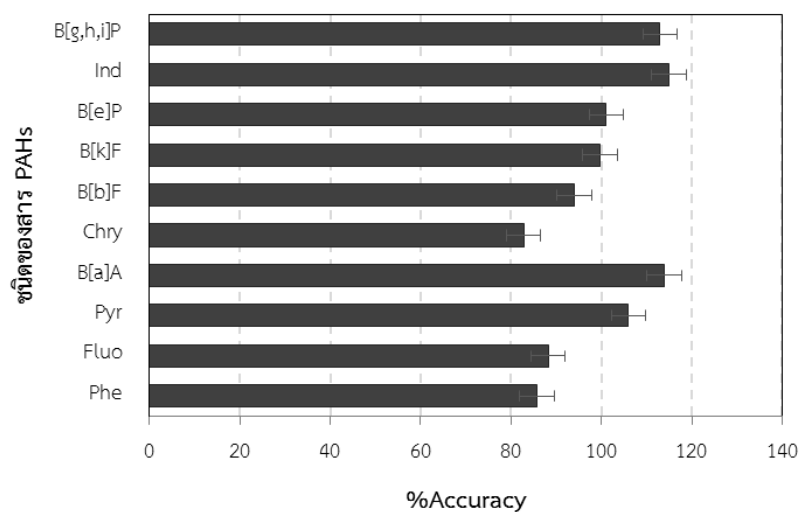
### บทที่ 3

#### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

##### 3.1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน

การควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ (Quality Assurance, QA) ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ตะกอนดิน โดยการสกัดและวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Material; SRM) 1941b Organics in Marine Sediment จำนวน 0.5 ก. ซึ่งจะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างจำนวน 8 ซ้ำ และเติม Internal Standard ในทุกตัวอย่างที่สกัด เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) โดยผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของสารอ้างอิงมาตรฐานมีดังนี้ Phe, Fluo, Pyr, Chry, B[a]A, B[b]F, B[k]F, B[e]P, Ind และ B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ  $464 \pm 16$ ,  $721 \pm 45$ ,  $538 \pm 34$ ,  $336 \pm 25$ ,  $289 \pm 26$ ,  $480 \pm 25$ ,  $229 \pm 19$ ,  $321 \pm 10$ ,  $291 \pm 14$  และ  $267 \pm 17$  นนก./ก.นน.แห้งตามลำดับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับมาที่สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b โดยการคำนวณ %Accuracy หากมีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 20\%$  ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับสารปนเปื้อน (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2006) ดังแสดงตารางที่ 3-1 แสดงดังรูปที่ 3-1 ตารางที่ 3-1 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน SRM 1941b

SRM	CODE	ค่าที่กำกับมา นนก./ก.นน.แห้ง	ค่าที่วิเคราะห์ได้ นนก./ก.นน.แห้ง	%Accuracy
Phenanthrene	Phe	$406 \pm 44$	$464 \pm 16$	$86 \pm 4$
Fluoranthene	Fluo	$651 \pm 50$	$721 \pm 45$	$88 \pm 7$
Pyrene	Pyr	$581 \pm 39$	$538 \pm 34$	$106 \pm 7$
Chrysene	Chry	$291 \pm 31$	$336 \pm 25$	$83 \pm 8$
Benzo[a]anthracene	B[a]A	$335 \pm 25$	$289 \pm 26$	$114 \pm 8$
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	$453 \pm 21$	$480 \pm 25$	$94 \pm 6$
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	$225 \pm 18$	$229 \pm 19$	$100 \pm 8$
Benzo[e]pyrene	B[e]P	$325 \pm 25$	$321 \pm 10$	$101 \pm 3$
Indeno[1,2,3-cd] pyrene	Ind	$341 \pm 57$	$291 \pm 14$	$115 \pm 4$
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	$307 \pm 45$	$267 \pm 17$	$113 \pm 6$



รูปที่ 3-1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยสารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard Reference Material; SRM) 1941b Organics in Marine Sediment

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดสาร PAHs ในตะกอนดินตามระดับความลึก

ผลการวิเคราะห์ตะกอนดินตามระดับชั้นความลึกจำนวน 6 สถานี ได้แก่ ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง (สถานี SL1-SL3) จำนวน 73 ตัวอย่าง และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี (สถานี HK1-HK3) จำนวน 62 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้นจำนวน 135 ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นรวม ( $\Sigma$ PAHs) และชนิดของสาร PAHs จำนวน 15 ชนิด ประกอบด้วย 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, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P โดยผลการศึกษาสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบ พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs แต่ละชนิดที่พบแตกต่างกันออกไปในแต่ละสถานี ดังนี้

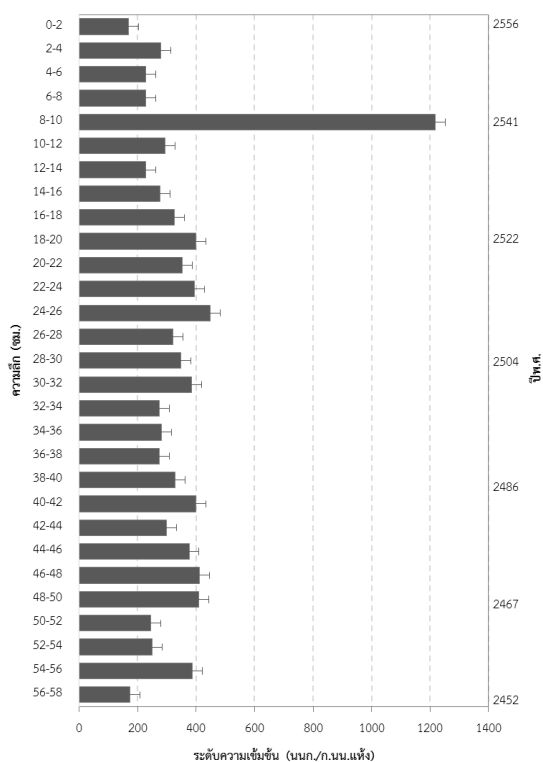
### 3.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลน้อย

1) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1

ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี SL1 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 58 ซม. พบว่า ปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma$ PAHs อยู่ในช่วง 169.37-1,217.67 นนก./ก.น.น.แห้ง และ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $344.85 \pm 296.10$  นนก./ก.น.น.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-2 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 8-10 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 0-2 ซม. โดยระดับความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs ในสถานีนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามระดับชั้นความลึกไม่ชัดเจน เนื่องจากในบริเวณนี้อยู่ใกล้แหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้มีปัญหาแหล่งน้ำตื้นเขินและวัชพืชหนาแน่น จึงทำให้มีการขุดลอกแหล่งน้ำเป็นระยะๆ ดังนั้นแนวโน้มของสาร PAHs จึงไม่เป็นไปตามความเป็นจริงเท่าที่ควรแสดงดังรูปที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1 (มีหน่วยเป็น นนก./ก.น.น.แห้ง)

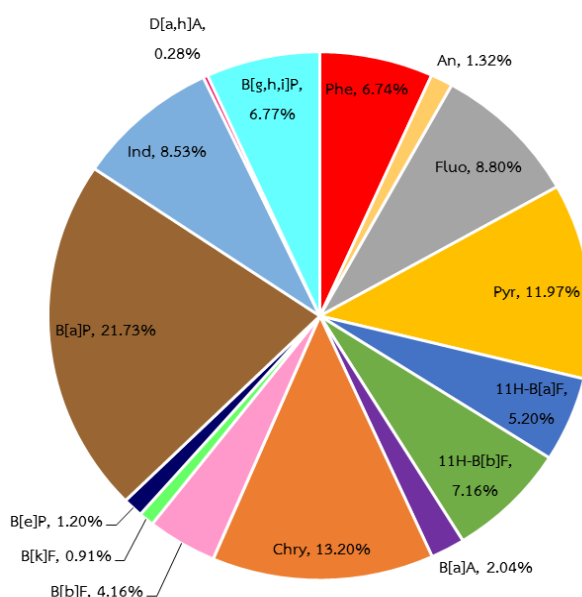
สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma$ PAHs	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma$ PAHs
SL101	0-2	1.11-34.20	11.81	169.37	SL116	30-32	0.95-89.50	24.02	384.81
SL102	2-4	0.91-51.44	20.02	279.20	SL117	32-34	1.15-68.18	17.83	274.69
SL103	4-6	1.17-39.20	15.12	227.67	SL118	34-36	0.83-74.69	19.59	282.27
SL104	6-8	1.07-41.22	15.53	227.36	SL119	36-38	0.21-71.74	18.57	273.40
SL105	8-10	1.09-424.01	93.33	1,217.67	SL120	38-40	0.99-75.38	22.59	327.66
SL106	10-12	1.46-58.69	19.91	293.81	SL121	40-42	1.38-131.42	28.58	400.14
SL107	12-14	1.15-38.46	14.94	227.72	SL122	42-44	0.54-50.68	20.00	298.43
SL108	14-16	0.96-45.54	18.17	277.04	SL123	44-46	0.84-93.95	26.55	375.84
SL109	16-18	1.32-55.32	21.24	326.49	SL124	46-48	0.58-125.72	28.71	411.32
SL110	18-20	0.82-90.54	27.02	399.88	SL125	48-50	0.86-158.22	28.90	407.90
SL111	20-22	0.38-94.75	22.32	351.89	SL126	50-52	0.42-77.20	17.37	244.07
SL112	22-24	0.84-121.31	27.55	394.90	SL127	52-54	0.83-60.26	18.08	250.21
SL113	24-26	1.92-125.29	31.79	448.20	SL128	54-56	1.38-156.45	29.05	386.01
SL114	26-28	0.75-81.45	21.70	320.93	SL129	56-58	0.39-53.59	12.29	174.35
SL115	28-30	1.00-96.36	20.32	347.48	Average		0.96-74.95	23.89	344.85



รูปที่ 3-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL1

เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[a]P, Chry และ Pyr คิดเป็น 21.73, 13.20 และ 11.97% ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-3 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซีน 4-5 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร B[a]A และ Chry ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะบ่งชี้ได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Duval and Friedlander, 1981; Khalili et al., 1995; Manoli et al., 2004) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้ได้รับอิทธิพลต่างๆ จากกิจกรรมอื่นๆ โดยรอบพื้นที่ เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม การเผาไหม้ในพื้นที่ทางการเกษตร กิจกรรมการท่องเที่ยวชมดอกบัวแดงและการทำประมงพื้นบ้านขนาดเล็ก เป็นต้น ทำให้มีการสัญจรไปมาทั้งทางบกและทางน้ำจำนวนมาก จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของยานพาหนะ ประกอบกับ

บริเวณนี้ยังได้มีการก่อสร้างถนนยกระดับข้ามทะเลสาบเชื่อมต่อระหว่างอำเภอควนขนุน จ.พัทลุง เพื่อเดินทางไปยังอำเภอระโนด จ.สงขลา ทำให้บริเวณนี้มีการคมนาคมคับคั่งทั้งทางบกและทางน้ำ ผนวกกับบริเวณดังกล่าวยังอยู่ใกล้เคียงกับจุดเชื่อมต่อระหว่างทะเลน้อยกับทะเลสาบสงขลา (ตอนบน) ส่งผลให้อุณหภูมิของสารแขวนลอยสามารถที่จะถูกกักขังและตกตะกอนสะสมอยู่ในสถานีนี้นี้สูงกว่าสถานี่อื่นๆ อีกด้วย



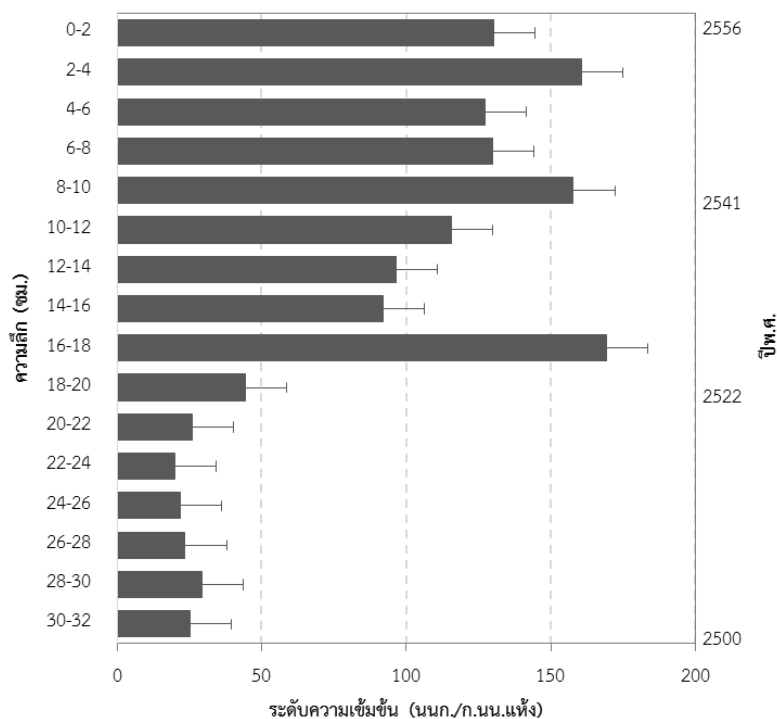
รูปที่ 3-3 เปรอ์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> แต่ละชนิด  
ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1

2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2

ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี SL2 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 32 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> อยู่ในช่วง 20.01-169.30 นนก./ก.นน.แห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $85.61 \pm 61.86$  นนก./ก.นน.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-3 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 16-18 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 22-24 ซม. โดยปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในสถานีนี้นี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากอดีตแสดงดังรูปที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL2  
(มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง)

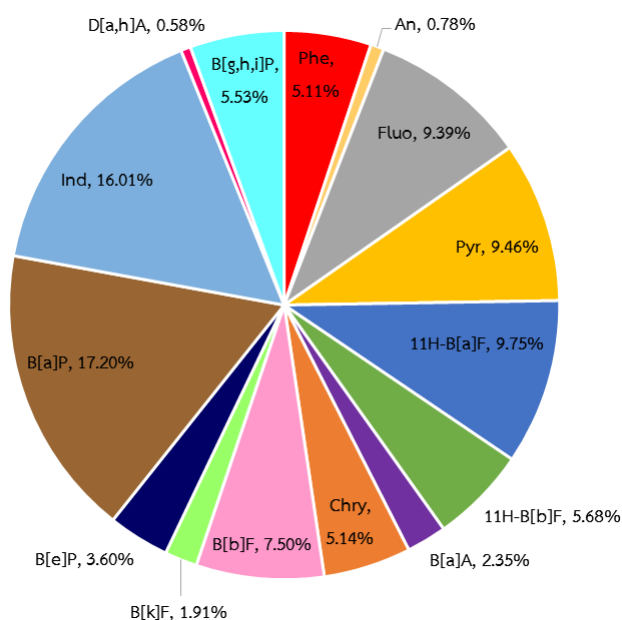
สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
SL201	0-2	0.99-23.21	9.28	130.24	SL210	18-20	0.22-8.49	3.15	44.57
SL202	2-4	1.13-24.20	11.64	160.62	SL211	20-22	0.18-5.49	1.72	26.10
SL203	4-6	0.55-20.42	9.03	127.12	SL212	22-24	0.12-4.16	1.35	20.01
SL204	6-8	0.41-18.78	8.86	130.03	SL213	24-26	0.11-4.06	1.34	21.75
SL205	8-10	0.47-33.08	11.09	157.86	SL214	26-28	0.16-5.17	1.64	23.59
SL206	10-12	0.63-26.25	8.27	115.66	SL215	28-30	0.08-4.79	1.88	29.24
SL207	12-14	0.82-18.62	6.80	96.58	SL216	30-32	0.17-5.30	1.78	25.26
SL208	14-16	0.44-16.33	6.50	91.87	Average		0.49-14.72	6.04	85.61
SL209	16-18	1.03-33.86	12.38	169.30					



รูปที่ 3-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL2



เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[a]P, Ind และ 11H-B[a]F คิดเป็น 17.20, 16.01 และ 9.75% ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-5 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซีน 4-6 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร Ind และ 11H-B[a]F ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะบ่งชี้ได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Duval and Friedlander, 1981; Khalili et al., 1995; Manoli et al., 2004) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่โดยรอบส่วนใหญ่เป็นแหล่งชุมชนและแหล่งเกษตรกรรม ทำให้ได้รับอิทธิพลต่างๆ จากกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยรอบ เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม การเผาไหม้พื้นที่ทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรกรรม เป็นต้น นอกจากนี้บริเวณดังกล่าวยังใช้เป็นเส้นทางเดินเรือของประชาชน การทำประมงพื้นบ้านขนาดเล็ก ทำให้มีการสัญจรไปมาอยู่ตลอดเวลา จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเรือที่สัญจรไปมาในบริเวณพื้นที่อีกด้วย



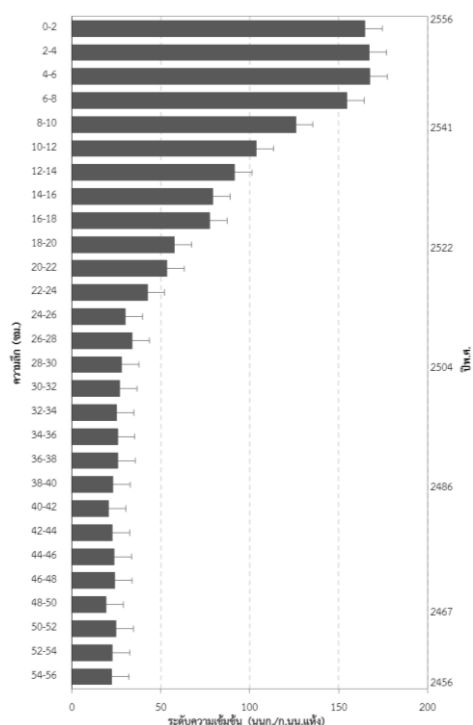
รูปที่ 3-5 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  แต่ละชนิด  
ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2

3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเล  
น้อยสถานี SL3

ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี SL3 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 56 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 19.38-167.62 นนก./ก.นน.แห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $60.19 \pm 51.33$  นนก./ก.นน.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-4 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 4-6 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 48-50 ซม. โดยปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานีนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากอดีตแสดงดังรูปที่ 3-6

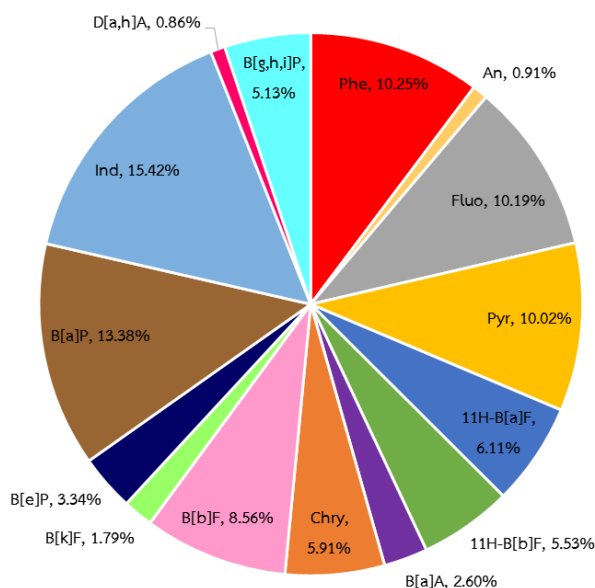
ตารางที่ 3-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3  
(มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง)

สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
SL301	0-2	1.31-30.61	11.38	164.91	SL316	30-32	0.12-6.19	1.51	26.85
SL302	2-4	1.28-28.65	11.82	167.18	SL317	32-34	0.18-5.35	1.44	25.13
SL303	4-6	1.34-24.82	11.91	<b>167.62</b>	SL318	34-36	0.22-6.89	1.35	25.78
SL304	6-8	1.45-23.15	10.98	154.69	SL319	36-38	0.12-5.08	1.56	26.00
SL305	8-10	1.19-19.72	8.88	125.90	SL320	38-40	0.09-3.86	1.41	23.12
SL306	10-12	0.56-13.92	6.56	103.61	SL321	40-42	0.20-4.08	1.22	20.57
SL307	12-14	0.67-13.28	5.86	91.42	SL322	42-44	0.16-5.62	1.25	22.75
SL308	14-16	0.68-11.97	5.39	79.33	SL323	44-46	0.07-6.23	1.29	23.94
SL309	16-18	0.68-11.76	5.20	77.45	SL324	46-48	0.13-5.21	1.40	24.19
SL310	18-20	0.53-9.51	3.86	57.69	SL325	48-50	0.16-4.30	1.28	<b>19.38</b>
SL311	20-22	0.30-9.32	3.16	53.47	SL326	50-52	0.15-6.05	1.34	24.81
SL312	22-24	0.35-6.54	2.61	42.50	SL327	52-54	0.16-6.58	1.15	22.71
SL313	24-26	0.20-7.18	1.67	29.99	SL328	54-56	0.12-5.14	1.24	22.41
SL314	26-28	0.18-6.76	2.04	34.01	<b>Average</b>		<b>0.52-9.28</b>	<b>3.94</b>	<b>60.19</b>
SL315	28-30	0.17-5.44	1.70	27.91					



รูปที่ 3-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL3

เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ Ind, B[a]P และ Phe คิดเป็น 15.42, 13.38 และ 10.25% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3-7 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซีน 3-6 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร Fluo, Phe และ B[b]F ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะบ่งชี้ได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ และการใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะ (Duval and Friedlander, 1981; Khalili et al., 1995; Manoli et al., 2004; Abdel-shafy et al., 2016) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่โดยรอบส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าพรุหนาแน่นและแหล่งเกษตรกรรมจึงทำให้ได้รับอิทธิพลต่างๆ จากกิจกรรมโดยรอบ เช่น การปล่อยน้ำทิ้งจากพื้นที่เกษตรกรรม การเผาไหม้พื้นที่ทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรหรือไถป่า เป็นต้น นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ทะเลน้ยมีการทำประมงพื้นบ้านขนาดเล็ก ทำให้มีการสัญจรไปมาของเรืออยู่เป็นประจำ จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเรือที่สัญจรไปมาในบริเวณพื้นที่



รูปที่ 3-7 เปอร์เซนต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> แต่ละชนิด  
ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3

ดังนั้นจากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 3 สถานี จะเห็นว่ามีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงระดับความลึกประมาณ 18 ซม. เป็นต้นมา ซึ่งจากการศึกษาของเท็ดทูน ดำรงฤทธามาศย์ (2548) พบว่าอัตราเฉลี่ยการสะสมของอายุตะกอนในทะเลน้อยมีค่าเท่ากับ 0.54 ซม./ปี ซึ่งเมื่อได้ทำการวิเคราะห์อัตราสะสมตะกอนช่วงนี้น่าจะมีอายุประมาณ 108 ปี (พ.ศ. 2452) นับถอยหลังจากวันที่เกิดตัวอย่างตะกอนดิน (1 สิงหาคม พ.ศ.2560) โดยหลังจากพื้นที่ทะเลน้อยถูกประกาศให้เป็นเขตห้ามล่าพันธุ์สัตว์ป่าทะเลน้อยขึ้นในช่วงปีพ.ศ.2518 แล้ว ทะเลน้อยได้เริ่มมีการส่งเสริมการท่องเที่ยวบริเวณพื้นที่ขึ้น ทำให้มีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในปีพ.ศ.2524 จากข้อมูลพบว่ามีปริมาณนักท่องเที่ยวสูงถึง 123,345 คน (สิทธิกร มากนวน, 2543) ปัจจุบันนักท่องเที่ยวไม่ต่ำกว่า 200,000 คนต่อปี จึงคาดว่าจากกิจกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยวและการพัฒนาของชุมชนจะส่งผลต่อปริมาณสาร PAHs เพิ่มขึ้น (เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อย, 2552)

เปอร์เซนต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่ในทะเลน้อย จะมีลักษณะเด่นของกลุ่มสารที่พบคล้ายคลึงกัน ได้แก่ B[a]A, Chry, Ind, Fluo, Phe และ B[b]F โดยจะสามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ และการน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะโดยเฉพาะเรือ (Duval and Friedlander, 1981; Khalili et al., 1995;

Caricchia et al., 1999; Manoli et al., 2004; Abdel-shafy et al., 2016) ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์และการใช้ประโยชน์ในบริเวณพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะกิจกรรมการท่องเที่ยวและการพัฒนาของชุมชน

### 3.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี

1) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1

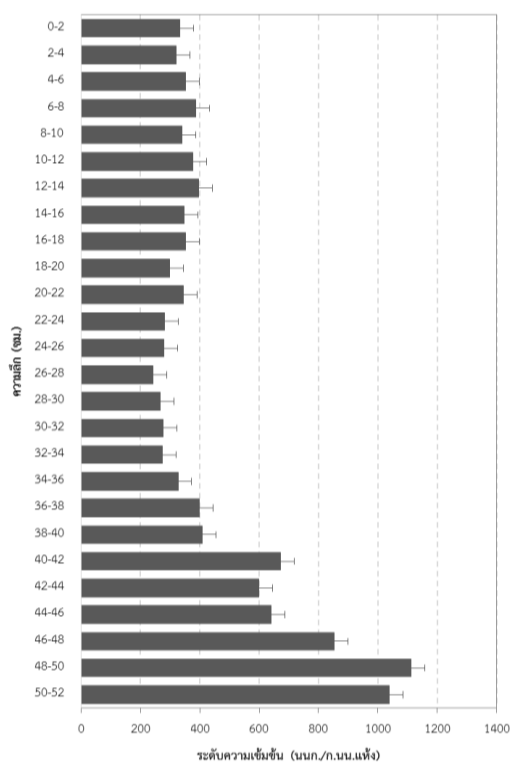
ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี HK1 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 52 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 242.05-1,111.64 นนก./ก.นน.แห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $443.06 \pm 297.42$  นนก./ก.นน.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-5 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 48-50 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 26-28 ซม. โดยปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานีนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงจากอดีตแสดงดังรูปที่ 3-8

ตารางที่ 3-5 ปริมาณความเข้มข้นรวมสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี สถานี HK1 (มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง)

สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
HK101	0-2	1.97-52.31	22.25	333.76	HK115	28-30	1.49-54.62	17.78	266.65
HK102	2-4	1.56-44.21	21.31	319.61	HK116	30-32	1.45-61.26	18.37	275.61
HK103	4-6	1.81-54.23	23.55	353.20	HK117	32-34	1.47-65.82	18.31	274.68
HK104	6-8	1.70-52.55	25.81	387.15	HK118	34-36	1.96-86.03	21.78	326.66
HK105	8-10	1.90-48.70	22.72	340.74	HK119	36-38	2.05-109.44	26.62	399.23
HK106	10-12	2.27-49.69	25.05	375.68	HK120	38-40	2.23-120.05	27.30	409.54
HK107	12-14	2.90-52.02	26.48	397.15	HK121	40-42	3.70-203.18	44.84	672.54
HK108	14-16	1.71-46.91	23.13	346.96	HK122	42-44	3.07-194.65	39.94	599.16
HK109	16-18	1.12-83.27	23.48	352.27	HK123	44-46	2.93-192.10	42.67	640.09

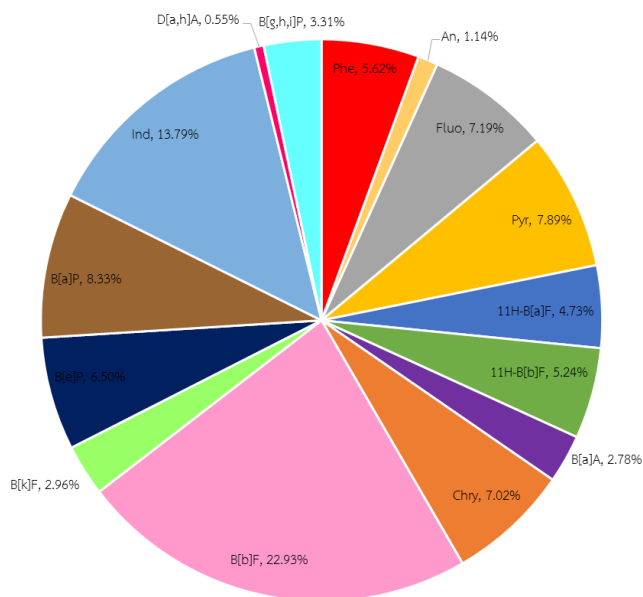
ตารางที่ 3-5 ปริมาณความเข้มข้นรวมสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี  
สถานี HK1 (มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง) (ต่อ)

สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
HK110	18-20	2.28-44.21	19.86	297.89	HK124	46-48	4.35-274.03	56.92	853.78
HK111	20-22	2.37-121.03	22.99	344.78	HK125	48-50	5.74-382.79	74.11	1,111.64
HK112	22-24	2.44-38.96	18.79	281.89	HK126	50-52	4.25-355.13	69.22	1038.35
HK113	24-26	2.42-40.03	18.56	278.45	Average		2.43-101.61	29.54	443.06
HK114	26-28	1.98-36.18	16.14	242.05					



รูปที่ 3-8 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดิน  
ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1

เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[b]F, Ind และ B[a]P คิดเป็น 22.93, 13.79 และ 8.33% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3-9 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซีน 5-6 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (ATSDR, 1995; Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร B[b]F และ Chry ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้และการใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะ (Abdel-shafy et al., 2016) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม อาจส่งผลให้มีการปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม การเผาพื้นที่ทางการเกษตร รวมถึงบริเวณพื้นที่ในอดีตเคยเป็นพื้นที่ป่าและที่ตั้งของแหล่งชุมชนโบราณเก่าแก่กว่า 100 ปี โดยเฉพาะบริเวณดอนแก้วจะเป็นสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญคือ วัดพระธาตุดอนแก้ว ซึ่งจากประวัติศาสตร์ท้องถิ่นหรือหลักฐานทางโบราณคดี (สำนักงานวัฒนธรรมอำเภอกุมภวาปี, 2558) บริเวณดอนแก้วถือได้ว่าเป็นแหล่งที่ตั้งชุมชนหนาแน่นโบราณและเมืองโบราณที่เป็นศูนย์กลางของชุมชน (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2557) ผนวกกับหลักฐานทางธรณีเคมีของอินทรีย์วัตถุจากอดีตส่วนใหญ่จะพบเศษถ่านไม้ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถสันนิษฐานเพิ่มเติมได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้น่าจะเคยเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ป่าขึ้น (Kealthofer and Penny, 1998) ประกอบกับบริเวณพื้นที่มีการท่องเที่ยวและการทำประมงขนาดเล็ก ทำให้มีการสัญจรทางน้ำอยู่เป็นประจำ จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3-9 เปอร์เซนต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  แต่ละชนิด  
ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1

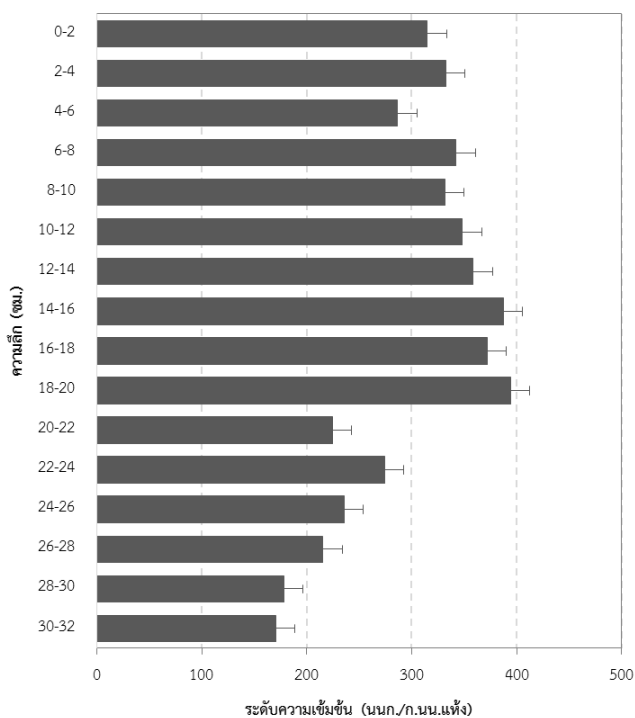
2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดิน  
ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2

ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี HK2 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 32 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 170.44-394.33 นนก./ก.นน.แห้ง และมีความเฉลี่ยเท่ากับ  $297.90 \pm 94.54$  นนก./ก.นน.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-6 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 18-20 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 30-32 ซม. โดยความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานีนี้มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามระดับความลึกไม่ชัดเจนแสดงดังรูปที่ 3-10



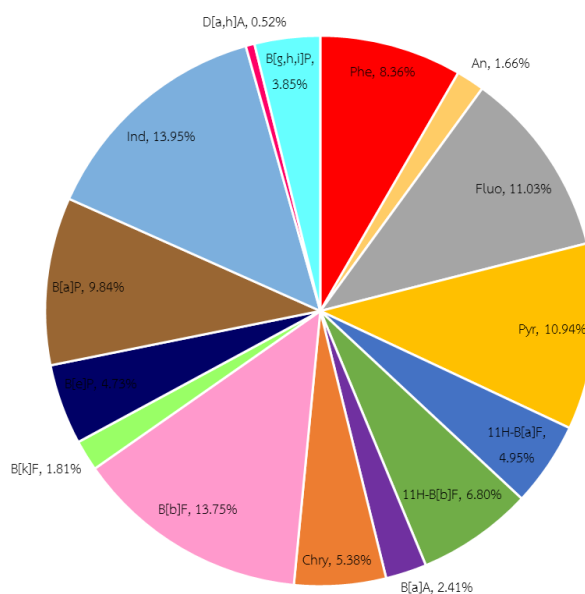
ตารางที่ 3-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี  
สถานี HK2 (มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง)

สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด- ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
HK201	0-2	1.04-50.18	21.00	314.97	HK210	18-20	2.60-66.26	26.29	<b>394.33</b>
HK202	2-4	1.33-48.09	22.18	332.71	HK211	20-22	0.75-36.86	14.95	224.29
HK203	4-6	2.03-43.23	19.12	286.74	HK212	22-24	0.84-50.86	18.26	273.96
HK204	6-8	1.47-45.91	22.82	342.32	HK213	24-26	2.25-42.75	15.69	235.41
HK205	8-10	2.42-43.45	22.11	331.71	HK214	26-28	1.03-38.79	14.37	215.49
HK206	10-12	1.64-48.70	23.21	348.19	HK215	28-30	0.87-38.35	11.87	178.09
HK207	12-14	0.88-47.35	23.90	358.50	HK216	30-32	0.56-36.46	11.36	<b>170.44</b>
HK208	14-16	2.50-56.55	25.82	387.32	<b>Average</b>		<b>1.54-41.56</b>	<b>19.86</b>	<b>297.90</b>
HK209	16-18	2.35-55.02	24.79	371.85					



รูปที่ 3-10 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดิน  
ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2

เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ Ind, B[b]F และ Fluo คิดเป็น 13.95, 13.75 และ 11.03% ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-11 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซีน 4-6 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร B[a]P และ Ind ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้และการเผาไหม้ฟางข้าว (Duval and Friedlander, 1981; ATSDR, 1995; Khalili et al., 1995) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่โดยรอบเป็นแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้มีการปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม การเผาพื้นที่ทางการเกษตร อีกทั้งกิจกรรมการท่องเที่ยวชมดอกบัวแดงและการทำประมงขนาดเล็ก ทำให้มีการสัญจรด้วยเรือเป็นประจำ จึงมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น



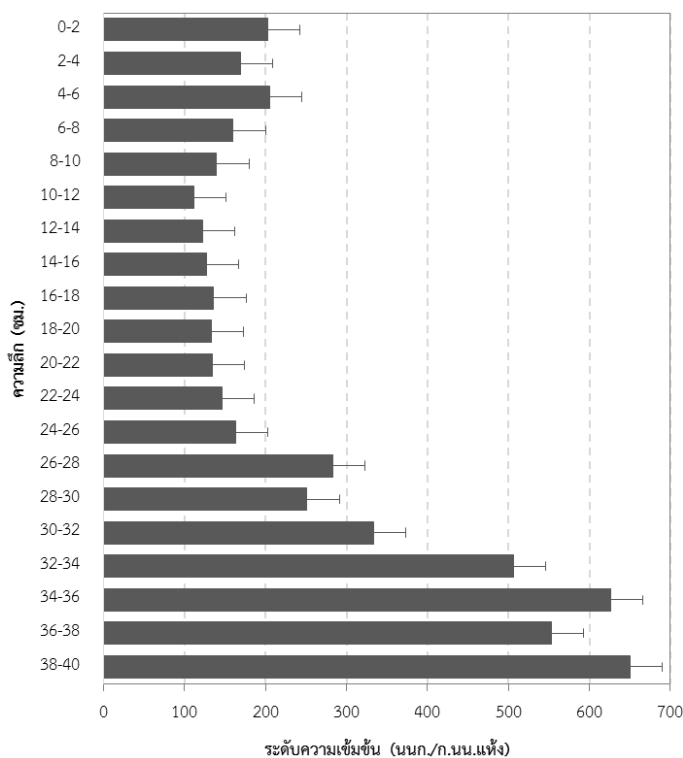
รูปที่ 3-11 เปอร์เซนต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  แต่ละชนิด  
ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2

3) ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3

ผลการศึกษาข้อมูลของสถานี HK3 ตะกอนดินมีระดับความลึกประมาณ 40 ซม. พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 110.98-650.08 นนก./ก.นน.แห้ง และมีความเฉลี่ยเท่ากับ  $257.57 \pm 192.37$  นนก./ก.นน.แห้งแสดงดังตารางที่ 3-7 โดยพบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs สูงสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 38-40 ซม. และมีค่าต่ำสุดในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 10-12 ซม. โดยปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในสถานีนี้มีแนวโน้มลดลงจากอดีตแสดงดังรูปที่ 3-12

ตารางที่ 3-7 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี สถานี HK3 (มีหน่วยเป็น นนก./ก.นน.แห้ง)

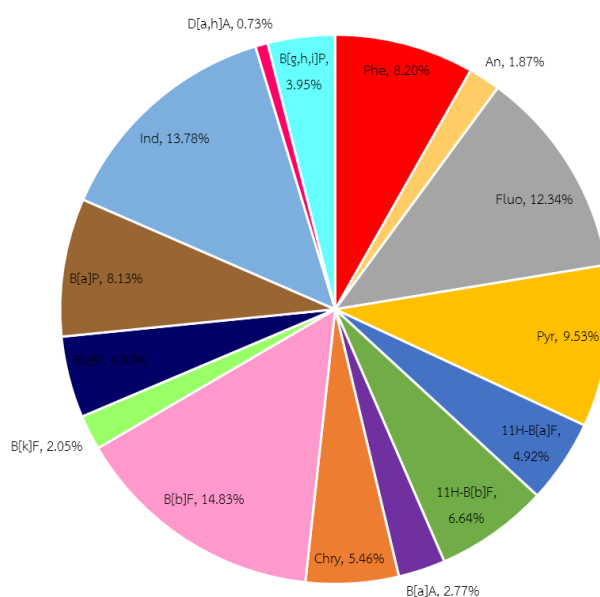
สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$	สถานี	ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	$\Sigma\text{PAHs}$
HK301	0-2	1.60-27.09	13.52	202.73	HK312	22-24	1.47-25.28	9.73	146.01
HK302	2-4	1.61-26.13	11.27	169.04	HK313	24-26	1.81-29.55	10.88	163.24
HK303	4-6	1.50-37.00	13.65	204.70	HK314	26-28	1.12-51.73	18.85	282.75
HK304	6-8	1.42-27.89	10.67	160.05	HK315	28-30	1.72-51.00	16.75	251.20
HK305	8-10	1.91-24.03	9.31	139.72	HK316	30-32	1.75-55.25	22.21	333.10
HK306	10-12	1.18-19.00	7.40	<b>110.98</b>	HK317	32-34	1.66-82.78	33.75	506.28
HK307	12-14	1.29-19.30	8.14	122.09	HK318	34-36	2.50-113.42	41.76	626.36
HK308	14-16	1.78-20.58	8.47	127.04	HK319	36-38	2.86-127.85	36.87	552.99
HK309	16-18	1.36-22.04	9.06	135.85	HK320	38-40	2.59-147.86	43.34	<b>650.08</b>
HK310	18-20	1.30-21.30	8.86	132.86	<b>Average</b>		<b>1.89-38.20</b>	<b>17.17</b>	<b>257.57</b>
HK311	20-22	2.05-23.86	8.96	134.38					



รูปที่ 3-12 ปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแต่ละชั้นตะกอนดิน  
ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3

เมื่อพิจารณาถึงกลุ่มสาร PAHs ที่พบในสถานีนี้ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ B[b]F, Ind และ Fluo คิดเป็น 14.83, 13.78 และ 12.34% ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-13 โดยกลุ่มสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยวงแหวนเบนซิน 4-6 วง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จากการเผาไหม้ชีวมวลและการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน (Wang et al., 1995; Zeng and Vista, 1997; Page et al., 1999; Yunker et al., 2002) โดยเฉพาะสาร Fluo ที่พบในสถานีนี้ปริมาณสูงกว่าสถานีอื่นๆ จะชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากการกระบวนการเผาไหม้และการใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะ (Abdel-shafy et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพื้นที่โดยรอบเป็นแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้มีการปล่อยน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรม การเผาพื้นที่ทางการเกษตร อีกทั้งบริเวณพื้นที่ในอดีตเคยเป็นพื้นที่ป่า (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2557) อาจทำให้มีการเผาพื้นที่ป่าเหล่านั้น เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งเกษตรกรรม ผนวกกับหลักฐานทางธรณีเคมีของ

อินทรีย์วัตถุจากอดีตส่วนใหญ่จะพบเศษถ่านไม้ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถสันนิษฐานเพิ่มเติมได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้น่าจะเคยเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ป่าอย่างบ่อยครั้งเช่นเดียวกับพื้นที่บริเวณสถานี HK1 (Kealhofer and Penny, 1998) ประกอบกับกิจกรรมการท่องเที่ยวชมดอกบัวแดง การทำประมงขนาดเล็ก และเป็นบริเวณจุดเรือของประชาชน ทำให้มีการสัญจรด้วยเรือเป็นจำนวนมาก จึงมีโอกาสดูดซับสาร PAHs จากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3-13 เปรอ์เซ็นต์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  แต่ละชนิด ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3

ดังนั้นจากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 3 สถานี จะเห็นว่าระดับค่าความเข้มข้นมีแนวโน้มปริมาณลดลงจากเดิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเพ็ญตา สาทรรักษ์ และคณะ (2547) และ Kealhofer and Penny (1998) พบว่าตามประวัติศาสตร์และหลักฐานทางโบราณคดีบริเวณหนองหานกุมภวาปีเดิมเคยเป็นพื้นที่ราบลุ่ม เหมาะแก่การเพาะปลูกข้าว เป็นพื้นที่ป่าไม้และเป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชนโบราณขนาดใหญ่ หลังจากนั้นได้เกิดการยุบตัวหรือการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากการละลายของชั้นเกลือหินใต้ผิวดิน จึงทำให้บริเวณนี้เกิดเป็นทะเลสาบขึ้น หลังจากบริเวณพื้นที่เกิดเป็นทะเลสาบแล้วก็ได้ไม่มีกิจกรรมใดๆ ที่จะส่งผลต่อปริมาณสาร PAHs มีแค่กิจกรรมการท่องเที่ยว การประมงขนาดเล็ก และกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยรอบทะเลสาบ

เปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มข้นของสาร PAHs ที่พบส่วนใหญ่ในทะเลสาบจะมีลักษณะเด่นของกลุ่มสารที่พบมีความคล้ายคลึงกัน ได้แก่ B[b]F, Chry, B[a]P, Ind และ Fluo จะสามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ และการใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในยานพาหนะโดยเฉพาะเรือ (Duval and Friedlander, 1981; Khalili et al., 1995; Caricchia et al., 1999; Manoli et al., 2004; Abdel-shafy et al., 2016) สอดคล้องกับลักษณะกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และการใช้ประโยชน์ในบริเวณพื้นที่เช่นเดียวกับทะเลน้อย

จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแท่งตะกอนดินทะเลน้อยและทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีกับผลการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ โดยสามารถแบ่งค่าระดับมลพิษออกเป็น ระดับมลพิษต่ำอยู่ในช่วง 0-100 นก./ก.น.น.แห่ง, ระดับมลพิษปานกลางอยู่ในช่วง 101-1,000 นก./ก.น.น.แห่ง, ระดับมลพิษสูงอยู่ในช่วง 1,001-5,000 นก./ก.น.น.แห่ง และระดับมลพิษสูงมากมีค่า >5,001 นก./ก.น.น.แห่ง (Baumard et al., 1998) พบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  ในแท่งตะกอนดินทะเลน้อยมีค่าอยู่ในระดับต่ำ-สูง และทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง-สูง โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบปริมาณความเข้มข้นสูงมีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์โดยรอบพื้นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่ศึกษากับบริเวณพื้นที่ทะเลสาบอื่นๆ พบว่าทะเลสาบหงส์เฟิง ประเทศจีน ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่ระดับความลึก 20 ซม. ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นรวม  $\Sigma\text{PAHs}$  อยู่ในช่วง 2,936–5,282 นก./ก.น.น.แห่ง ซึ่งมีระดับมลพิษอยู่ในช่วงสูง-สูงมาก โดยแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ถ่านหิน ชีวมวลและเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ เป็นต้น (Jian-Yang Guo et al., 2011) ทะเลสาบ Holzmaar ประเทศเยอรมนี ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่ระดับความลึก 400 ซม. ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}$  อยู่ในช่วง 62–8,000 นก./ก.น.น.แห่ง ซึ่งมีระดับมลพิษอยู่ในช่วงต่ำ-สูงมาก โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลและไฟฟ้า (Benjamin A. et al., 2014) และทะเลสาบ Sayram ประเทศจีน ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินที่ระดับความลึก 34 ซม. จำนวน 2 แท่ง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}$  ที่อยู่ในช่วง 129-642 นก./ก.น.น.แห่ง ซึ่งมีระดับมลพิษปานกลาง โดยแหล่งกำเนิดหลักมาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น การขนส่ง ไอเสียรถยนต์และโรงไฟฟ้าถ่านหิน เป็นต้น (Beibei Shen et al., 2018) นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs กับพื้นที่อื่นๆ ดังแสดงตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma$ PAHs<sub>15</sub> ในตะกอนดินกับการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ ทั่วโลก

พื้นที่ศึกษา	ค่าความเข้มข้นรวมของ $\Sigma$ PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง)	ระดับมลพิษ*	รายการอ้างอิง
ทะเลน้อย			
สถานี SL1	169-1,217	ปานกลาง-สูง	พื้นที่ศึกษา
สถานี SL2	20-169	ต่ำ-ปานกลาง	
สถานี SL3	19-167	ต่ำ-ปานกลาง	
ทะเลสาบหอนานกุ่มกวาปี			
สถานี HK1	242-1,111	ปานกลาง-สูง	พื้นที่ศึกษา
สถานี HK2	170-394	ปานกลาง	
สถานี HK3	110-650	ปานกลาง	
Coastal British Columbia, Canada	3.7-19,400	ต่ำ-สูงมาก	Harris et al., 2011
Lenga Estuary, Central Chile	290-6,111	ปานกลาง-สูงมาก	Pozo et al., 2011
Anzali Wetland, Iran	212-2,674	ปานกลาง-สูง	Azimi et al., 2014
Shilianghe Reservoir, Eastern China	17.37-839.55	ต่ำ-ปานกลาง	Zhang et al., 2014
Jinhae Bay, Korea	12.4-2,430	ต่ำ-สูง	Yim et al., 2014
Djibouti City, The Horn of African	2.65-3,760.11	ต่ำ-สูง	Mahdi et al., 2017
Liaohe River Delta wetland, Northeast China	46-1,167	ต่ำ-สูง	Ma et al., 2017
Yangzonghai Lake, China	200.7-1,913.7	ปานกลาง-สูง	Yuan et al., 2017
Shadegan International Wetland, The Persian Gulf	593.74-53,393.89	ปานกลาง-สูงมาก	Bemanikharanagha et al., 2017

หมายเหตุ : \* ระดับมลพิษ แบ่งออกเป็น ต่ำ: 0-100 นกก./ก.นน.แห้ง, ปานกลาง: 101-1,000 นกก./ก.นน.แห้ง, สูง: 1,001-5,000 นกก./ก.นน.แห้ง และสูงมาก: >5,001 นกก./ก.นน.แห้ง (Baumard et al., 1998)

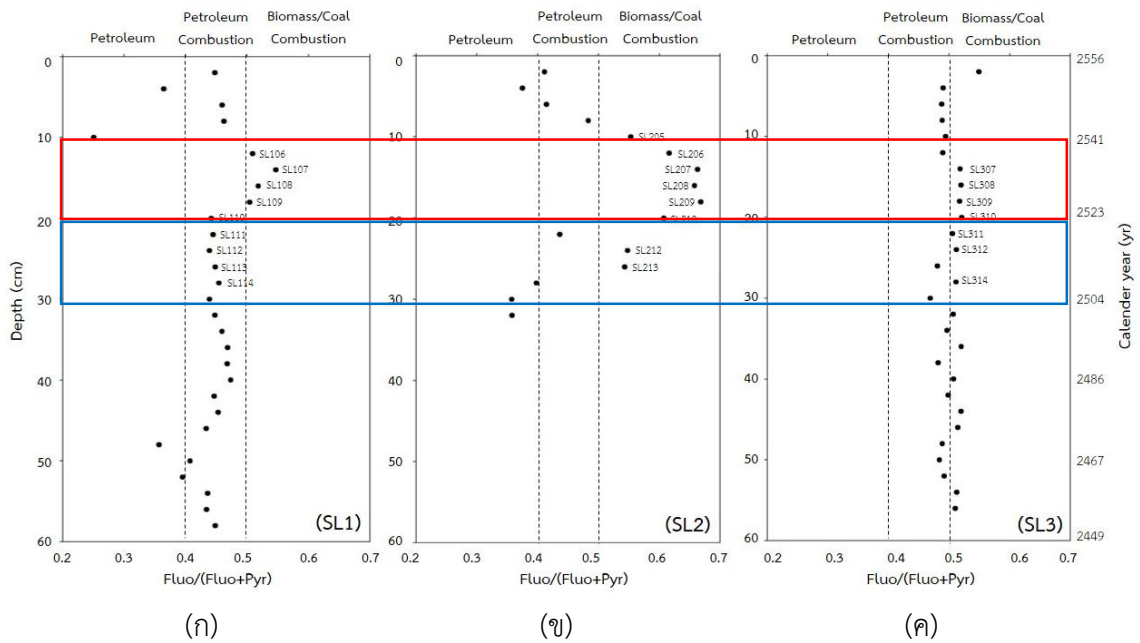
### 3.3 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา

#### 3.3.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลน้อย

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Fluo/(Fluo+Pyr) ในตะกอนดินมีอัตราส่วนของสถานี SL1, SL2, SL3 อยู่ในช่วง 0.25-0.55, 0.36-0.67, 0.47-0.55 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-14 พบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากเชื้อเพลิงยานพาหนะและการเผาไหม้ของชีวมวล (Yanker et al., 2003; Manoli et al., 2004) อย่างไรก็ตามในช่วงระดับความลึกประมาณ 10-20 ซม. (ปีพ.ศ.2522-2541) แสดงให้เห็นสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล คาดว่าหลังจากทะเลน้อยถูกประกาศให้เป็นเขตห้ามล่าพันธุ์สัตว์ป่าทะเลน้อยขึ้นในช่วงปีพ.ศ. 2518 แล้วทะเลน้อยได้เริ่มมีการส่งเสริมการท่องเที่ยวบริเวณพื้นที่ขึ้น ทำให้มีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยจากกิจกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยวและการพัฒนาของชุมชนส่งผลต่อปริมาณสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรนุช ดีละมัน (2553) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการใช้เชื้อเพลิงของเรือที่สัญจรเข้าออกระหว่างทะเลสาบสงขลา กับพื้นที่อ่าวไทย และรองลงมาคือปิโตรเลียมจากการรั่วไหลของน้ำมันเรือและการปล่อยทิ้งคราบน้ำมันเรือ เป็นต้น Pongpiachan et al. (2013) ทำการวิเคราะห์สาร PAHs ในฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการจราจรและการเผาไหม้ต่างๆ

ส่วนที่ระดับความลึกประมาณ 20-30 ซม. (ปีพ.ศ.2504-2522) พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยงานวิจัยของ Pongpiachan et al. (2018) ได้ศึกษาการวิเคราะห์อัตราส่วน OC/EC บริเวณทะเลน้อย พบว่าที่ระดับความลึก 24 และ 34 ซม. มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวลและภูเขาไฟระเบิด ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แห่งตะกอนดิน โดยในช่วงเวลานั้นของประเทศไทยพบว่าประสบกับปรากฏการณ์เอลนีโญขึ้นจำนวน 6 ครั้ง (ปีพ.ศ.2506-2507, 2508-2509, 2512-2513, 2515-2516, 2519-2520 และ 2520-2521) ซึ่งความถี่ของปรากฏการณ์เกิดขึ้นแทบทุกปี จึงส่งผลให้ประเทศไทยเกิดภาวะภัยแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ (วันเพ็ญ วิโรจนัญ และศิษยา บุญมานุช, 2541) และจากภาวะแห้งแล้งนี้ทำให้ในปีพ.ศ.2508 บริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยเกิดไฟไหม้ป่าครั้งใหญ่ขึ้น (เขตห้ามล่าพันธุ์สัตว์ป่าทะเลน้อย, 2552)

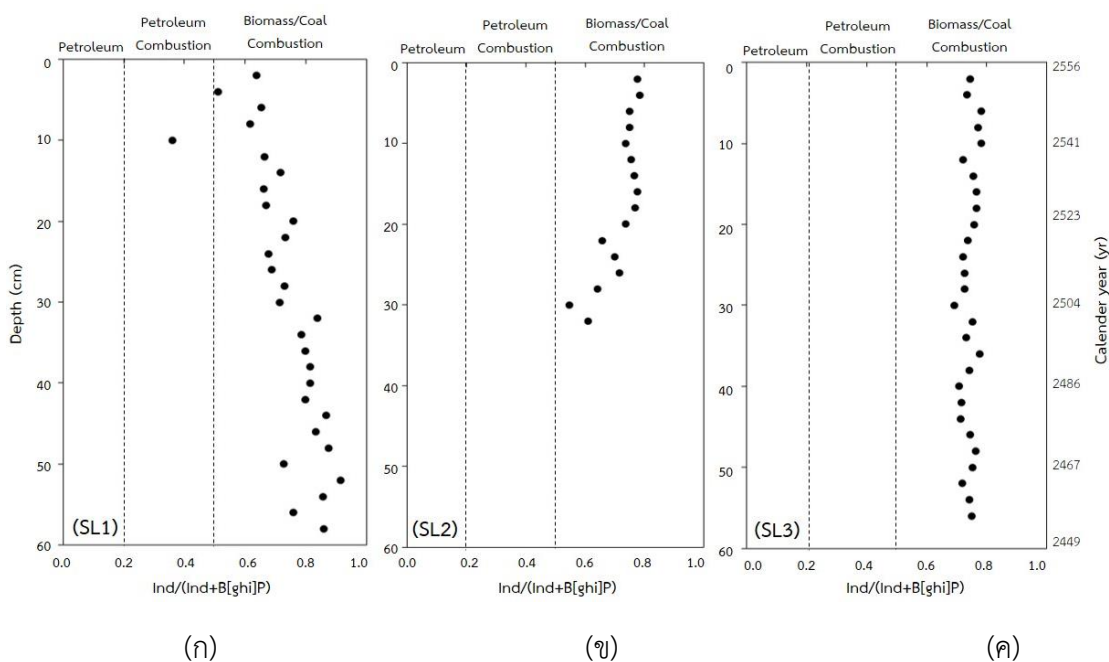




รูปที่ 3-14 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  ในตะกอนดินทะเลน้อยของ

(ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3

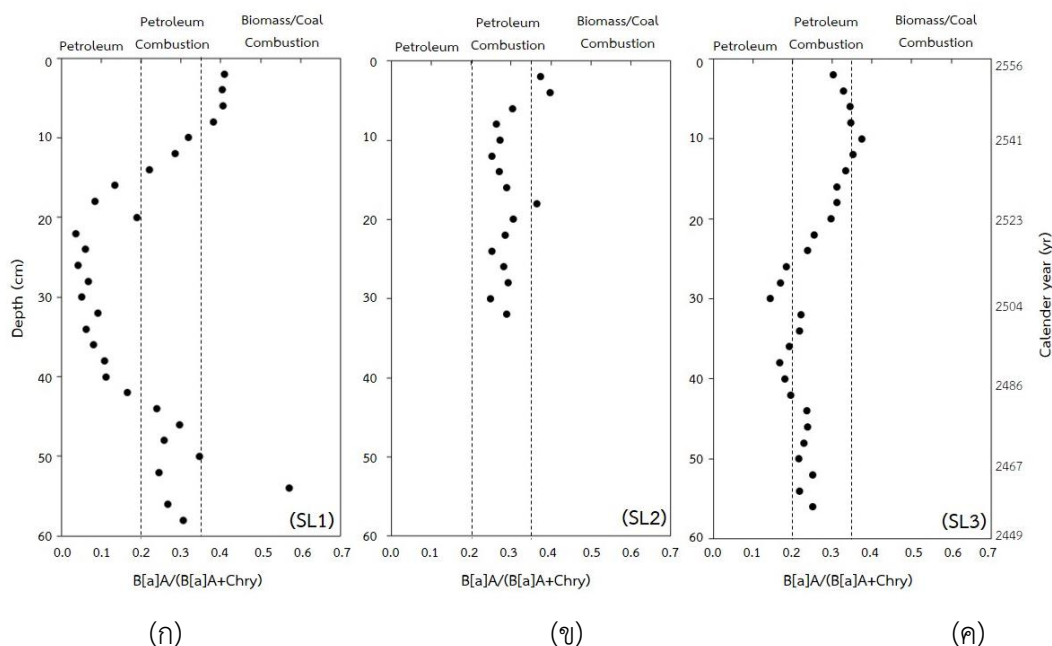
อัตราส่วนของ  $Ind/(Ind+B[ghi]P)$  ของสถานี SL1, SL2, SL3 อยู่ในช่วง 0.36-0.92, 0.55-0.78, 0.69-0.78 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-15 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล (Kavouras et al., 1999; Yanker et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3-14 ยกเว้นสถานี SL1 ที่ระดับความลึก 8-10 ซม. (ปีพ.ศ.2541) มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม คาดว่าได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลของน้ำมัน การปล่อยน้ำทิ้งที่มีคราบน้ำมัน และการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องจากเรือ เป็นต้น



รูปที่ 3-15 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B[ghi]P})$  ในตะกอนดินทะเลน้ยของ

(ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3

อัตราส่วนของ  $\text{B[a]A}/(\text{B[a]A}+\text{Chry})$  ของสถานี SL1, SL2, SL3 อยู่ในช่วง 0.04-0.57, 0.25-0.37, 0.14-0.37 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-16 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม นอกจากนี้ยังสามารถใช้แยกแหล่งกำเนิดจากการสันดาปของน้ำมันได้ โดยหากมีค่าประมาณ 0.49 มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมันดีเซลและมีค่าประมาณ 0.73 แหล่งกำเนิดมาจากน้ำมันเบนซิน (Guo et al., 2003) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าแหล่งกำเนิดสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซล คาดว่าน่าจะมาจากการสัญจรไปมาของยานพาหนะในบริเวณพื้นที่ทะเลน้ย

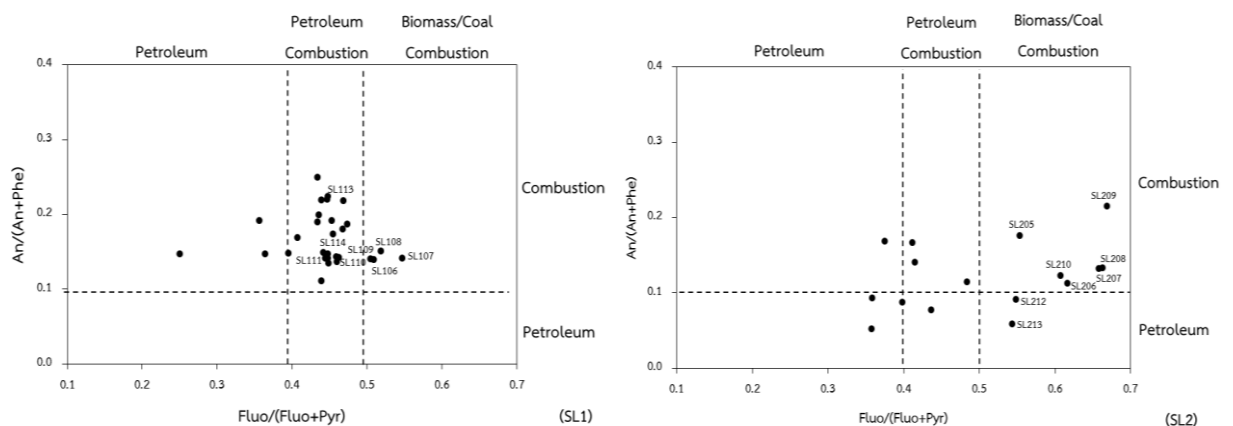


รูปที่ 3-16 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ B[a]A/(B[a]A+Chry) ในตะกอนดินทะเลน้ยของ

(ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3

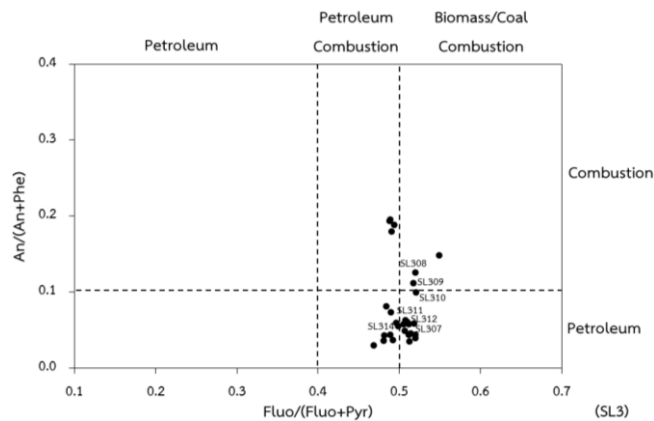
จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) มีอัตราส่วนของสถานี SL1, SL2, SL3 อยู่ในช่วง 0.11-0.25, 0.05-0.21, 0.03-0.20 และ 0.25-0.55, 0.36-0.67, 0.47-0.55 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแสดงดังรูปที่ 3-17 และผลการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง B[a]A/(B[a]A+Chry) กับ Ind/(Ind+B[ghi]P) ของสถานี SL1, SL2, SL3 อยู่ในช่วง 0.04-0.57, 0.25-0.40, 0.14-0.37 และ 0.36-0.92, 0.55-0.78, 0.69-0.78 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแสดงดังรูปที่ 3-18 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3-14 และรูปที่ 3-15 เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งชุมชน แหล่งเกษตรกรรม พื้นที่ราบและพื้นที่ป่าพรุ ไม่ได้เป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรมแต่อย่างใด

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่มาจากการคมนาคมทั้งทางบกและทางน้ำ การท่องเที่ยวชม ดอกบัวแดง การทำประมงขนาดเล็ก การเผาในที่โล่ง เพื่อเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรกรรม น้ำทิ้งจาก แหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมและการชะล้างสาร PAHs ที่ปนเปื้อนอยู่จากพื้นดินลงสู่ทะเลสาบ รองลงมาคือ ปิโตรเลียม มาจากการรั่วไหลของน้ำมันจากเรือ และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วหรือ การรั่วไหลของน้ำมันเครื่อง



(ก)

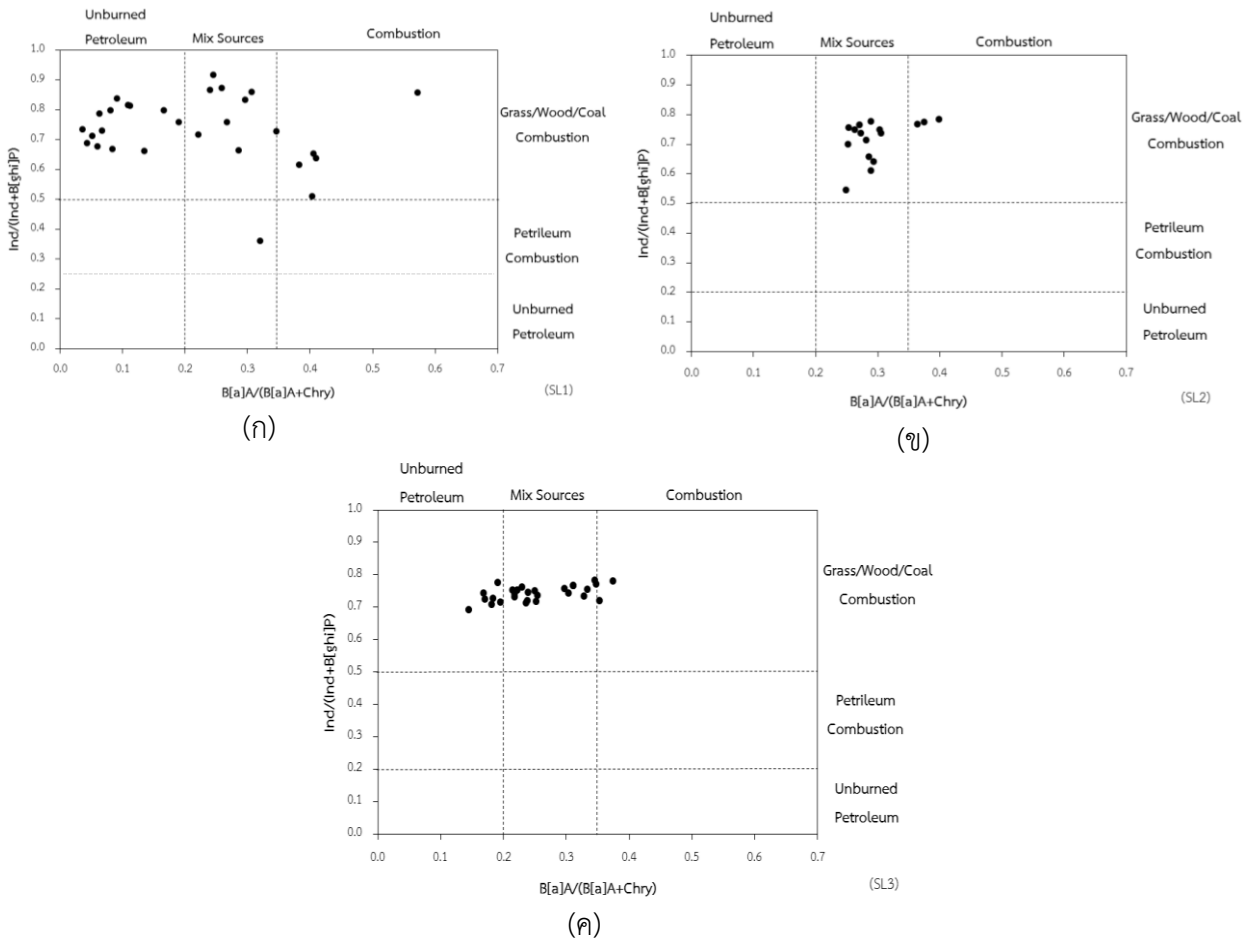
(ข)



(ค)

รูปที่ 3-17 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pyr)

ในตะกอนดินทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3



รูปที่ 3-18 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง  $B[a]A/(B[a]A+Chry)$  กับ

$Ind/(Ind+B[ghi]P)$  ในตะกอนดินทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2

และ (ค) สถานี SL3

สำหรับการวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากทะเลน้อย พบสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 20-30 ซม. (ปีพ.ศ.2504-2522) พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยในช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยประสบกับปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นประจำแทบทุกปี (วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ และศิษยา บุญมานุช, 2541) ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดภาวะภัยแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ และจากภาวะแห้งแล้งนี้จึงส่งผลให้ในปีพ.ศ.2508 บริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยเกิดไฟไหม้ป่าครั้งใหญ่ขึ้น (เขตห้ามล่าพันธุ์สัตว์ป่าทะเลน้อย, 2552)

ตารางที่ 3-9 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL1  
(ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/Pry	แหล่งกำเนิด หลัก
SL101	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL102	O	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL103	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL104	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL105	O	Mix	Mix	X	X	Mix	O	Mix
SL106	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
SL107	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
SL108	X	X	O	X	X	O	X	Pyro
SL109	X	X	O	X	X	O	X	Pyro
SL110	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL111	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL112	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL113	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL114	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL115	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL116	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL117	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL118	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL119	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL120	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL121	Mix	X	O	X	X	O	O	Pyro
SL122	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
SL123	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
SL124	O	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
SL125	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL126	O	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
SL127	Mix	X	X	X	X	X	O	Pyro
SL128	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
SL129	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources

ตารางที่ 3-10 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยของสถานี SL2  
(ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry	แหล่งกำเนิด หลัก
SL201	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL202	O	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL203	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
SL204	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
SL205	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
SL206	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
SL207	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
SL208	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL209	X	X	X	X	X	Mix	X	Pyro
SL210	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL211	Mix	X	Mix	O	Mix	Mix	O	Mix
SL212	X	X	Mix	O	X	O	X	Pyro
SL213	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL214	O	X	Mix	O	Mix	Mix	O	Mix
SL215	O	X	Mix	O	O	O	O	Petro
SL216	O	X	Mix	O	X	Mix	O	Petro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources

ตารางที่ 3-11 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้ยของสถานี

SL3 (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

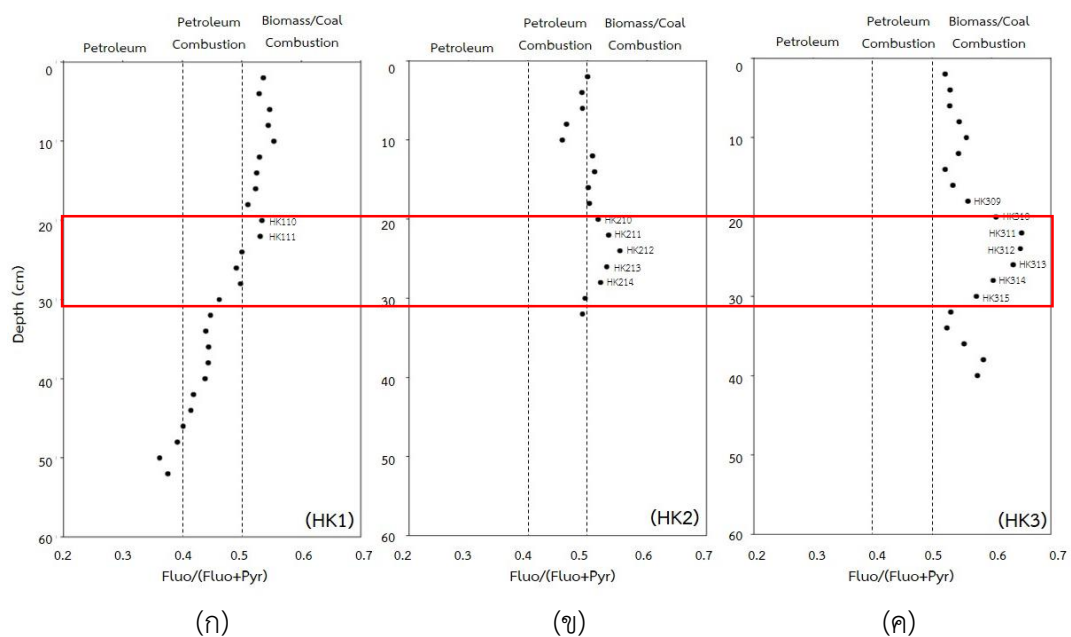
อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry	แหล่งกำเนิด หลัก
SL301	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL302	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
SL303	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
SL304	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
SL305	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
SL306	Mix	X	Mix	O	Mix	Mix	O	Mix
SL307	X	X	Mix	O	O	Mix	X	Pyro
SL308	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL309	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL310	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
SL311	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL312	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL313	Mix	X	O	O	O	O	O	Petro
SL314	X	X	O	O	O	O	X	Petro
SL315	Mix	X	O	O	O	O	O	Petro
SL316	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL317	Mix	X	Mix	O	O	O	O	Petro
SL318	X	X	O	O	O	O	X	Petro
SL319	Mix	X	O	O	O	O	O	Petro
SL320	X	X	O	O	Mix	O	X	Pyro
SL321	Mix	X	O	O	O	O	O	Petro
SL322	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL323	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL324	Mix	X	Mix	O	O	O	O	Petro
SL325	Mix	X	Mix	O	Mix	O	O	Petro
SL326	Mix	X	Mix	O	O	O	O	Petro
SL327	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
SL328	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources



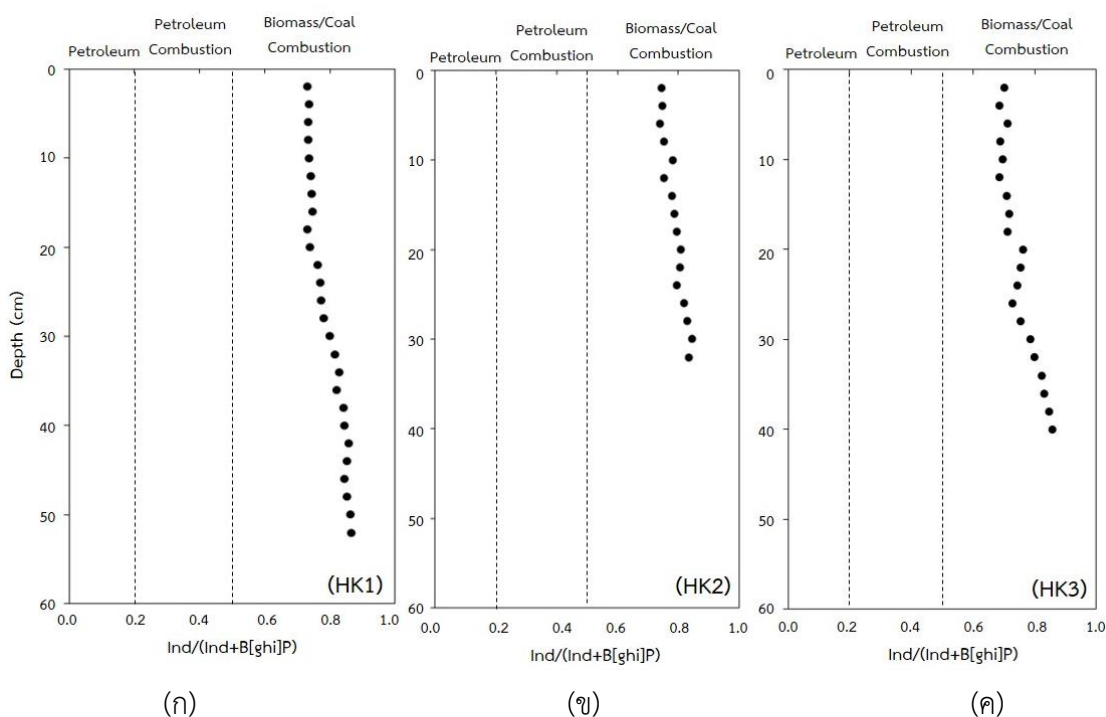
### 3.3.2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Fluo/(Fluo+Pyr) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีอัตราส่วนของสถานี HK1, HK2, HK3 อยู่ในช่วง 0.36-0.55, 0.46-0.55, 0.52-0.65 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-19 ซึ่งแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากเชื้อเพลิงยานพาหนะและการเผาไหม้ของชีวมวล (Yunker et al., 2003; Manoli et al., 2004) อย่างไรก็ตามในช่วงระดับความลึกประมาณ 20-30 ซม. แสดงให้เห็นสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kealhofer & Penny (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านพันธุ์พืชจากแกนตะกอนดินบริเวณพื้นที่ทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี โดยพบพืชวงศ์หญ้าที่มักแพร่พันธุ์อยู่ใกล้แหล่งน้ำจำนวนมาก ซึ่งจะบ่งชี้ให้เห็นว่ามีน้ำขังอยู่ในทะเลสาบตั้งแต่อ่อน 11,000 ปีก่อน ช่วงปัจจุบัน และพบลักษณะพืชยืนต้นที่เป็นส่วนประกอบของป่าโปร่งแห้งแล้งจนถึง ป่าดิบแล้งหรือป่าผลัดใบ (Dry/Mixed Deciduous Forest) ซึ่งอาจจะชี้ถึงสภาพภูมิอากาศที่มีปริมาณน้ำฝนลดลง ประกอบกับพบเศษถ่านจากการเผาไหม้ปริมาณมากเมื่อประมาณ 9,000 ปีก่อนช่วงปัจจุบัน ซึ่งเป็นหลักฐานที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศแบบแห้งแล้งที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้เคยเกิดไฟไหม้ป่าขึ้นอย่างบ่อยครั้ง



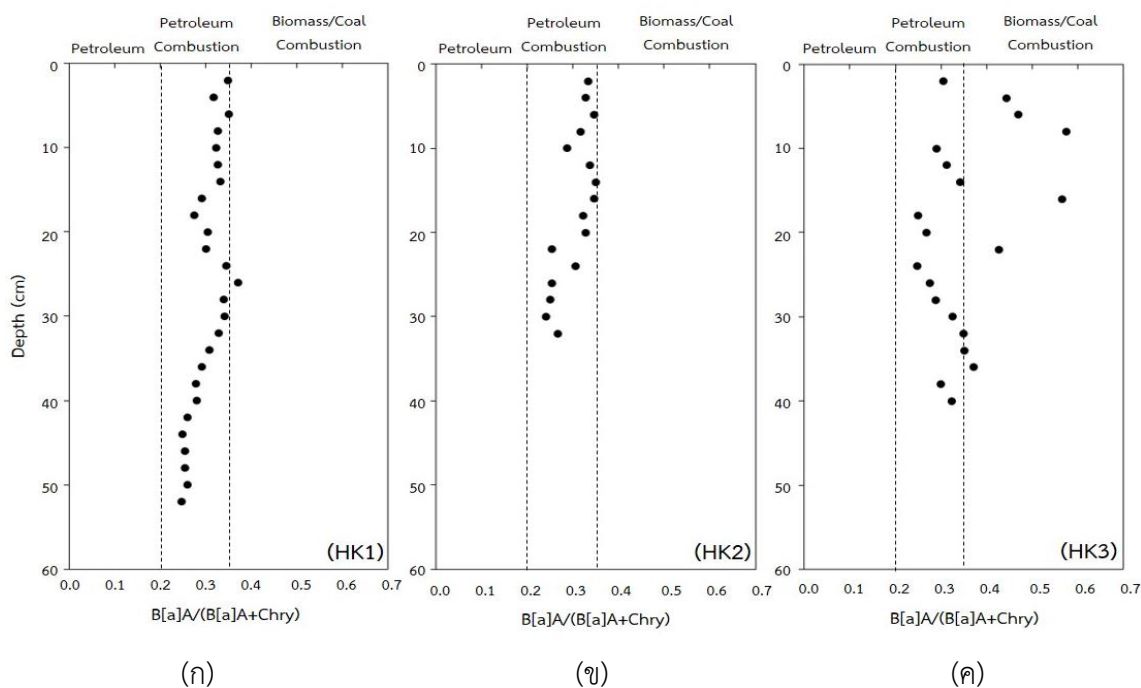
รูปที่ 3-19 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Fluo/(Fluo+Pyr) ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3

อัตราส่วนของ  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B[ghi]P})$  ของสถานี HK1, HK2, HK3 อยู่ในช่วง 0.73-0.86, 0.74-0.84, 0.69-0.86 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-20 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ชีวมวล (Kavouras et al., 1999; Yanker et al., 2003) ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3-19 คาดว่าตะกอนดินอาจได้รับผลกระทบจากไฟไหม้ป่าและการเผาพื้นที่ทางการเกษตร



รูปที่ 3-20 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ  $\text{Ind}/(\text{Ind}+\text{B[ghi]P})$  ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหาน  
กุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3

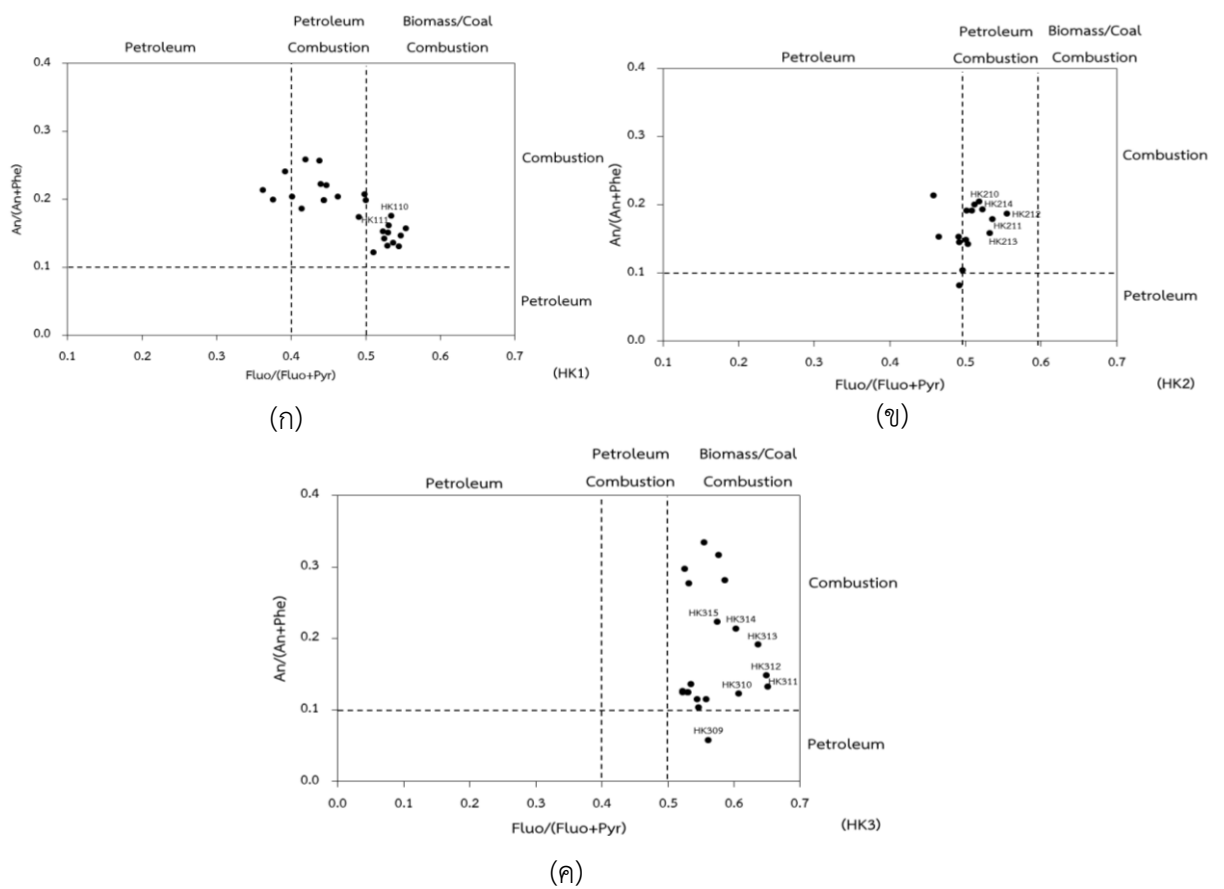
อัตราส่วนของ  $\text{B[a]A}/(\text{B[a]A}+\text{Chry})$  ของสถานี HK1, HK2, HK3 อยู่ในช่วง 0.25-0.37, 0.24-0.35, 0.25-0.58 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-21 แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและชีวมวล ซึ่งผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการสันดาปของน้ำมัน พบว่าแหล่งกำเนิดสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการสันดาปของน้ำมันดีเซล คาดว่าน่าจะมาจากการสัญจรไปมาของยานพาหนะในบริเวณพื้นที่ทะเลสาบ (Guo et al., 2003)



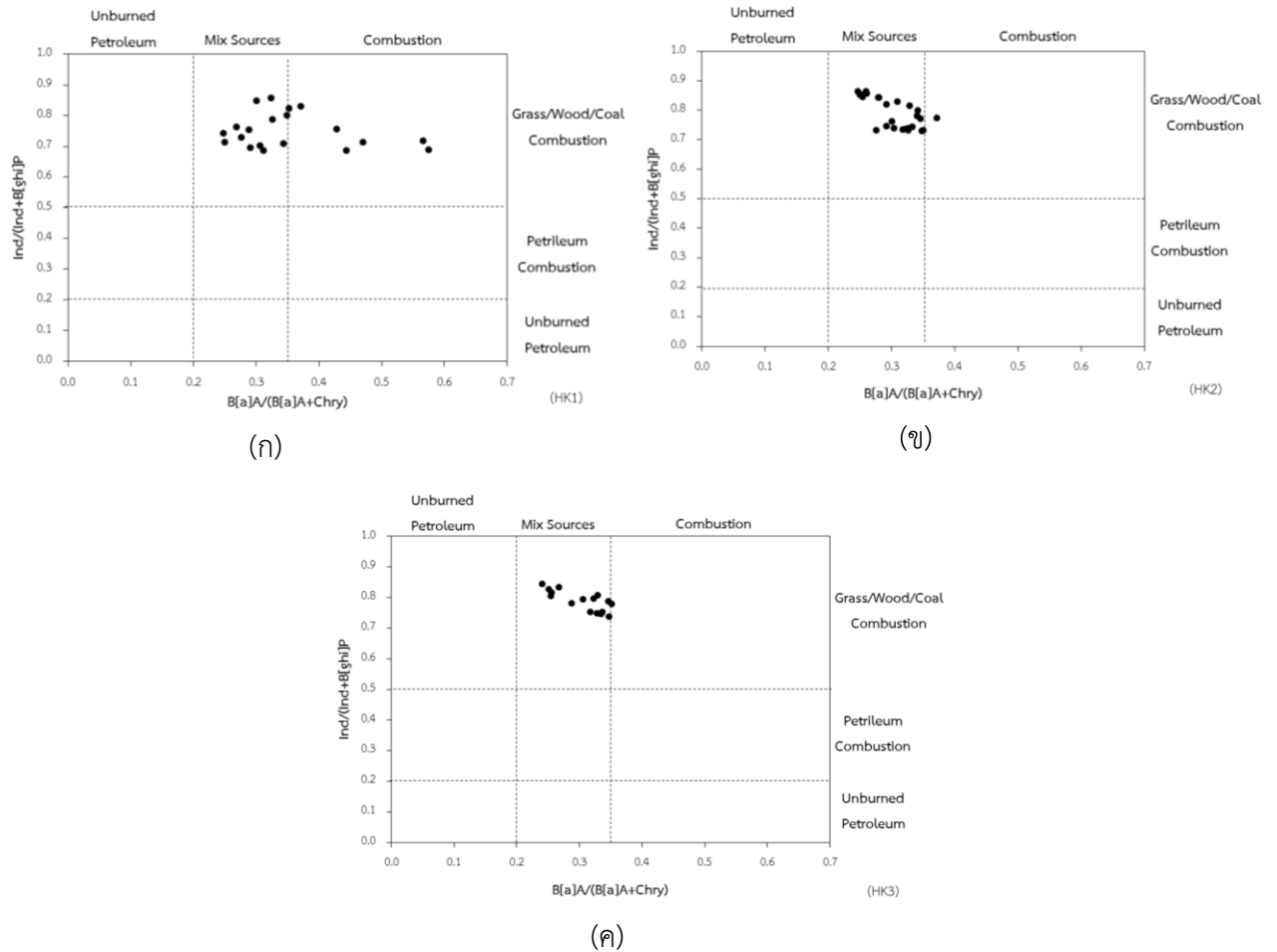
รูปที่ 3-21 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ  $B[a]A/(B[a]A+Chry)$  ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหาน  
 กุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3

จากการวิเคราะห์อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง  $An/(An+Phe)$  กับ  $Fluo/(Fluo+Pyr)$  มีอัตราส่วนของสถานี HK1, HK2, HK3 อยู่ในช่วง 0.12-0.26, 0.08-0.21, 0.06-0.33 และ 0.36-0.55, 0.46-0.55, 0.52-0.65 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-22 แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3-19 ถึงรูปที่ 3-21 และผลวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่าง  $B[a]A/(B[a]A+Chry)$  กับ  $Ind/(Ind+B[ghi]P)$  ของสถานี HK1, HK2, HK3 อยู่ในช่วง 0.25-0.58, 0.25-0.37, 0.24-0.35 และ 0.69-0.86, 0.73-0.86, 0.74-0.84 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3-23 สามารถบ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งชุมชน แหล่งเกษตรกรรม พื้นที่ราบและพื้นที่ป่าพรุ ไม่ได้เป็นพื้นที่ในเชิงอุตสาหกรรมแต่อย่างใด

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่มาจากการคมนาคมทั้งทางบกและทางน้ำ การท่องเที่ยวชมดอกบัวแดง การทำประมงขนาดเล็ก การเผาในที่โล่ง เพื่อเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรกรรม น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมและการชะล้างสาร PAHs ที่ปนเปื้อนอยู่จากพื้นดินลงสู่ทะเลสาบ รองลงมาคือ ปิโตรเลียม มาจากการรั่วไหลของน้ำมันจากเรือ และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วหรือการรั่วไหลของน้ำมันเครื่อง



รูปที่ 3-22 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่าง An/(An+Phe) กับ Fluo/(Fluo+Pyr) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี HK1 (ข) สถานี HK2 และ (ค) สถานี HK3



รูปที่ 3-23 อัตราส่วนความสัมพันธ์ของสาร PAHs ระหว่าง  $B[a]A/(B[a]A+Chry)$  กับ  $Ind/(Ind+B[ghi]P)$  ในดินตะกอนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ก) สถานี SL1 (ข) สถานี SL2 และ (ค) สถานี SL3

สำหรับการวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี พบสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 20-30 ซม. พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kealhofer & Penny (1998) พบว่าทะเลสาบมีน้ำซึ่งอยู่ตลอดในระหว่าง 11,000-8,000 ปีก่อนช่วงปัจจุบัน เช่นเดียวกับหลักฐานจากการแปลความหมายจากตัวบ่งชี้ทางธรณีเคมีของอินทรีย์วัตถุจำพวกเศษไม้ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมากสอดคล้องกับสภาพอากาศแบบแห้งแห้ง จึงทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้เคยเกิดเหตุไฟไหม้ขึ้นอย่างบ่อยครั้งในช่วงสมัยโฮโลซีนตอนต้น (The Early Holocene ระหว่าง 11,700-8,000 ปีก่อนช่วงปัจจุบัน)

ตารางที่ 3-12 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหาน  
 กุมภวาปีของสถานี HK1 (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry	แหล่งกำเนิด หลัก
HK101	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK102	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK103	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK104	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK105	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK106	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK107	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK108	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK109	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK110	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK111	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK112	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK113	Mix	X	X	X	X	Mix	O	Pyro
HK114	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK115	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK116	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK117	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK118	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK119	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK120	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK121	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK122	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK123	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK124	O	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK125	O	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK126	O	X	Mix	X	X	O	O	Pyro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources

ตารางที่ 3-13 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหาน  
กุ่มภวาปีของสถานี HK2 (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry	แหล่งกำเนิด หลัก
HK201	Mix	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK202	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK203	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK204	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK205	Mix	X	Mix	X	X	Mix	O	Pyro
HK206	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK207	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK208	Mix	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK209	Mix	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK210	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK211	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK212	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK213	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK214	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK215	Mix	X	Mix	X	X	O	O	Pyro
HK216	Mix	X	Mix	O	mix	O	O	Petro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources

ตารางที่ 3-14 อัตราส่วนที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบหนองหาน  
 กุมภวาปีของสถานี HK3 (ค่าอัตราส่วนละเอียดดูในภาคผนวก ข)

อัตราส่วน	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry	แหล่งกำเนิด หลัก
HK301	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK302	X	X	X	X	X	Mix	X	Pyro
HK303	X	X	X	X	X	Mix	X	Pyro
HK304	X	X	X	X	X	X	X	Pyro
HK305	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK306	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK307	X	X	Mix	X	X	Mix	X	Pyro
HK308	X	X	X	X	X	X	X	Pyro
HK309	X	X	Mix	O	O	O	X	Pyro
HK310	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK311	X	X	X	X	X	Mix	X	Pyro
HK312	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK313	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK314	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK315	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK316	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK317	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK318	X	X	X	X	X	O	X	Pyro
HK319	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro
HK320	X	X	Mix	X	X	O	X	Pyro

หมายเหตุ : X = Pyrogenic Sources, O = Petrogenic Sources, Mix = Mix Sources



## บทที่ 4

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 4.1 สรุปผลงานวิจัย

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในแท่งตะกอนดินทะเลน้อย จ.พัทลุง พบว่าระดับมลพิษมีค่าอยู่ในระดับต่ำ-สูง โดยสถานี SL1 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 169-1,217 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $344\pm 296$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ B[a]P, Chry, Pyr, Fluo และ Ind สถานี SL2 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 20-169 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $85\pm 61$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ B[a]P, Ind, 11H-B[a]F, Pry และ Fluo และสถานี SL3 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 19-167 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $60\pm 51$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Ind, B[a]P, Phe, Fluo และ Pry

ส่วนผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นและชนิดของสาร PAHs ในแท่งตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี พบว่าระดับมลพิษมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง-สูง โดยสถานี HK1 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 242-1,111 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $443\pm 297$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ B[b]F, Ind, B[a]P, Pyr และ Fluo สถานี HK2 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 170-394 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $297\pm 94$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Ind, B[b]F, Fluo, Pyr และ B[a]P และสถานี HK3 มีปริมาณความเข้มข้นรวมของสาร  $\Sigma\text{PAHs}_{15}$  อยู่ในช่วง 110-650 นนก./ก.นน. แห่ง ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $257\pm 192$  นนก./ก.นน. แห่ง ชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุด คือ B[b]F, Ind, Fluo, Pry และ Phe

การพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของสาร PAHs จากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนชนิดต่างๆ ได้แก่ Fluo/(Fluo+Pyr), Ind/(Ind+B[ghi]P), B[a]A/(B[a]A+Chry), An/(An+Phe), Phe/An, B[a]A/Chry และ Fluo/Pry ในการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสาร PAHs ในพื้นที่ศึกษา พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในแท่งตะกอนดินมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งการคมนาคมทางบกและทางน้ำ การท่องเที่ยวชมดอกบัวแดง การทำประมงขนาดเล็ก การเผาในที่โล่ง เพื่อเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรกรรม น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมและการชะล้างสาร PAHs ที่ปนเปื้อนอยู่จากพื้นดินลงสู่ทะเลสาบ รองลงมาคือ ปิโตรเลียม มาจากการรั่วไหลของน้ำมันจากเรือและการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วหรือการรั่วไหลของน้ำมันเครื่อง

การวิเคราะห์หาคาบอุบัติซ้ำของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากทะเลน้อย พบสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 20-30 ซม. (ปีพ.ศ.2504-2522) พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยในช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยประสบกับปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นประจำแทบทุกปี (วันเพ็ญ วิโรจน์ภู และศิษยา บุญมานุช, 2541) ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดภาวะภัยแล้งที่ยาวนานกว่าปกติ และจากภาวะแห้งแล้งนี้จึงส่งผลให้ในปีพ.ศ.2508 บริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยเกิดไฟไหม้ป่าครั้งใหญ่ขึ้น (เขตห้ามล่าพันธุ์สัตว์ป่าทะเลน้อย, 2552)

ส่วนทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี พบสัญญาณบางอย่างจากความเข้มข้นของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติในชั้นตะกอนดินที่ระดับความลึก 20-30 ซม. พบว่าแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kealhofer & Penny (1998) พบหลักฐานทางธรณีเคมีของอินทรีย์วัตถุจากอดีตส่วนใหญ่จำพวกเศษถ่านไม้ที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก สอดคล้องกับสภาพอากาศแบบแห้งแห้ง จึงทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้เคยเกิดเหตุไฟไหม้ป่าขึ้นอย่างบ่อยครั้งในช่วงสมัยโฮโลซีนตอนต้น (11,700-8,000 ปีก่อนช่วงปัจจุบัน)

## 4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในดิน ดังนั้นควรที่จะศึกษาชนิดและจำนวนแบคทีเรีย รวมถึงพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขึ้นและลดลงของสาร PAHs ด้วย เนื่องจากอาจเป็นประโยชน์ในการอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

4.2.2 การศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดินอันเนื่องจากการตกตะกอนของอนุภาคที่อยู่ในน้ำนั้น เพื่อให้เห็นถึงการสะสมที่ชัดเจนยิ่งขึ้นควรทำการศึกษาสาร PAHs จากอนุภาคในน้ำร่วมด้วย เพื่อจะช่วยให้สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของการได้รับสาร PAHs และการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดินได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

4.2.3 จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของสาร PAHs ที่ใช้ในการบ่งชี้แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจมาจากอากาศหรืออาจเกิดจากการชะมาจากพื้นดิน ทำให้ไม่สามารถบ่งชี้ที่มาได้อย่างชัดเจน ดังนั้นควรศึกษาปริมาณสาร PAHs ในอนุภาคอากาศและอนุภาคดินบริเวณโดยรอบ จะช่วยให้สามารถอธิบายถึงแหล่งที่มาของสาร PAHs ได้ชัดเจนมากขึ้น

4.2.4 เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นโดยตรงกับมนุษย์ควรทำการวิเคราะห์การสะสมของสาร PAHs ในตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในบริเวณนั้นร่วมด้วย เช่น กุ้ง หอย และปลา เป็นต้น โดยทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับสาร PAHs ผ่านทางการกินอย่างต่อเนื่อง

4.2.5 ควรมีการศึกษาอายุตะกอนดินทะเลสาบร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2552. การปรับแต่งและดูแลรักษาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อลดมลพิษและประหยัดพลังงาน. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. การกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินในแหล่งน้ำผิวดิน. ส่วนปฏิบัติการฉุกลงและฟื้นฟู สำนักงานการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. พีเอเอช (โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน). กรุงเทพฯ: ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตรายและอนุสัญญา, กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. คู่มือการเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่งทะเล. ส่วนแหล่งน้ำทะเล สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2557. โครงการศึกษาสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในบรรยากาศอันเนื่องมาจากปัญหาหมอกควัน และผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน. กลุ่มอากาศ เสียงและความสัมพันธ์, ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. ภูมิอากาศจังหวัดอุดรธานี. ศูนย์ภูมิอากาศ สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา.
- กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. 2543. พีเอเอช. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กัลยา วัฒนากร. 2543. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทรีแม่น้ำเจ้าพระยา. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกศินี สรรวานิช. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่ม้วนแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์. 2558. การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของอัตราตกทับถมของตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบน. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน).
- ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ. 2553. ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นตกในเขตจังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง. 2552. เข้าถึงได้จาก <https://www.baanmaha.com/community/threads/17187>. สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2562.
- จิตรลดา มุประสิทธิ์. 2553. องค์ประกอบและสัดส่วนของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ใน PM<sub>10</sub> จากแหล่งปลดปล่อยต่างประเภทในจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จิราณีย์ ไชยบุวิวงศ์. 2544. การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จรรยา สารินทร์. 2537. การกระจายของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนอ่าวไทย. สหสาขาวิชาวิทยาศาตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉัตรไชย รัตนไชย, ศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล, วิชัย กาญจนสุวรรณ และนฤทธิ ดวงสุวรรณ. 2559. การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยหลักธรรมาภิบาล. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.
- เชาว์ นกอยู่. 2538. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทศบาลตำบลทะเลน้อย. 2558. สภาพและข้อมูลพื้นฐานตำบลทะเลน้อย. เข้าถึงได้จาก <https://www.thalenoigo.th/general2.php>. สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2561.
- เทิดทูน ดำรงฤทธามาตย์. 2548. อัตราการสะสมตัวของตะกอนบริเวณทะเลสาบสงขลาโดยการวัดไอโซโทปริงส์ซีเอ็ม-137. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาตร์ ภาควิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธวัชชัย จำรัสแสง. 2541. การสำรวจและศึกษาลักษณะดินบริเวณลุ่มน้ำทะเลน้อย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นฤทธิ ดวงสุวรรณ. 2556. ตัวชี้วัดความยั่งยืนสำหรับการประมงโดยการจับในทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- เบญจวรรณ คำศรี และวชิราวรรณ นนทกนก. 2552. ผลของปริมาณคาร์บอนในรูปที่มีต่อการปลดปล่อย สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย ( $\Sigma$ PAHs). รายงานโครงการวิจัยระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ปรเมศร์ อมาตยกุล และ เทวินทร์ โจมทา. 2560. อุตุณิยมิวิทยานำรู้เพื่อการเกษตรจังหวัดพัทลุง. ส่วนอุตุณิยมิวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุณิยมิวิทยา กรมอุตุณิยมิวิทยา.
- ปภาศิริ บาร์เนท, พิชาญ สว่างวงศ์, ไพฑูรย์ มกกงไผ่. 2552. การสำรวจทางชีวภาพในสัตว์น้ำเศรษฐกิจตามแนวชายฝั่งทะเล จังหวัดชลบุรี และการจัดการความเสี่ยงเบื้องต้นต่อสาร PAHs ในหอยแมลงภู่. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา: ชลบุรี.
- พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. หน้า 245.
- เพียงตา สาตวรรษ, ญัฐวดี มีสวัสดิ์, วัชรภรณ์ ทองแมน และวินิจ ยังมี. 2547. การประเมินเพื่อคาดการณ์ภัยพิบัติที่เกิดจากการยุบตัวของโพรงเกลือหินใต้ผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: กรณีศึกษาที่หนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี และหนองบ่ออำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 9(1): ม.ค.-มิ.ย. 2547.
- มหิปปงศ์ วรรณกุล. (ม.ป.ป). คู่มือการวิเคราะห์และบรรยายลักษณะดิน-หินจากหลุมเจาะ. กรมทรัพยากรธรณี.
- มัทนาวดี หัตยานนท์. 2556. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2549. โครงการจัดทำแผนแม่บทการจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหานกุมภวาปี. ศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2559. การบริการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและการปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยหลักธรรมาภิบาล. สำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาลัยทักษิณ และมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 2548. โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

- ไมตรี สุทธิจิตต์. 2532. โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน: พิษวิทยาและการตรวจวัด. ภาควิชาเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- รุ่งนภา รักษาทรัพย์. 2551. การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) บนอนุภาคในบรรยากาศบริเวณโรงไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ และศิษยา บุญมานุช. 2541. ผลกระทบของเอนิโนต่อเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. วารสารศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง, 6(2), 35-43. หน้า 37.
- วรภรณ์ ศรีมูล. 2544. การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณุช ดีละมัน. 2553. การกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนทะเลสาบสงขลาตอนนอก จังหวัดสงขลา และตะกอนอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร. 2555. เหตุการณ์ภูเขาไฟระเบิดในอาเซียน. เข้าถึงได้จาก <http://www.sac.or.th/exhibition/aseantimeline/2506>. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2562.
- สมชาย รุจาจรัสวงศ์. 2559. กรมทรัพยากรธรณีกับงานสำรวจในอนาคตสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหาการตื้นเขินของทะเลสาบสงขลา. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สามารถ ประเสริฐศิลป์. 2557. สถานการณ์ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) บนอนุภาค PM10 ในเขตเมือง กึ่งเมือง และชนบทของอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สิทธิกร มากนวน. 2543. ศึกษาปัจจัยและกิจกรรมการพัฒนาการท่องเที่ยวทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สุนิสา ชายเกลี้ยง. 2552. พิษวิทยาอุตสาหกรรม. ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุพัตรา ศรีพลอย. 2553. การฟื้นฟูดินปนเปื้อนสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้ก้อนเชื้อเห็ดที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวัจน์ ธีธรรส. 2557. มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

- สำนักงานวัฒนธรรมอำเภอกุมภวาปี. 2558. ประวัติหมู่บ้านกุมภวาปี เมืองกุมภวาปี. เข้าถึงได้จาก [https://www.m-culture.go.th/udonthani/download/Bannammeung/Home\\_kumphawapi.pdf](https://www.m-culture.go.th/udonthani/download/Bannammeung/Home_kumphawapi.pdf). สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2562.
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 4 ทรัพยากรป่า-ประมง-การใช้ที่ดิน-พลังงาน. สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550. โครงการติดตามประเมินผลการดำเนินงานภายใต้แผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน. สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2557. การจัดทำแผนอนุรักษ์ พื้นที่ฟูและปรับตัวรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำเขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยและป่าพรุควนเคร็ง. ฐานข้อมูลพื้นที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่าทะเลน้อยและป่าพรุควนเคร็ง.
- สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ 10. 2559. รายงานผลการสำรวจเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลการพิจารณา กำหนดเป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ตามกฎหมายและพื้นที่คุ้มครองอื่นๆ พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหานกุมภวาปี เขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. เขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ ๑๐ (อุดรธานี) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2560. บันทึกนักสำรวจ ที่ 031 “หนองหานกุมภวาปี จ.อุดรธานี. เข้าถึงได้จาก <http://learn.gistda.or.th/the-surveyor/note031/>. สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2561.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) [สสนก.]. 2555. การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. บริษัท แอสตีคอน คอร์เปอร์เรชั่น จำกัด.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 1996. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service. Human Services, Public Health Service.



- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 1995. Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. ATSDR/TP-95-20. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR. Atlanta, GA.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 1995. Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 1996. Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substance. ATSDR, Washington, DC, pp. 1–347.
- Akram Bemanikharanagha, Alireza Riyahi Bakhtiari and Jahangard Mohammadi. 2017. Characterization and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and n-alkanes in sediments of Shadegan international wetland, the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*.
- Ana Navarro, Alberto Boveris, Manuel J. Bández, María Jesús Sánchez-Pino, Carmen Gómez, Gerard Muntané, and Isidro Ferrer. 2009. Human brain cortex: mitochondrial oxidative damage and adaptive response in Parkinson disease and in dementia with Lewy bodies. *Free Radical Biology and Medicine* Volume 46, Issue 12, 15 June 2009, Pages 1574-1580.
- Ann-Sofie Wernersson. 2003. Predicting petroleum phototoxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 54, Issue 3, Pages 355-365.
- Assem O. Barakat, Alaa Mostafa, Terry L. Wade, Stephen T. Sweet, and Nadia B. El Sayed. 2011. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt. *Marine Pollution Bulletin* Volume 62, Issue 9, 1969-1978.
- Baumard, P. 1998. Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) in Various Marine Organisms in Relation to those in sediments and to Trophic Level. *Marine Pollution Bulletin*. 36: 951-960.
- Banu Cetin, Sema Yurdakul, and Melek Keles. 2017. Atmospheric concentrations, distributions and air-soil exchange tendencies of PAHs and PCBs in a heavily industrialized area in Kocaeli, Turkey. *Chemosphere* 183. 69-79.
- Badreddine Barhoumi, Karyn LeMenach, Marie-Hélène Devier, Walid Ben Ameer, Henry Etcheber, Hélène Budzinski, Jérôme Cachot and Mohamed Ridha Driss.

2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the Bizerte Lagoon, Tunisia: levels, sources, and toxicological significance. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 186, Issue 5, 2653–2669.
- Begona Perez-Fernandez, Lucia Vinas and Jesica Bargiela. 2016. Historical Profiles of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Marine Sediment Cores from Northwest Spain. *Arch Environ Contam Toxicol* 71: 439–453.
- Beibei SHEN, Jinglu WU and Zhonghua ZHAO. 2017. A ~150-year Record of Human Impact in the Lake Wuliangsu (China) Watershed: Evidence from Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Organochlorine Pesticide Distributions in Sediments. *Journal of Limnology*, Vol 76, No 1.
- Beibei Shen, Jinglu Wu and Miao Jin. 2018. Sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons record recent anthropogenic activities near high-elevation Lake Sayram, northwest China. *Limnologica* Volume 71, July 2018, Pages 62-67.
- Ben Armstrong, Emma Hutchinson, John Unwin and Tony Fletcher. 2004. Lung Cancer Risk after Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review and Meta-Analysis. *Environ Health Perspect.* 112(9): 970–978.
- Benjamin A. Musa Bandowe , Prakash Srinivasan and Martin Seelge. 2014. A 2600-year record of past polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) deposition at Holzmaar (Eifel, Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology Palaeoecology* 401. 111–121.
- Boonyatumanond, R. 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in water samples by using High Performance Liquid Chromatography. Master's Thesis. Department of applied analytical and inorganic chemistry. Graduate School. Mahidol University.
- Bouloubassi I., Roussiez V., Azzoug M. and Lorre A. 2012. Sources, dispersal pathways and mass budget of sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the NW Mediterranean margin, Gulf of Lions. *Marine Chemistry*, 142–144(0): 18–28.
- Bragato M., Joshi K., Carlson J.B., Tenório J.A.S. and Leventis Y.A. 2012. Combustion of coal, bagasse and blends thereof: part II: speciation of PAH emissions. *Fuel*, 96(0): 51–58.

- Blumer, M. 1976. Polycyclic aromatic compounds in nature. *Scientific American* 234, 34–45.
- Bouloubassi, I., Roussiez, V., Azzoug, M. and Lorre, A. 2012. Sources, dispersal pathways and mass budget of sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the NW Mediterranean margin, Gulf of Lions. *Mar. Chem.* 142, 18–28.
- Broman, D., Naf, C., Axelman, J., Bandh, C., Pettersen, H., Johnstone, R. and Wallberg, P. 1996. Significance of bacteria in marine waters for the distribution of hydrophobic organic contaminants. *Environmental Science and Technology* 30, 1238–1241.
- Butchiah Gadde, Sébastien Bonnet, Christoph Menke and Savitri Garivait. 2009. Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. *Environmental Pollution* Volume 157, Issue 5, May 2009, Pages 1554-1558.
- 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. *Pollut. Bull.* 52, 942–956.
- Bi X.H., Sheng G.Y., Peng P.A., Chen Y.J., Zhang Z.Q. and Fu J.M. 2003. Distribution of particulate- and vapor-phase n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban atmosphere of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment* 37, 289–298.
- Callén M.S., López J.M., Iturmendi A. and Mastral M.A. 2013. Nature and sources of particle associated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the atmospheric environment of an urban area. *Environmental Pollution*, 183: 166–174.
- Canadian Environmental Protection Act [CEPA]. 1994. POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS. Also available in French under the title: Loicanadien nesurla protection del'environnement Listedes substancesd'intérêt prioritaire Rapport d'évaluation Hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. 2010. Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: Scientific criteria document. CCME, Winnipeg. 216.

- Cetin B, Odabasi M and Bayram A. 2016. Wet deposition of persistent organic pollutants (POPs) in Izmir Turkey. *Environ Sci Pollut Res* 23: 9227–9236.
- Chaocan Li, Shouliang Huo and Zhiqiang Yu. 2016. Historical records of polycyclic aromatic hydrocarbon deposition in a shallow eutrophic lake: Impacts of sources and sedimentological conditions. *Journal of Environmental Science* 41. 261-269.
- Cheng Di Dong, Chih-Feng Chen and Chiu-Wen Chen. 2012. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Industrial Harbor Sediments by GC-MS. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2012, 9(6), 2175-2188.
- Chuanliang Ma, Tian Lin and Siyuan Ye. 2017. Sediment record of polycyclic aromatic hydrocarbons in the LiaoheRiver Delta wetland, Northeast China: Implications for regional population migration and economic development. *Environmental Pollution* 222. 146-152.
- C. La Rocca, L. Conti, R. Crebelli, B. Crochi, N. Iacovella, F. Rodriguez, L. Turriobaldassarri. and A. Di Domenico. 1996. PAH content and mutagenicity of marine sediments from the Venice Lagoon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 33, 236-245.
- Conttini, G.B. and Mazzone, G.B. 1939. The effects of 3,4-benzpyrene on human skin. *Am.J.Can.* 37, 186-195.
- Dana L.Wetzel and Edward S.Van Vleet. 2004. Accumulation and distribution of petroleum hydrocarbons found in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the canals of Venice, Italy. *Marine Pollution Bulletin* Volume 48, Issues 9–10, May 2004, Pages 927-936.
- Danai Tipmanee. 2012. Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Sediments of Phang Nga Province. Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Management. Chulalongkorn University.
- Den Besten, P.J., O'Hara, S.C. and Livingstone, D.R. 1992. Further characterization of benza(a)pyrene metabolism in the sea star, *Asterias rubens* L. *Mar. Environ. Res.*, 34, 309.

- Dung, N.T. 1996. Determination of some Selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Particulates Emitted from the Thermal Power plant of Bai Bang paper Company, Vietnam. Master's Thesis. Division of Environmental Engineering. Asian Institute of Technology.
- Eglinto, G. and M.T.J. Murphy. 1969. Organic Geochemistry. Springer-Berlag Berkin.
- Eglinton, T. I., Pearson, A., McNichol, A., Currie, L., Benner, B. A. and Wise, S. 1996. Compound specific radiocarbon analysis as a tool to quantitatively apportion modern and fossil sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental matrices. In 212<sup>th</sup> ACS National Meeting, Vol. 36, ed. 205–207, A. C. Society, Orlando, FL.
- Electric Power Research Institute [EPRI]. 2000. Literature review of background polycyclic aromatic hydrocarbons. Final report.
- Elizabeth H. Denis, Jaime L. Toney, Rafael Tarozo, R. Scott Anderson, Lydia D. Roach and Yongsong Huang. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in lake sediments record historic fire events: Validation using HPLC-fluorescence detection. *Organic Geochemistry* 45 (2012) 7–17.
- Elizabeth H. Denis, Jaime L. Toney, Rafael Tarozo, R. Scott Anderson, Lydia D. Roach. and Yongsong Huang. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in lake sediments record historic fire events: Validation using HPLC-fluorescence detection. *Organic Geochemistry* Volume 45, April 2012, 7-17.
- Eva J. Hoffman, Gary L. Mills, James S. Latimer and James G. Quinn. 1984. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environ. Sci. Technol.*, 18 (8), 580–587.
- E.Y. Zeng. and C.L. Vista. 1997. Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California: 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Toxicol. Chem.*, 16 (1997), 179-188.
- Fabiana Alves de Lima, Ribeiro Márcia and Miguel Castro Ferreira. 2003. QSPR models of boiling point, octanol–water partition coefficient and retention time index of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM* Volume 663, Issues 1–3, 28 November 2003, Pages 109-126.

- Fan Zhang, Rui Zhang and Minglei Guan. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and Pb isotopic ratios in a sediment core from Shilianghe Reservoir, eastern China: Implying pollution sources. *Applied Geochemistry* 66. 140-148.
- Fang, G., Wu, Y., Chen, J., Chang, C. and Ho, T. 2006. Characteristic of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations and source identification for fine and coarse particulates at Taichung Harbor near Taiwan Strait during 2004-2005. *Sci. Total Environ.* 336: 729-738.
- Fernandez P, Vilanova R. and Grimalt J. 1999. Sediment fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in European high altitude mountain lakes. *Environ Sci Technol*; 33:3716 –3722.
- Guoliang Li, Yin Hai Lang and Wei Yang. 2014. Source contributions of PAHs and toxicity in reed wetland soils of Liaohe estuary using a CMB-TEQ method. *Science of the Total Environment* 490. 199–204.
- Grariviat, H. 1999. A Study on air Pollution by Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Bangkok Urban Atmosphere. Doctoral dissertation. School of Environment. Resource and Development. Asian Institute of Technology.
- Gary M Rand. and Sam R Petrocelli. 1985. *Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications*. Washington, DC <etc.>: Hemisphere Publishing Corporation.
- Gerritse, R.G., Wallbrink, P.J. and Murria, A.S. 1998. Accumulation of phosphorus and heavy metals in the Swan-Canning Estuary, Western Australia. *Est. Coast. S.* 47, 165-170.
- Ghazaleh Monazami, Tehrani, A Halim, Sulaiman, Rosli, Hashim, Ahmad, Savari, Belin, Tavakoly Sany, Mohamad Taqi, Jafarzadeh, Reza, Khani Jazaniand and Zhamak Monazami Tehrani. 2012. Total Petroleum Hydrocarbon Contamination in Sediment and Wastewater from the Imam Khomeini and Razi Petrochemical Companies-Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* Vol:6, No:9.

- G. Perra, M. Renzi, C. Guerranti. and S.E. Focardi. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in sediments: distribution and sources in a lagoon system (Orbetello, Central Italy) *Trans. Water. Bull.*, 3 (1), 45-58.
- Guo, H., Lee, S.C., Li, W.M. and Cao, J.J. 2003. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 37, 73–82.
- Guzzella, L. and De Paolis, A. 1994. Polycyclic aromatic-hydrocarbons in sediments of the Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 28 (3), 159–165.
- Harris, K.A., Yunker, M.B., Dangerfield, N. and Ross, P.S. 2011. Sediment-associated aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal British Columbia, Canada: concentrations, composition, and associated risks to protected sea otters. *Environ. Pollut.* 159, 2665–2674.
- H.Budzinski Jones, J.Bellocq, C.Piérard and P.Garrigues. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry Volume 58, Issues 1–2, October 1997, Pages 85-97.*
- Hongmei Xu, Steven Sai Hang Ho and Meiling Gao. 2016. Microscale spatial distribution and health assessment of PM<sub>2.5</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) at nine communities in Xi'an, China. *Environmental Pollution* 218. 1065-1073.
- Hezhong Yuan, Enfeng Liu and Enlou Zhang. 2017. Historical records and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides (OCPs) in sediment from a representative plateau lake, China. *Chemosphere* 173. 78-88.
- Hiller, E., Zemanová, L., Sirotiak, M. and Jurkovič, L.U. 2011. Concentrations, distributions, and sources of polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in bed sediments of the water reservoirs in Slovakia. *Environ. Monit. Assess.* 173, 883–897.
- Hu, N.J., Huang, P., Liu, J.H., Ma, D.Y., Shi, X.F., Mao, J. and Liu, Y. 2014. Characterization and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments in the Yellow River Estuary, China. *Environ. Earth Sci.* 71 (2), 873–883.

- Ian W. Davies, Roy M. Harrison, Roger. Perry, Don. Ratnayaka and Roger A. Wellings. 1976. Municipal incinerator as source of polynuclear aromatic hydrocarbons in environment. *Environ. Sci. Technol.* 10, 451.
- International Agency for Research on Cancer [IARC]. 1983. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk To Humans. Vol. 32, Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1. Chemical, Environmental and Experimental Data, IARC, Lyon.
- International Programme on Chemical Safety [IPCS]. 1998. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. World Health Organization, Geneva.
- International Programme on Chemical Safety [IPCS]. 1998. Environmental Health Criteria 202 : selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft World Health Organization.
- Isioma Tongo, Lawrence Ezemonye and Kingsley Akpeh. 2017. Levels, distribution and characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ovia river, Southern Nigeria. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5. 504–512.
- Ishitake M, Moriwaki H, Katahira H, Yamamoto O, Tsuruho K, Yamazaki H. and Yoshioka S. 2007. Vertical profile of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from a reservoir in Osaka City. *Environ Geol* 52:123–129.
- Jamison, V. M., Raymond, R. L., Hudson, J. and O., Jr., 1975. Biodegradation of high-octane gasoline in groundwater. *Dev. Ind. Microbiol.* 16:305–312.
- Jiang, B., Zheng, H., Huang, G., Ding, H., Li, X., Suo, H. and Li, R. 2007. Characterization and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in sediments of Haihe River, Tianjin, China. *J. Environ. Sci.* 19, 306–311.
- Jian-Yang Guo al et. 2011. Screening Level of PAHs in Sediment Core from Lake Hongfeng, Southwest China. *Arch Environ Contam Toxicol.* 60 : 590–596.
- Jia Wang, Xiao Li, Nan Jiang, Wenkai Zhang, Ruiqin Zhang and Xiaoyan Tang. 2015. Long term observations of PM<sub>2.5</sub>-associated PAHs: Comparisons between normal and episode days. *Atmospheric Environment* Volume 104, March 2015, 228-236.
- Jing Li, Fadong Li and Qiang Liu. 2017. PAHs behavior in surface water and groundwater of the Yellow River estuary: Evidence from isotopes and hydrochemistry. *Chemosphere* 178. 143-153.



- Jinxia Yan, Jingling Liu and Xuan Shi. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water from three estuaries of China: Distribution, seasonal variations and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin* 109. 471–479.
- Katsoyiannis A. and Breivik K. 2014. Model-based evaluation of the use of polycyclic aromatic hydrocarbons molecular diagnostic ratios as a source identification tool. *Environmental Pollution*. Vol. 184: 488-494.
- Kealhofer, L. and D. Penny. 1998. A combined phytolith and pollen record for 14000 years of vegetation change in northeast Thailand. *Rev. Palaeobot. Palaeo.* 103: 83-93.
- Kennish, M.J. 1992. *Ecology of Estuaries : Anthropogenic Effect Marine Science Series*. Marcel dekker, Inc., New York.
- Kim, G al et. 1999. Distribution and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in sediments from Kyeonggi Bay, Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 33: 7–15.
- Kofi, A.D. 2002. *Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals; Environmental Pollution*. Vol. 6. Kluwer Academic Publishers, London.
- Laflamme, R.E. and Hites, R.A. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in recent sediment. *Geo. Et Cos. Acta*. 42; 289-303.
- Lake, J. L., Norwood, C., Dimock, C. and Bowen, R. 1979. Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 43, 1847-1854.
- Limin Hu, Xuefa Shi and Shuqing Qiao. 2017. Sources and mass inventory of sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gulf of Thailand: Implications for pathways and energy structure in SE Asia. *Science of the Total Environment* 575. 982–995.
- Line E. Sverdrup, Torben Nielsen and Paul Henning Krogh. 2002. Soil Ecotoxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Relation to Soil Sorption, Lipophilicity, and Water Solubility. *Environ. Sci. Technol.* 2002, 36, 2429-2435.
- Liu, M., Baugh, P.J., Hutchinson, S.M., Yu, L. and Xu, S. 2000. Historical record and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in core sediments from the Yangtze Estuary, China. *Environ. Pollut.* 110, 357–365.

- Lumeng Liu, Ruimin Liu and Wenwen Yu. 2016. Risk assessment and uncertainty analysis of PAHs in the sediments of the Yangtze River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 112. 380–388.
- Luzardo, O.P., Ruiz-Suarez, N., Henríquez-Hernández, L.A., Valerón, P.F., Camacho, M., Zumbado, M. and Boada, L.D. 2011). Assessment of the exposure to organochlorine pesticides, PCBs and PAHs in six species of predatory birds of the Canary Islands. Spain. *Sci. Total Environ.* 472, 146-153.
- Malin Andersson, Martin Klug and Ola Anfin Eggen. 2014. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from lake Lille Lungegardsvannet in Bergen, western Norway; appraising pollution sources from the urban history. *Science of the Total Environment* 470–471. 160–1172.
- Marlene Evans, Martin Davies and Kim Janzen. 2016. PAH distributions in sediments in the oil sands monitoring area and western Lake Athabasca: Concentration, composition and diagnostic ratios. *Environmental Pollution* 213. 671-687.
- Moussa Mahdi Ahmed, Pierre Doumenq and Mohamed Osman Awaleh. 2017. Levels and sources of heavy metals and PAHs in sediment of Djibouti-city (Republic of Djibouti). *Marine Pollution Bulletin* 120. 340–346.
- Mehrzaad Keshavarzifard, Mohamad Pauzi Zakaria, TanShau Hwai, Ferdius@Ferdius Mohamat Yusuff, Shuhaimi Mustafa, Vahab Vaezzadeh, Sami M.Magam, Najat Masood, Sadeq A.A.Alkhadher and Fatemeh Abootalebi-Jahromi. 2014. Baseline distributions and sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments from the Prai and Malacca Rivers, Peninsular Malaysia. *Marine Pollution Bulletin* Volume 88, Issues 1–2, 15 November 2014, Pages 366-372.
- M.A.Sicre, J.C.Marty, A.Saliot, X.Aparicio, J.Grimalt and J.Albaiges. 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: Occurrence and origin. *Atmospheric Environment* Volume 21, Issue 10, 1987, 2247-2259.
- Margarete S.Steinhauser and Paul D.Boehm. 1992. The composition and distribution of saturated and aromatic hydrocarbons in nearshore sediments, river sediments, and coastal peat of the Alaskan Beaufort Sea: Implications for detecting

- anthropogenic hydrocarbon inputs. *Marine Environmental Research* Volume 33, Issue 4, 1992, 223-253.
- Moriwaki, H., Katahira, K., Yamamoto, O., Fukuyama, J., Kamiura, T., Yamazaki, H. and Yoshikawa, S. 2005. Historical trends of polycyclic aromatic hydrocarbons in the reservoir sediment core at Osaka. *Atmospheric Environment* 39, 1019–1025.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). 2006. NIST Intercomparison Exercise Program for Organic Contaminants in the Marine Environment: Description and Results of 2005 Organic Intercomparison Exercises. Technology Administration, U.S. Department of Commerce.
- Netto ADP, Dias JCM, Arbillla G, Oliveira LF. and Barek J. 2000. Avaliação da contaminação humana por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e seus derivados nitratos: Umarevisão metodológica, *Quim. Nova*, 23(6): 765–773.
- Nikolaou, K., P. Masclat and G.Mouvier. 1984. Sources and Chemical Reactivity of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in the Atmosphere – A Critical Review. *The Science of the Total Environment*. 32: 103-132.
- Nobuyasu Itoh, Shuji Tamamura and Michio Kumagai. 2010. Distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from the north basin of Lake Biwa, Japan. *Organic Geochemistry* 41. 845–852.
- Nobuyasu Itoh, Tomonori Naya and Yutaka Kanai. 2017. Historical changes in the aquatic environment and input of polycyclic aromatic hydrocarbons over 1000 years in Lake Kitaura, Japan. *Limnology* 18: 51–62.
- Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas G.S., Bence, W.A., Burn, W.A. and Mankiewicz, P.J. 1999. Pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Sediment Record Past Human Activity: A case study in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.* 4: 247-260.
- Panpan Sun, Biao Xie and Yimin Song. 2017. Historical Trends of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Reservoir Sediment of the Dianchi Watershed, Southwest China. *Bull Environ Contam Toxicol* 99 : 117–124.
- Perera, F.P. 1997. Environment and cancer: who are susceptible?. *Science*, 278. 1068-1073.

- Philip M.Gschwend and Ronald A.Hites. 1981. Fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Volume 45, Issue 12, December 1981, 2359-2367.
- Parinos, C. and Gogou, A. 2016. Suspended particle-associated PAHs in the open eastern Mediterranean Sea: occurrence, sources and processes affecting their distribution patterns. *Mar. Chem.* 180, 42–50.
- Pongpiachan S., Tipmanee D., Choochuay C., Hattayanone M., Deelaman W., Iadtem N., Bunsomboonsakul S., Palakun J., Poshyachinda S., Leckngam A., Somboonpon P., Panyaphirawat T., Aukkaravittayapun S., Wang Q., Xing L., Li G., Han Y. and Cao J. 2018. Vertical profile of organic and elemental carbon in sediments of Songkhla Lake, Thailand. *The Japanese Society of Limnology* 2019.
- Pozo, K., Perra, G., Menchi, V., Urrutia, R., Parra, O., Focardi, S. and Rudolph, A. 2011. Levels and spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Lengua Estuary, central Chile. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1572–1576.
- Pyysalo, H., Tuominen, J., Wickstrom, K., Skytta, E., Salomaa, L.T., Nurmela, M.S.T. and Pohjola, T.M.V. 1987. Polycyclic organic material (POM) in urban air. Fractionation, chemical analysis and genotoxicity of particulate and vapour phases in an industrial town in Finland. *Atmos. Environ.* 21(5): 1167-1180.
- Qi minCao, Hua Wan and Jian qiao Qin. 2015. Partitioning of PAHs in pore water from mangrove wetlands in Shantou, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 111. 42–47.
- Ramzi A., Habeeb Rahman K. and Gireeshkumar T.R. 2017. Dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of Cochin estuary, India. *Marine Pollution Bulletin* 114. 1081–1087.
- Ravindra, Mittal AK. and Grieken RV. 2001. Health risk suspended particulate matter with special reference to PAHs: a review. *Rev Environ Health* 16:169–189.
- Ravindra, K., Bencs, L., Wauters, E., Hoog, J., Deutsch, F. and Roekens, E. 2006. Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities. *Atmos. Environ.* 40: 771-785.

- 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.
- R.E.Laflamme Ronald and A.Hites. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Volume 42, Issue 3, March 1978, Pages 289-303.
- Rinawati, Koike, T., Koike, H., Kurumisawa, R., Ito, M., Sakurai, S., Togo, A., Saha, M., Arifinc, Z. and Takada, H. 2012. Distribution, source identification, and historical trends of organic micropollutants in coastal sediment in Jakarta Bay, Indonesia. *J. Hazard. Mater.* 217-218, 208-216.
- Rima Manneh, Carine Abi Ghanem, Gaby Khalaf, Elie Najjar, BilalEl Khoury. and Amallaaly. 2016. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Lebanese surficial sediments: A focus on the regions of Tripoli, Jounieh, Dora, and Tyre. *Marine Pollution Bulletin* Volume 110, Issue 1, 15 September 2016, 578-583.
- Rokhsareh Azimi Yancheshmeh, Alireza Riyahi Bakhtiari and Samar Mortazavi. 2014. Sediment PAH: Contrasting levels in the Caspian Sea and Anzali Wetland. *Marine Pollution Bulletin* 84. 391–400.
- Ruiqiang Yang, Ting Xie, An Li, Handong Yang, Simon Turner, Guangjian Wu and Chuanyong Jing. 2016. Sedimentary records of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in remote lakes across the Tibetan Plateau. *Environmental Pollution* 214 (2016) 1-7.
- Ruiqiang Yang, Ting Xie, An Li, Handong Yang, Simon Turner, Guangjian Wu and Chuanyong Jing. 2016. Sedimentary records of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in remote lakes across the Tibetan Plateau. *Environmental Pollution* Volume 214, July 2016, Pages 1-7.
- Ruchaya Boonyatumanond, Gullaya Wattayakorn, Ayako Togo and Hideshige Takada. 2006. Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine, and marine sediments in Thailand. *Marine Pollution Bulletin* Volume 52, Issue 8, August 2006, Pages 942-956.

- Saha, M., Togo, A., Mizukawa, K., Murakami, M., Takada, H., Zakaria, M.P., Chiem, N.H., Tuyen, B.C., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Sarkar, S.K., Bhattacharya, B., Mishra, P. and Tana, T.S. 2009. Sources of sedimentary PAHs in tropical Asian waters: differentiation between pyrogenic and petrogenic sources by alkyl homolog abundance. *Pollut. Bull.* 58, 189–200.
- Selma Unlu, Bedri Alpar and Kurultay Ozturk. 2010. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Surficial Sediments from Lake Iznik (Turkey): Spatial Distributions and Sources. *Bull Environ Contam Toxicol* 85: 573–580.
- S. Dahle, V.M. Savinov, G.G. Matishov, A. Evenset and K. Næs. 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay. *Sci. Total Environ.*, 306, pp. 57-71.
- S. Giuliani, L.G. Bellucci and M.N. Çagatay. 2017. The impact of the 1999 Mw 7.4 event in the İzmit Bay (Turkey) on anthropogenic contaminant (PCBs, PAHs and PBDEs) concentrations recorded in a deep sediment core. *Science of the Total Environment* 590–591. 799–808.
- Shore R., F., W. Julian., A.H. Janice and H.S. Timothy. 1999. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Residues in the Eggs of Coastal-Nesting Bird from Britain. *Marine Pollution Bulletin.* 38: 509-513.
- Sharmila Ray, P.S. Khillare, Tripti Agarwal and Vijay Shridhar. 2008. Assessment of PAHs in soil around the International Airport in Delhi, India. *Journal of Hazardous Materials* Volume 156, Issues 1–3, 15 August 2008, 9-16.
- Sienra MR., Rosazza NG. and Prendez M. 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their molecular diagnostic ratios in urban atmospheric respirable particulate matter. *Atmos Environ* 75:267–281.
- Simonich SL. and Hites RA. 1994. Importance of vegetation in removing of polycyclic aromatic hydrocarbon from the atmosphere. *Nature* 370:49-51.
- Siwatt Pongpiachan, Chomsri Choochuay and Mattanawadee Hattayanone. 2013. Temporal and Spatial Distribution of Particulate Carcinogens and Mutagens in Bangkok, Thailand. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, Vol 14.

- Siwatt Pongpiachan. 2015. Impacts of agricultural waste burning on the enhancement of PM<sub>2.5</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in northern Thailand. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*.
- Siwatt Pongpiachan, Mattanawadee Hattayanone and Oramas Suttinun. 2017. Assessing human exposure to PM<sub>10</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons during fireworks displays. *Atmospheric Pollution Research* 8. 816-827.
- Siwatt Pongpiachan, Mattanawadee Hattayanone and Danai Tipmanee. 2018. Chemical characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in 2013 Rayong oil spill-affected coastal areas of Thailand. *Environmental Pollution* 233. 992-1002.
- Srogi, K. 2007. Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review. *Environ. Chem. Lett.* 5, 169–195.
- Timoney, Kevin P. and Lee, Peter. 2011. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Increase in Athabasca River Delta Sediment: Temporal Trends and Environmental Correlates. *Environmental Science & Technology*, vol. 45, issue 10, pp. 4278-4284.
- Tolosa, I., Mora, S.D., Sheikholeslami, M.R., Villeneuve, J.P., Bartocci, J. and Cattini, C. 2004. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian sea sediments. *Pollut. Bull.* 48, 44-50.
- Tsapakis M. and Stephanou E.G. 2005. Occurrence of gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: study of sources and ambient temperature effect on the gas/particle concentration and distribution. *Environmental Pollution*, 133 (2005), pp. 147-156.
- United Nations Environmental Program [UNEP]. 1991. *Urban Air Pollution*. UNEP/GEMS Environment Library, No. 4.
- UNITED STATES. Department of Health and Human Services [USDHHS]. 1995. *Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 487.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. 1987. *Pesticide assessment guideline, subdivision U, applicator exposure monitoring*. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield.

- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1998. Toxicological Review of Naphthalene. (CAS No. 91-20-3). เข้าถึงได้จาก <http://www.epa.gov/iris>. สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2561.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/mass Spectrometry (GC/MS). Compendium Method TO-13, EPA/625/R-96/010b. Washington, DC: U.S. EPA, Center for Environmental Research Information.
- Wakeham, S.G., Schaffner, C. and Giger, W. 1980. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments – I. Compounds having anthropogenic origins.
- Wang, Y., Shen, C.C., Shen, Z.Y., Zhang, D. and Crittenden, J.C. 2015. Spatial variation and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from the Yangtze Estuary, China. *Environ. Sci. Processes Impacts* 17, 1340–1347.
- Wang Z. and Fingas M. 1995. Use of methyl dibenzothiophenes as markers for differentiation and source identification of crude and weathered oils. *Environ. Sci. Technol.* 29. 2842-2849.
- Wentao Wang, Staci Simonich and Basant Giri. 2011. Atmospheric concentrations and air–soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in remote, rural village and urban areas of Beijing–Tianjin region, North China. *Science of the Total Environment* 409. 2942–2950.
- World Health Organization [WHO]. 1983. Polynuclear aromatic compounds, Part 1, Chemical, environmental and experimental data. *IARC Monogr Eval Carcinog Risk Chem Hum.* 32:1-453.
- Yang-GuangGu, QinLin, Teng-TengLu, Chang-LiangKe, Run-XiaSun and Fei-YanDu. 2013. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from Nan’ao Island, a representative mariculture base in South China. *Marine Pollution Bulletin* Volume 75, Issues 1–2, 15 October 2013, Pages 310-316.
- Yanzheng Gao and Lizhong Zhu. 2004. Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils. *Chemosphere.* Volume 55, Issue 9, June 2004, Pages 1169-1178.



- Yetkin Dumanoglu, EftadeO.Gaga , Elif Gungormus, Sait C. Sofuoglu and Mustafa Odabasi. 2017. Spatial and seasonal variations, sources, air-soil exchange, and carcinogenic risk assessment for PAHs and PCBs in air and soil of Kutahya, Turkey, the province of thermal power plants. *Science of the Total Environment* 580 (2017) 920–935
- Yim, U.H., Hong, S.H., Ha, S.Y., Han, G.M., An, J.G., Lim, D., Choi, H.W. and Shim, W.J., 2014. Source- and region-specific distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Jinhae Bay, Korea. *Sci. Total Environ.* 1485–1493.
- Yizhi Cai, Xinhong Wang and Yuling Wu. 2016. Over 100-year sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine compounds (OCs) in the continental shelf of the East China Sea. *Environmental Pollution* 219. 774-784.
- Yonggen Zhang, Mingzhu Liu and Honghan Chen. 2014. Source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in different ecological wetland components of the Qinkenpao Wetland in Northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 102. 160–167.
- YuanZhang, Chang-ShengGuo, JianXu, Ying-ZeTian, Guo-LiangShi and Yin-ChangFeng. 2012. Potential source contributions and risk assessment of PAHs in sediments from Taihu Lake, China: Comparison of three receptor models. *Water Research* Volume 46, Issue 9, 1 June 2012, Pages 3065-3073.
- Yu-FengJiang, Xue-TongWang, FeiWang, YingJia, Ming-HongWu, Guo-YingSheng and Jia-Mo Fu. 2009. Levels, composition profiles and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soil of Shanghai, China. *Chemosphere* Volume 75, Issue 8, May 2009, Pages 1112-1118.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D. and Sylvestre, S. 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Org. Geochem.* 33, 489–515.
- Yunker, M.B. and Macdonald, R.W. 2003. Alkane and PAH depositional history, sources and fluxes in sediments from the Fraser River Basin and Strait of Georgia, Canada. *Organic Geochemistry* 34, 1429–1454.

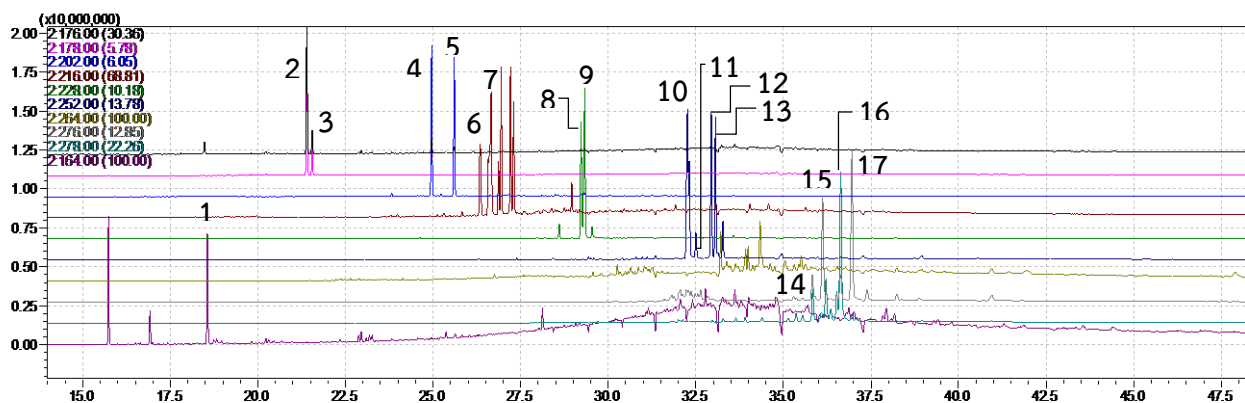
- Y. Qiu, G. Zhang, G. Liu, L. Guo, X. Li and O. Wai. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water column and sediment core of Deep Bay, South China, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 83. 60–66.
- Y.W. Qiu, G. Zhang, G.Q. Liu, L.L. Guo, X.D. Li and O. Wai. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the water column and sediment core of Deep Bay, South China *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 83 (1), 60-66.
- Zahir Qamar, Sardar Khan and Anwarzeb Khan. 2017. Appraisal, source apportionment and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vehicle-wash wastewater, Pakistan. *Science of the Total Environment* 605–606. 106–113.
- Zhang, M. and Zhu, L. 2009. Sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons to carbohydrates and lipids of ryegrass root and implications for a sorption prediction model. *Environ. Sci. Technol.* 43 (11), 4130e4136.
- Zhang, Y., Guo, C.S., Xu, J., Tian, Y.Z., Shi, G.L. and Feng, Y.C. 2012. Potential source contributions and risk assessment of PAHs in sediments from Taihu Lake, China: comparison of three receptor models. *Water Res.* 46, 3065–3073.
- Zhang, Y.D., Su, Y.L., Liu, Z.W., Chen, X.C., Yu, J.L., Di, X.D. and Jin, M. 2015. Sedimentlipid biomarkers record increased eutrophication in Lake Fuxian (China) during the past 150 years. *J. Great Lakes Res.* 41, 30–40.
- Zeng, E.Y. and Vista, C.L. 1997. Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbon. *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 179-188.
- Zhi, H., Zhao, Z.H. and Zhang, L. 2015. The fate of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides (OCPs) in water from Poyang Lake, the largest freshwater lake in China. *Chemosphere* 119, 1134-1140.
- Zhou, J.L. and Rowland, S.J. 1997. Evaluation of the interactions between hydrophobic organic pollutants and suspended particles in estuarine waters. *Water Research* 31, 1708–1718.

- Zhou, J.L. and Maskaoui, K. 2003. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and surface sediments from Daya Bay, China. *Environ. Pollut.* 121, 269–281.
- Zucheng Wang, Zhanfei Liu and Yi Yang. 2012. Distribution of PAHs in tissues of wetland plants and the surrounding sediments in the Chongming wetland, Shanghai, China. *Chemosphere* 89. 221–227.
- Z. Wang, M. Fingas, Y.Y. Shu, L. Sigouin, M. Landriault, P. Lambert, R. Turpin, P. Campagna and J. Mullin. 1999. Qualitative characterization of PAHs in burn residue and soot samples and differentiation of pyrogenic PAHs from petrogenic PAHs - the 1994 mobile burn study. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3100-3109.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)



รูปที่ ก-1 โครมาโทแกรม (Chromatogram) ของสาร PAHs จำนวน 17 ชนิด

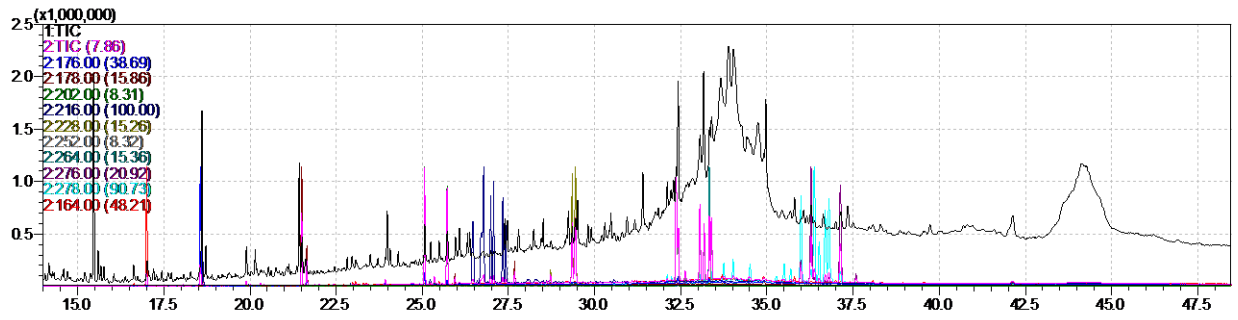
- |                         |                          |                            |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1. D10-Fluorene         | 7. 11H-Benzo[b]fluorine  | 13. Benzo[a]pyrene         |
| 2. Phenanthrene         | 8. Benz[a]anthracene     | 14. Perylene-D12           |
| 3. Anthracene           | 9. Chrysene              | 15. Indeno[1,2,3-cd]pyrene |
| 4. Fluoranthene         | 10. Benzo[b]fluoranthene | 16. Dibenz[a,h]anthracene  |
| 5. Pyrene               | 11. Benzo[k]fluoranthene | 17. Benzo[ghi]perylene     |
| 6. 11H-Benzo[a]fluorine | 12. Benzo[e]pyrene       |                            |

ตารางที่ ก-1 เวลาแสดงผล (Retention Time) ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard 2 ชนิด

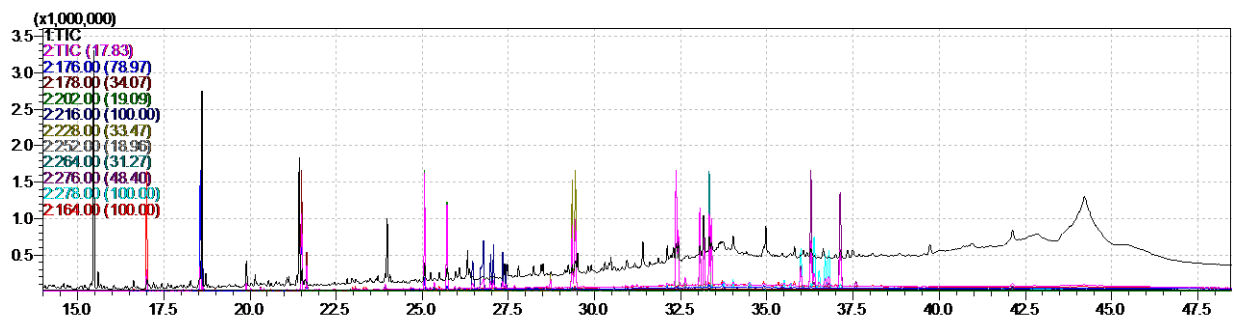
Name	m/z	Ret. Time (นาที)
<b>PAHs Standard</b>		
Phenanthrene	178.0	21.405
Anthracene	178.0	21.552
Fluoranthene	202.0	24.960
Pyrene	202.0	25.607
11H-Benzo[a]fluorene	216.0	26.657
11H-Benzo[b]fluorene	216.0	26.869
Benz[a]anthracene	228.0	29.227
Chrysene	228.0	29.328
Benzo[b]fluoranthene	252.0	32.260
Benzo[k]fluoranthene	252.0	32.314
Benzo[e]pyrene	252.0	32.939
Benzo[a]pyrene	252.0	33.063
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	276.0	36.124
Dibenz[a,h]anthracene	278.0	36.350
Benzo[ghi]perylene	276	36.959
<b>Internal Standard PAHs</b>		
D10-Fluorene	176.0	18.479
Perylene-D12	264.0	33.209

หมายเหตุ: Ret. Time คือ ระยะเวลาที่สารแต่ละชนิดใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์

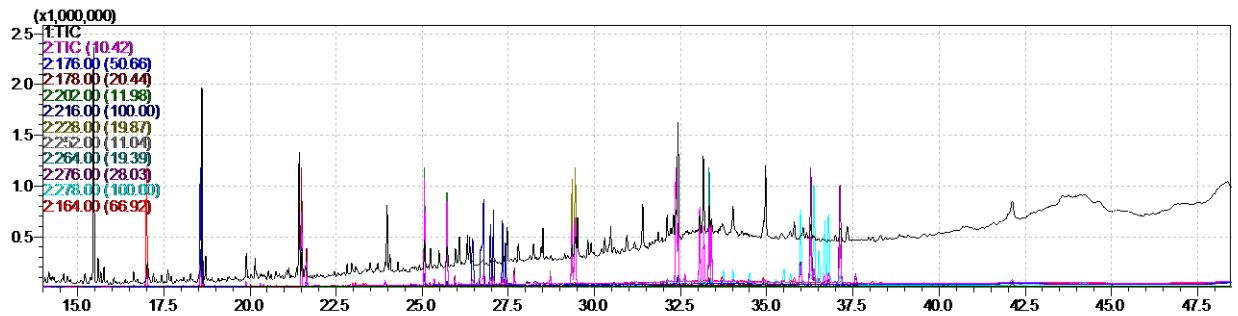
(ก)



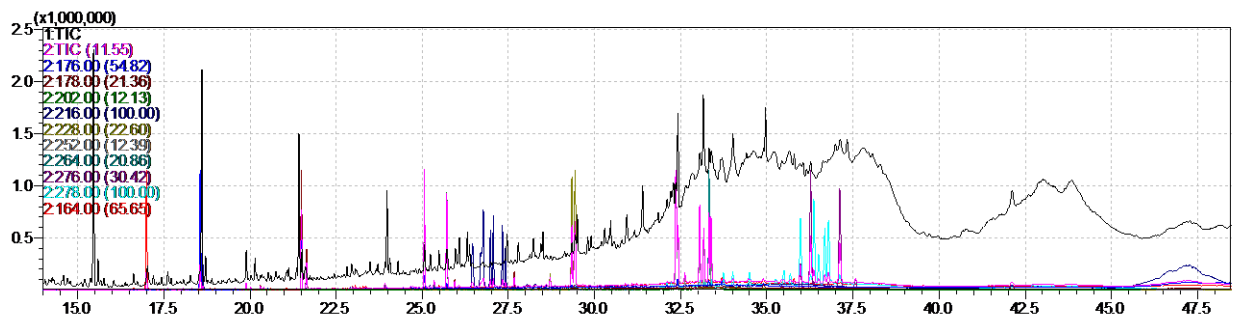
(ข)



(ค)



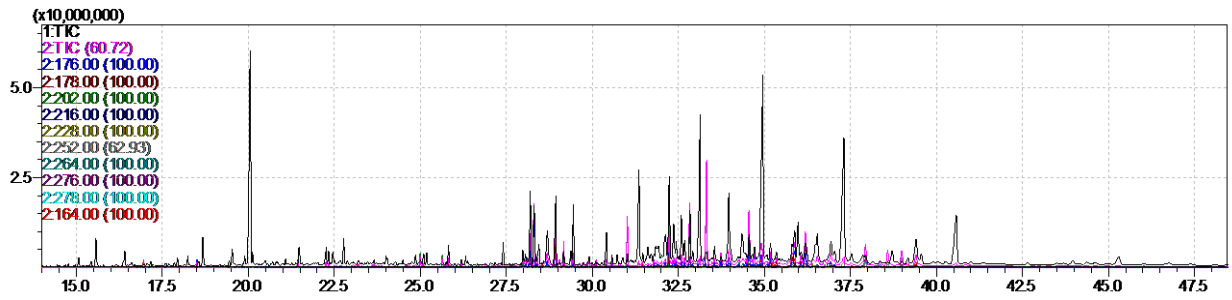
(ง)



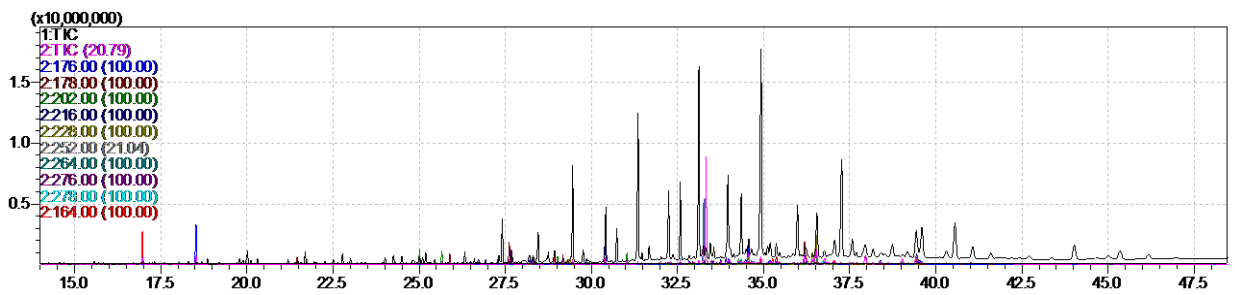
รูปที่ ก-2 โครมาโทแกรมสารอ้างอิงมาตรฐาน (SRM) ของ (ก) SRM 1 (ข) SRM 2

(ค) SRM 3 และ (ง) SRM 4

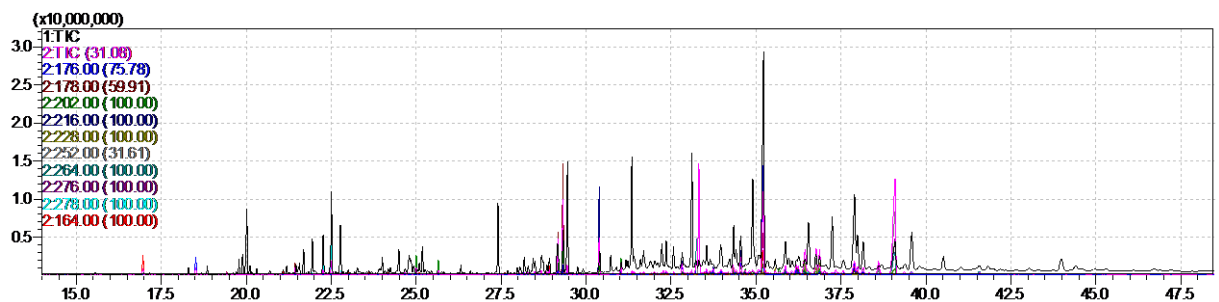
(ก)



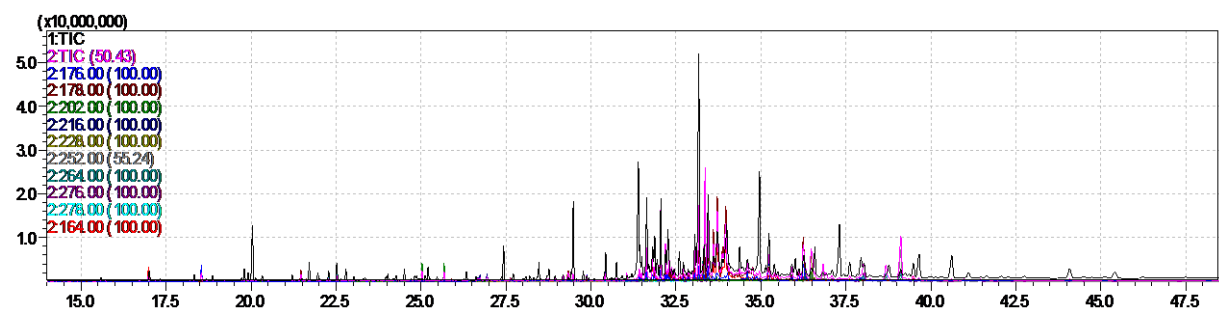
(ข)



(ค)



(ง)



รูปที่ ก-3 โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลน้อยของ (ก) สถานี SL109 (ข) สถานี SL308  
และโครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินจากทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีของ (ค) สถานี HK105  
(ง) สถานี HK213



## ภาคผนวก ข

## ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL101	11.89	1.97	13.73	16.96	1.91	3.27	2.71	3.91	17.86	2.44	6.58	31.40	34.20	1.11	19.41	1.11	34.20	11.81	169.37
SL102	15.14	2.61	21.17	36.96	2.56	4.64	3.17	4.68	24.60	2.56	10.19	49.38	51.44	0.91	49.19	0.91	51.44	20.02	279.20
SL103	18.20	2.90	25.10	29.53	4.16	7.52	5.08	7.47	20.69	2.72	7.43	35.66	39.20	1.17	20.85	1.17	39.20	15.12	227.67
SL104	16.54	2.75	21.66	25.17	3.68	6.30	3.55	5.73	25.02	2.85	8.24	41.22	39.22	1.07	24.37	1.07	41.22	15.53	227.36
SL105	27.09	4.68	65.93	197.31	4.73	6.69	3.51	7.47	69.04	16.07	7.12	143.76	239.17	1.09	424.01	1.09	424.01	93.33	1217.67
SL106	18.06	2.93	33.88	32.71	10.09	14.41	6.16	15.41	27.79	3.44	9.37	58.69	39.42	1.46	19.98	1.46	58.69	19.91	293.81
SL107	13.70	2.25	32.54	26.98	11.89	16.16	5.28	18.59	11.82	2.59	7.25	38.46	27.99	1.15	11.08	1.15	38.46	14.94	227.72
SL108	18.14	3.22	37.67	35.04	12.32	17.03	5.20	33.43	20.65	2.21	6.63	45.54	25.82	0.96	13.18	0.96	45.54	18.17	277.04
SL109	24.22	3.97	43.44	42.69	14.42	21.03	4.83	52.93	19.27	2.20	5.37	55.32	23.74	1.32	11.75	1.32	55.32	21.24	326.49
SL110	31.30	5.50	38.89	49.18	23.12	36.49	10.74	45.87	24.83	3.04	4.23	90.54	26.82	0.82	8.51	0.82	90.54	27.02	399.88

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.น.น.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL1 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL111	43.51	7.19	33.39	41.74	13.66	19.38	3.55	94.75	7.50	2.14	1.35	65.07	13.41	0.38	4.87	0.38	94.75	22.32	351.89
SL112	21.27	5.99	37.06	47.42	21.91	30.78	7.70	121.31	9.01	3.19	2.20	68.95	11.69	0.84	5.55	0.84	121.31	27.55	394.90
SL113	25.65	7.39	33.66	41.48	16.43	25.20	5.56	125.29	13.17	2.56	1.92	124.27	16.31	1.95	7.37	1.92	125.29	31.79	448.20
SL114	30.11	6.32	24.17	29.03	18.01	22.74	5.82	81.45	6.01	2.07	1.05	78.46	10.94	0.75	4.02	0.75	81.45	21.70	320.93
SL115	63.70	7.97	31.92	40.81	14.75	20.91	5.16	96.36	2.55	1.00	1.20	44.81	10.84	1.12	4.36	1.00	96.36	20.32	347.48
SL116	49.90	8.61	38.06	46.94	25.10	33.63	8.94	89.50	3.74	1.36	1.48	60.25	13.71	0.95	2.64	0.95	89.50	24.02	384.81
SL117	32.12	5.38	23.20	27.33	14.24	20.22	4.56	68.18	2.16	1.63	1.15	61.04	9.50	1.40	2.58	1.15	68.18	17.83	274.69
SL118	17.75	4.96	24.53	27.84	18.44	24.73	6.52	74.69	2.07	1.20	0.83	63.79	11.15	0.94	2.83	0.83	74.69	19.59	282.27
SL119	19.99	4.40	26.18	29.83	23.08	25.92	8.71	71.74	3.71	1.28	0.94	43.51	11.34	0.21	2.57	0.21	71.74	18.57	273.40
SL120	20.24	4.66	31.66	35.24	29.23	31.37	9.51	75.38	4.39	1.71	1.38	66.01	12.92	0.99	2.97	0.99	75.38	22.59	327.66
SL121	19.30	5.45	32.46	40.21	31.64	31.35	10.85	54.64	8.05	2.75	2.96	131.42	22.08	1.38	5.60	1.38	131.42	28.58	400.14
SL122	18.12	4.30	36.02	43.51	31.32	33.30	11.87	37.73	8.21	2.55	2.66	50.68	15.30	0.54	2.34	0.54	50.68	20.00	298.43
SL123	16.03	5.34	35.92	46.95	37.08	43.51	15.76	37.52	11.41	4.11	3.37	93.95	20.03	0.84	4.02	0.84	93.95	26.55	375.84

ตารางที่ ข-1 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL1 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL124	24.19	5.73	36.93	66.67	30.04	42.82	7.05	20.20	17.24	4.19	4.84	125.72	21.97	0.58	3.17	0.58	125.72	28.71	411.32
SL125	22.25	4.54	34.32	49.98	21.54	36.63	8.53	16.11	20.66	5.71	7.86	158.22	15.06	0.86	5.62	0.86	158.22	28.90	407.90
SL126	16.81	2.93	15.89	24.35	14.56	23.62	3.55	10.97	11.21	3.65	3.04	77.20	32.86	0.42	3.01	0.42	77.20	17.37	244.07
SL127	11.91	2.97	18.37	23.77	23.35	30.39	15.44	11.57	10.92	4.17	2.63	60.26	28.84	0.83	4.79	0.83	60.26	18.08	250.21
SL128	14.03	3.30	20.11	26.21	33.81	64.24	8.09	22.26	7.54	3.71	4.90	156.45	15.16	1.38	4.83	1.38	156.45	29.05	386.01
SL129	12.85	2.01	12.01	14.78	13.04	22.02	6.48	14.68	4.44	1.67	1.68	53.59	12.65	0.39	2.07	0.39	53.59	12.29	174.35
Average	23.24	4.56	30.34	41.26	17.93	24.70	7.03	45.51	14.33	3.13	4.13	74.95	29.41	0.96	23.36	0.96	74.95	23.89	344.85
S.D.	11.79	1.82	10.75	32.06	9.83	13.34	3.42	37.10	13.14	2.71	2.88	37.38	41.81	0.38	77.70	0.38	77.70	22.65	296.10

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL201	6.34	1.27	11.22	16.06	7.10	6.77	3.80	6.35	11.15	2.15	5.95	21.17	23.21	0.99	6.71	0.99	23.21	9.28	130.24
SL202	5.56	1.13	14.25	23.78	9.97	9.74	5.89	8.90	16.43	3.24	6.97	22.41	24.20	1.47	6.68	1.13	24.20	11.64	160.62
SL203	5.13	0.84	12.81	18.11	6.92	8.85	3.19	7.33	10.09	2.59	5.04	18.44	20.42	0.55	6.81	0.55	20.42	9.03	127.12
SL204	7.19	0.93	15.58	16.66	18.78	9.65	2.82	7.91	7.02	1.54	3.49	17.80	15.18	0.41	5.07	0.41	18.78	8.86	130.03
SL205	6.33	1.35	17.05	13.77	22.74	10.95	3.23	8.60	7.09	2.44	4.42	33.08	19.44	0.47	6.90	0.47	33.08	11.09	157.86
SL206	5.72	0.73	10.00	6.23	12.74	5.16	1.85	5.47	8.16	2.26	4.49	26.25	19.65	0.63	6.32	0.63	26.25	8.27	115.66
SL207	5.33	0.82	8.89	4.52	11.48	5.11	1.88	5.08	7.37	1.97	3.63	18.62	16.12	0.85	4.91	0.82	18.62	6.80	96.58
SL208	4.19	0.64	9.04	4.70	11.93	5.77	2.06	5.08	7.26	2.07	3.39	16.33	14.75	0.44	4.22	0.44	16.33	6.50	91.87
SL209	4.93	1.35	14.43	7.16	20.80	10.65	4.30	7.51	14.89	4.16	6.22	33.86	29.20	1.03	8.81	1.03	33.86	12.38	169.30
SL210	2.77	0.39	3.56	2.30	3.86	1.96	0.95	2.16	3.84	1.13	1.57	8.49	8.39	0.22	2.98	0.22	8.49	3.15	44.57
SL211	3.11	0.26	2.13	2.75	1.19	0.54	0.34	0.85	1.69	0.48	0.74	3.49	5.49	0.18	2.86	0.18	5.49	1.72	26.10
SL212	2.08	0.21	1.49	1.23	1.39	0.54	0.39	1.16	1.63	0.38	0.50	2.95	4.16	0.12	1.78	0.12	4.16	1.35	20.01
SL213	3.66	0.23	1.82	1.53	1.18	0.51	0.45	1.15	1.64	0.44	0.55	2.80	4.06	0.11	1.62	0.11	4.06	1.34	21.75

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL2 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL214	1.97	0.19	1.81	2.74	1.13	0.55	0.32	0.77	1.47	0.46	0.71	3.25	5.17	0.16	2.89	0.16	5.17	1.64	23.59
SL215	3.78	0.21	2.66	4.79	1.19	0.54	0.37	1.12	1.49	0.42	0.92	3.28	4.58	0.08	3.81	0.08	4.79	1.88	29.24
SL216	1.84	0.19	1.83	3.28	1.20	0.54	0.41	1.01	1.56	0.44	0.74	3.37	5.30	0.17	3.38	0.17	5.30	1.78	25.26
Average	4.37	0.67	8.04	8.10	8.35	4.86	2.02	4.40	6.42	1.64	3.08	14.72	13.71	0.49	4.73	0.49	14.72	6.04	85.61
S.D.	1.70	0.44	5.77	7.11	7.50	4.15	1.72	3.15	4.90	1.16	2.28	11.00	8.44	0.41	2.12	0.41	11.00	4.50	61.86

ตารางที่ ข-3 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.น.น.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL3

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL301	7.53	1.31	19.53	16.05	9.92	11.91	4.01	9.22	11.62	2.52	5.76	30.61	24.48	2.01	8.43	1.31	30.61	11.38	164.91
SL302	5.85	1.28	18.18	18.91	11.76	12.16	4.73	9.70	13.44	2.87	6.51	28.65	23.06	1.75	8.33	1.28	28.65	11.82	167.18
SL303	5.59	1.34	17.76	18.66	13.06	13.14	5.78	10.94	14.95	2.76	6.54	23.89	24.82	1.50	6.89	1.34	24.82	11.91	167.62
SL304	5.97	1.45	15.51	16.24	12.35	11.43	5.00	9.41	15.04	2.99	6.47	21.27	23.15	1.53	6.88	1.45	23.15	10.98	154.69
SL305	5.12	1.19	13.08	13.40	8.79	8.49	4.71	7.86	12.05	2.50	5.20	16.90	19.72	1.36	5.53	1.19	19.72	8.88	125.90
SL306	12.24	0.97	11.68	12.17	6.17	6.08	3.38	6.21	8.27	1.69	3.41	11.46	13.92	0.56	5.40	0.56	13.92	6.56	103.61
SL307	10.80	0.67	9.60	8.93	4.75	4.89	2.53	5.05	8.92	1.65	3.50	11.88	13.28	0.70	4.27	0.67	13.28	5.86	91.42
SL308	4.99	0.72	8.99	8.31	4.50	5.35	2.57	5.69	7.28	1.46	2.90	10.27	11.97	0.68	3.65	0.68	11.97	5.39	79.33
SL309	6.02	0.76	8.30	7.75	4.60	4.69	2.41	5.33	7.44	1.42	2.71	10.00	11.76	0.68	3.58	0.68	11.76	5.20	77.45
SL310	4.80	0.53	6.05	5.57	2.68	3.01	1.63	3.86	5.69	1.17	2.00	7.46	9.51	0.70	3.03	0.53	9.51	3.86	57.69
SL311	9.32	0.57	5.63	5.51	2.06	2.25	1.09	3.20	3.94	0.98	1.56	6.13	8.06	0.30	2.87	0.30	9.32	3.16	53.47
SL312	6.54	0.40	4.28	4.08	1.51	1.74	0.81	2.60	4.03	0.85	1.24	5.09	6.48	0.35	2.50	0.35	6.54	2.61	42.50
SL313	7.18	0.27	2.48	2.68	1.56	0.68	0.38	1.69	2.20	0.49	0.69	3.04	4.69	0.20	1.76	0.20	7.18	1.67	29.99

ตารางที่ ข-3 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้ยสถานี SL3 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL314	6.76	0.31	2.49	2.38	1.78	0.88	0.36	1.76	3.08	0.73	0.84	4.54	5.75	0.18	2.17	0.18	6.76	2.04	34.01
SL315	5.44	0.17	1.95	2.21	1.45	0.66	0.30	1.78	2.32	0.56	0.59	3.74	4.55	0.17	2.02	0.17	5.44	1.70	27.91
SL316	6.19	0.32	2.26	2.20	1.24	0.51	0.31	1.09	1.95	0.47	0.51	4.34	4.02	0.12	1.32	0.12	6.19	1.51	26.85
SL317	5.35	0.34	2.15	2.18	1.43	0.64	0.35	1.26	1.88	0.48	0.50	2.66	4.20	0.18	1.53	0.18	5.35	1.44	25.13
SL318	6.89	0.28	2.36	2.18	1.53	0.55	0.33	1.40	1.91	0.43	0.47	2.08	4.00	0.22	1.15	0.22	6.89	1.35	25.78
SL319	5.08	0.23	1.99	2.14	1.29	0.47	0.33	1.63	2.20	0.58	0.61	2.71	4.92	0.12	1.70	0.12	5.08	1.56	26.00
SL320	3.86	0.26	2.06	2.00	1.60	0.58	0.34	1.54	2.04	0.44	0.55	2.31	3.86	0.09	1.59	0.09	3.86	1.41	23.12
SL321	4.08	0.24	1.61	1.62	1.23	0.39	0.24	0.99	1.81	0.41	0.47	2.13	3.69	0.20	1.46	0.20	4.08	1.22	20.57
SL322	5.62	0.26	1.84	1.70	1.19	0.42	0.30	0.97	1.68	0.47	0.45	2.23	3.90	0.16	1.56	0.16	5.62	1.25	22.75
SL323	6.23	0.30	1.98	1.87	1.08	0.36	0.31	0.99	1.91	0.44	0.43	2.07	4.40	0.07	1.50	0.07	6.23	1.29	23.94
SL324	5.21	0.24	1.92	2.01	1.07	0.40	0.30	1.01	1.92	0.42	0.51	2.39	5.08	0.13	1.58	0.13	5.21	1.40	24.19
SL325	2.37	0.21	1.50	1.60	1.14	0.35	0.32	1.17	1.88	0.43	0.47	2.07	4.30	0.16	1.41	0.16	4.30	1.28	19.38
SL326	6.05	0.23	2.45	2.53	1.09	0.47	0.42	1.25	1.64	0.37	0.44	1.98	4.12	0.15	1.62	0.15	6.05	1.34	24.81

ตารางที่ ข-3 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	MEAN	ΣPAHs
SL327	6.58	0.24	2.08	1.98	1.00	0.34	0.25	0.90	1.43	0.30	0.47	1.78	3.86	0.16	1.34	0.16	6.58	1.15	22.71
SL328	5.14	0.33	2.04	1.96	1.09	0.36	0.34	1.02	1.68	0.35	0.43	1.82	4.30	0.12	1.43	0.12	5.14	1.24	22.41
Average	6.17	0.55	6.13	6.03	3.68	3.33	1.57	3.55	5.15	1.08	2.01	8.05	9.28	0.52	3.09	0.52	9.28	3.94	60.19
S.D.	1.98	0.41	5.84	5.76	3.86	4.25	1.79	3.22	4.52	0.88	2.16	8.54	7.24	0.57	2.25	0.41	8.54	3.75	51.33



ตารางที่ ข-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานภวาปีสถานี HK1

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK101	52.31	8.24	42.78	37.01	7.91	11.52	7.00	13.11	32.50	5.20	12.84	36.51	47.36	1.97	17.50	1.97	52.31	22.25	333.76
HK102	42.05	6.40	38.55	34.33	9.26	12.53	6.09	13.07	33.13	5.60	13.55	44.21	43.60	1.56	15.68	1.56	44.21	21.31	319.61
HK103	44.73	7.71	41.69	34.55	9.63	13.93	7.97	14.80	40.63	7.03	15.83	38.81	54.23	1.81	19.85	1.81	54.23	23.55	353.20
HK104	52.55	7.92	50.14	41.95	10.94	16.15	8.63	17.79	37.63	6.69	15.72	49.71	51.03	1.70	18.60	1.70	52.55	25.81	387.15
HK105	41.11	7.67	40.86	32.92	10.07	14.34	7.25	15.20	39.18	6.59	14.97	42.60	48.70	1.90	17.38	1.90	48.70	22.72	340.74
HK106	46.56	8.29	46.83	41.63	10.79	16.54	8.66	17.81	38.50	6.83	14.85	48.98	49.69	2.27	17.45	2.27	49.69	25.05	375.68
HK107	42.16	7.02	44.49	40.27	14.49	21.49	10.75	21.52	46.77	7.07	17.05	52.02	51.37	2.90	17.78	2.90	52.02	26.48	397.15
HK108	26.30	4.77	39.25	35.76	13.92	22.38	9.16	22.24	45.32	6.50	15.78	46.91	42.53	1.71	14.43	1.71	46.91	23.13	346.96
HK109	30.69	4.27	35.48	34.05	13.34	17.33	6.03	15.84	40.09	6.00	15.78	83.27	35.84	1.12	13.14	1.12	83.27	23.48	352.27
HK110	20.57	4.40	33.75	29.48	14.04	19.81	8.00	18.31	39.33	5.48	13.51	44.21	33.03	2.28	11.69	2.28	44.21	19.86	297.89
HK111	19.06	3.69	28.30	25.04	121.03	16.20	5.50	12.83	34.39	4.10	10.29	30.57	23.98	2.37	7.43	2.37	121.03	22.99	344.78
HK112	16.82	4.18	30.86	30.84	15.94	20.12	8.86	16.74	38.96	5.77	11.99	33.84	34.31	2.44	10.22	2.44	38.96	18.79	281.89
HK113	16.42	3.47	25.53	26.51	15.19	16.66	9.13	15.48	40.03	6.28	12.65	37.01	39.96	2.42	11.71	2.42	40.03	18.56	278.45

ตารางที่ ข-4 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK1 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK114	13.26	3.47	25.00	25.21	13.42	16.89	7.31	14.19	36.18	5.28	11.77	27.68	31.59	1.98	8.82	1.98	36.18	16.14	242.05
HK115	12.50	3.21	21.46	24.99	13.55	16.64	8.74	16.88	54.62	7.91	15.83	21.05	38.24	1.49	9.54	1.49	54.62	17.78	266.65
HK116	11.43	3.24	19.90	24.59	12.51	16.76	8.80	18.00	61.26	6.88	17.73	22.26	41.46	1.45	9.34	1.45	61.26	18.37	275.61
HK117	10.24	2.94	17.28	22.04	11.52	16.27	9.08	20.33	65.82	8.87	20.51	17.25	42.29	1.47	8.77	1.47	65.82	18.31	274.68
HK118	12.74	3.17	18.24	22.84	12.02	17.04	8.93	21.66	86.03	9.64	24.78	20.50	55.02	1.96	12.09	1.96	86.03	21.78	326.66
HK119	14.89	3.70	20.74	26.02	14.77	21.19	11.79	30.53	109.44	14.18	31.63	24.37	62.31	2.05	11.62	2.05	109.44	26.62	399.23
HK120	10.33	3.58	20.16	25.88	15.18	22.52	12.03	30.98	120.05	15.39	32.62	23.41	63.40	2.23	11.78	2.23	120.05	27.30	409.54
HK121	13.84	4.84	29.45	40.86	25.68	36.47	22.39	63.46	203.18	25.89	54.07	30.88	100.99	3.70	16.84	3.70	203.18	44.84	672.54
HK122	18.26	4.20	26.04	36.83	22.92	31.32	17.51	52.60	194.65	20.73	51.83	29.71	76.31	3.07	13.18	3.07	194.65	39.94	599.16
HK123	17.90	4.59	27.14	40.51	26.94	34.43	18.65	54.75	192.10	23.35	51.71	29.83	97.45	2.93	17.81	2.93	192.10	42.67	640.09
HK124	15.49	4.92	30.78	47.83	29.02	41.14	24.97	73.20	274.03	37.04	73.47	38.48	135.59	4.35	23.47	4.35	274.03	56.92	853.78
HK125	21.23	5.78	35.17	62.07	42.12	58.30	34.97	99.70	382.79	42.83	93.67	42.41	159.70	5.74	25.16	5.74	382.79	74.11	1111.64
HK126	24.14	6.02	38.85	64.66	39.08	55.50	32.19	98.17	355.13	43.53	84.50	43.37	128.79	4.25	20.17	4.25	355.13	69.22	1038.35
Average	24.91	5.07	31.87	34.95	20.97	23.21	12.32	31.12	101.61	13.10	28.81	36.92	61.11	2.43	14.67	2.43	101.61	29.54	443.06
S.D.	14.03	1.77	9.52	10.92	22.23	12.39	7.97	25.91	102.27	11.87	24.08	13.77	34.93	1.06	4.69	1.06	102.27	19.83	297.42

ตารางที่ ข-5 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.น.น.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK201	37.12	6.49	36.79	36.79	12.57	16.21	6.77	13.45	32.72	5.28	12.70	29.75	50.18	1.04	17.11	1.04	50.18	21.00	314.97
HK202	38.12	6.89	41.10	42.70	16.39	20.84	8.14	16.71	31.26	5.02	12.84	27.12	48.09	1.33	16.16	1.33	48.09	22.18	332.71
HK203	37.86	6.43	36.04	37.28	10.53	14.43	7.16	13.47	24.87	4.22	10.54	23.34	43.23	2.03	15.31	2.03	43.23	19.12	286.74
HK204	36.31	6.56	37.60	43.29	19.59	25.01	8.81	18.98	35.78	5.62	12.53	29.79	45.91	1.47	15.07	1.47	45.91	22.82	342.32
HK205	19.12	5.20	36.68	43.45	26.56	31.99	8.14	20.19	36.87	4.51	10.80	38.24	37.12	2.42	10.42	2.42	43.45	22.11	331.71
HK206	22.74	5.41	43.94	42.50	24.50	29.40	8.22	16.18	35.95	5.17	10.44	48.70	40.23	1.64	13.17	1.64	48.70	23.21	348.19
HK207	22.92	5.77	44.02	42.02	22.08	29.39	9.20	17.01	45.18	3.95	12.37	47.35	43.97	0.88	12.39	0.88	47.35	23.90	358.50
HK208	26.72	6.33	43.45	43.28	18.66	25.76	9.41	17.75	47.61	6.21	16.68	56.55	52.34	2.50	14.07	2.50	56.55	25.82	387.32
HK209	34.35	5.72	45.81	45.25	18.51	26.13	9.63	20.19	55.02	5.95	16.88	28.13	46.11	2.35	11.82	2.35	55.02	24.79	371.85
HK210	26.05	6.73	41.21	38.38	15.96	26.20	10.10	20.58	66.26	7.71	22.34	38.72	57.72	2.60	13.77	2.60	66.26	26.29	394.33
HK211	17.95	3.93	26.01	22.57	9.26	15.21	4.45	13.01	36.86	4.95	13.46	16.06	32.11	0.75	7.71	0.75	36.86	14.95	224.29
HK212	17.81	4.10	28.03	22.54	9.89	18.46	6.84	15.54	50.86	6.66	16.74	24.72	40.50	0.84	10.43	0.84	50.86	18.26	273.96
HK213	16.97	3.20	21.53	18.92	9.82	14.52	5.01	14.61	42.75	5.57	15.63	18.81	37.46	2.25	8.36	2.25	42.75	15.69	235.41

ตารางที่ ข-5 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK2 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK214	11.98	2.87	18.67	17.10	9.25	13.32	4.95	14.72	38.79	6.31	15.46	17.02	36.45	1.03	7.57	1.03	38.79	14.37	215.49
HK215	15.03	1.75	12.35	12.55	7.08	8.54	3.78	11.91	38.35	5.05	13.39	12.43	29.55	0.87	5.46	0.87	38.35	11.87	178.09
HK216	17.22	1.54	12.51	12.94	5.42	8.82	4.48	12.31	36.46	4.15	12.79	12.51	23.98	0.56	4.75	0.56	36.46	11.36	170.44
Average	24.89	4.93	32.86	32.60	14.75	20.26	7.19	16.04	40.97	5.40	14.10	29.33	41.56	1.54	11.47	1.54	41.56	19.86	297.90
S.D.	9.10	1.80	11.44	12.34	6.44	7.55	2.09	2.89	10.13	1.01	3.08	13.36	8.76	0.72	3.83	0.72	13.36	6.30	94.54

ตารางที่ ข-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.น.น.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK301	26.98	3.86	27.09	24.83	7.05	12.13	5.86	13.32	19.14	3.79	8.13	14.16	24.43	1.60	10.36	1.60	27.09	13.52	202.73
HK302	26.13	3.72	23.35	20.70	3.61	9.22	3.50	4.38	12.27	3.18	7.53	13.52	24.94	1.61	11.38	1.61	26.13	11.27	169.04
HK303	35.00	5.00	29.63	26.30	2.60	4.76	3.57	4.03	13.17	3.58	7.80	15.92	37.00	1.50	14.84	1.50	37.00	13.65	204.70
HK304	27.07	3.15	24.32	20.25	2.25	3.88	3.14	2.32	9.46	2.70	5.64	13.98	27.89	1.42	12.58	1.42	27.89	10.67	160.05
HK305	21.84	2.84	19.54	15.50	1.91	3.01	2.38	5.82	9.90	2.51	5.26	12.62	24.03	2.06	10.50	1.91	24.03	9.31	139.72
HK306	17.54	2.29	15.06	12.61	1.68	2.60	1.93	4.26	8.15	1.83	4.65	9.48	19.00	1.18	8.72	1.18	19.00	7.40	110.98
HK307	18.95	2.75	16.42	15.04	2.64	4.43	2.88	5.52	7.77	1.75	4.68	10.75	19.30	1.29	7.92	1.29	19.30	8.14	122.09
HK308	20.58	3.24	16.70	14.51	4.17	6.47	3.09	2.37	11.22	1.94	4.71	12.02	17.41	1.78	6.83	1.78	20.58	8.47	127.04
HK309	22.04	1.36	18.04	14.15	3.99	6.19	2.39	7.19	13.96	2.01	6.32	9.56	17.25	4.47	6.93	1.36	22.04	9.06	135.85
HK310	17.65	2.47	16.50	10.67	3.42	5.13	2.69	7.31	13.48	2.15	4.86	21.30	18.27	1.30	5.66	1.30	21.30	8.86	132.86
HK311	15.28	2.35	20.17	10.84	4.35	6.30	2.53	3.38	14.38	2.50	4.61	23.86	16.46	2.05	5.32	2.05	23.86	8.96	134.38
HK312	14.89	2.61	25.28	13.70	4.86	6.90	2.84	8.61	12.22	2.07	4.09	23.96	16.74	1.47	5.77	1.47	25.28	9.73	146.01
HK313	13.06	3.10	29.55	16.87	6.41	9.63	3.32	8.70	14.33	2.14	4.76	24.11	18.57	1.81	6.88	1.81	29.55	10.88	163.24

ตารางที่ ข-6 ปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดและปริมาณความเข้มข้นรวมสาร PAHs (นกก./ก.นน.แห้ง) ในตะกอนดินทะเลสาบหนองหานกุมภวาปีสถานี HK3 (ต่อ)

สถานี	Phe	An	Fluo	Pyr	11H-B[a]F	11H-B[b]F	B[a]A	Chry	B[b]F	B[k]F	B[e]P	B[a]P	Ind	D[a,h]A	B[g,h,i]P	Min	Max	Mean	ΣPAHs
HK314	21.09	5.75	51.73	34.12	16.51	20.13	6.00	14.79	26.39	3.37	7.86	38.18	26.96	1.12	8.75	1.12	51.73	18.85	282.75
HK315	18.13	5.23	29.14	21.58	10.61	13.48	3.85	7.96	51.00	5.96	13.34	23.33	36.10	1.72	9.77	1.72	51.00	16.75	251.20
HK316	17.56	6.75	39.37	34.74	21.85	28.29	10.49	19.54	55.25	6.37	16.83	25.09	39.40	1.75	9.82	1.75	55.25	22.21	333.10
HK317	23.06	9.75	56.85	51.44	39.31	49.53	18.22	33.58	82.78	10.17	26.63	26.61	63.12	1.66	13.57	1.66	82.78	33.75	506.28
HK318	26.46	13.32	68.71	55.31	45.22	56.93	24.73	41.86	113.42	14.16	34.05	33.28	80.10	2.50	16.31	2.50	113.42	41.76	626.36
HK319	19.21	7.52	52.57	37.13	32.30	44.39	17.75	41.40	127.85	15.68	35.70	26.75	77.85	2.86	14.03	2.86	127.85	36.87	552.99
HK320	19.90	9.23	55.60	40.89	38.77	48.77	21.45	44.84	147.86	17.73	39.61	40.20	105.14	2.59	17.50	2.59	147.86	43.34	650.08
Average	21.12	4.81	31.78	24.56	12.68	17.11	7.13	14.06	38.20	5.28	12.35	20.93	35.50	1.89	10.17	1.89	38.20	17.17	257.57
S.D.	5.21	3.09	16.39	13.41	14.51	18.02	7.25	14.30	44.22	5.02	11.73	9.25	25.55	0.77	3.64	0.77	44.22	12.82	192.37

## ภาคผนวก ค

## ค่าอัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดิน

ตารางที่ ค-1 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL1

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL101	0.45	0.64	0.41	0.14	6.05	0.69	0.81
SL102	0.36	0.51	0.40	0.15	5.80	0.68	0.57
SL103	0.46	0.65	0.40	0.14	6.28	0.68	0.85
SL104	0.46	0.62	0.38	0.14	6.02	0.62	0.86
SL105	0.25	0.36	0.32	0.15	5.78	0.47	0.33
SL106	0.51	0.66	0.29	0.14	6.16	0.40	1.04
SL107	0.55	0.72	0.22	0.14	6.08	0.28	1.21
SL108	0.52	0.66	0.13	0.15	5.63	0.16	1.08
SL109	0.50	0.67	0.08	0.14	6.10	0.09	1.02
SL110	0.44	0.76	0.19	0.15	5.69	0.23	0.79
SL111	0.44	0.73	0.04	0.14	6.05	0.04	0.80
SL112	0.44	0.68	0.06	0.22	3.55	0.06	0.78
SL113	0.45	0.69	0.04	0.22	3.47	0.04	0.81
SL114	0.45	0.73	0.07	0.17	4.76	0.07	0.83
SL115	0.44	0.71	0.05	0.11	7.99	0.05	0.78
SL116	0.45	0.84	0.09	0.15	5.79	0.10	0.81
SL117	0.46	0.79	0.06	0.14	5.97	0.07	0.85
SL118	0.47	0.80	0.08	0.22	3.58	0.09	0.88
SL119	0.47	0.82	0.11	0.18	4.55	0.12	0.88
SL120	0.47	0.81	0.11	0.19	4.34	0.13	0.90

ตารางที่ ค-1 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้ยสถานีส  
SL1 (ต่อ)

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL121	0.45	0.80	0.17	0.22	3.54	0.20	0.81
SL122	0.45	0.87	0.24	0.19	4.21	0.31	0.83
SL123	0.43	0.83	0.30	0.25	3.00	0.42	0.77
SL124	0.36	0.87	0.26	0.19	4.22	0.35	0.55
SL125	0.41	0.73	0.35	0.17	4.90	0.53	0.69
SL126	0.39	0.92	0.24	0.15	5.73	0.32	0.65
SL127	0.44	0.86	0.57	0.20	4.00	1.33	0.77
SL128	0.43	0.76	0.27	0.19	4.26	0.36	0.77
SL129	0.45	0.86	0.31	0.14	6.39	0.44	0.81

ตารางที่ ค-2 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้ยสถานีส  
SL2

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL201	0.41	0.78	0.37	0.17	4.99	0.60	0.70
SL202	0.37	0.78	0.40	0.17	4.92	0.66	0.60
SL203	0.41	0.75	0.30	0.14	6.11	0.44	0.71
SL204	0.48	0.75	0.26	0.11	7.73	0.36	0.94
SL205	0.55	0.74	0.27	0.18	4.69	0.38	1.24
SL206	0.62	0.76	0.25	0.11	7.84	0.34	1.61
SL207	0.66	0.77	0.27	0.13	6.50	0.37	1.97
SL208	0.66	0.78	0.29	0.13	6.55	0.41	1.92
SL209	0.67	0.77	0.36	0.21	3.65	0.57	2.02



ตารางที่ ค-2 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL2 (ต่อ)

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL210	0.61	0.74	0.31	0.12	7.10	0.44	1.55
SL211	0.44	0.66	0.29	0.08	11.96	0.40	0.77
SL212	0.55	0.70	0.25	0.09	9.90	0.34	1.21
SL213	0.54	0.71	0.28	0.06	15.91	0.39	1.19
SL214	0.40	0.64	0.29	0.09	10.37	0.42	0.66
SL215	0.36	0.55	0.25	0.05	18.00	0.33	0.56
SL216	0.36	0.61	0.29	0.09	9.68	0.41	0.56

ตารางที่ ค-3 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL301	0.55	0.74	0.30	0.15	5.75	0.43	1.22
SL302	0.49	0.73	0.33	0.18	4.57	0.49	0.96
SL303	0.49	0.78	0.35	0.19	4.17	0.53	0.95
SL304	0.49	0.77	0.35	0.20	4.12	0.53	0.96
SL305	0.49	0.78	0.37	0.19	4.30	0.60	0.98
SL306	0.49	0.72	0.35	0.07	12.62	0.54	0.96
SL307	0.52	0.76	0.33	0.06	16.12	0.50	1.08
SL308	0.52	0.77	0.31	0.13	6.93	0.45	1.08
SL309	0.52	0.77	0.31	0.11	7.92	0.45	1.07
SL310	0.52	0.76	0.30	0.10	9.06	0.42	1.09
SL311	0.51	0.74	0.25	0.06	16.35	0.34	1.02

ตารางที่ ค-3 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลน้อยสถานี SL3 (ต่อ)

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
SL312	0.51	0.72	0.24	0.06	16.35	0.31	1.05
SL313	0.48	0.73	0.18	0.04	26.59	0.22	0.93
SL314	0.51	0.73	0.17	0.04	21.81	0.20	1.05
SL315	0.47	0.69	0.14	0.03	32.00	0.17	0.88
SL316	0.51	0.75	0.22	0.05	19.34	0.28	1.03
SL317	0.50	0.73	0.22	0.06	15.74	0.28	0.99
SL318	0.52	0.78	0.19	0.04	24.61	0.24	1.08
SL319	0.48	0.74	0.17	0.04	22.09	0.20	0.93
SL320	0.51	0.71	0.18	0.06	14.85	0.22	1.03
SL321	0.50	0.72	0.20	0.06	17.00	0.24	0.99
SL322	0.52	0.71	0.24	0.04	21.62	0.31	1.08
SL323	0.51	0.75	0.24	0.05	20.77	0.31	1.06
SL324	0.49	0.76	0.23	0.04	21.71	0.30	0.96
SL325	0.48	0.75	0.21	0.08	11.29	0.27	0.94
SL326	0.49	0.72	0.25	0.04	26.30	0.34	0.97
SL327	0.51	0.74	0.22	0.04	27.42	0.28	1.05
SL328	0.51	0.75	0.25	0.06	15.58	0.33	1.04

ตารางที่ ค-4 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบ  
หนองหานกุมภวาปีสถานี HK1

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
HK101	0.54	0.73	0.35	0.14	6.35	0.53	1.16
HK102	0.53	0.74	0.32	0.13	6.57	0.47	1.12
HK103	0.55	0.73	0.35	0.15	5.80	0.54	1.21
HK104	0.54	0.73	0.33	0.13	6.64	0.49	1.20
HK105	0.55	0.74	0.32	0.16	5.36	0.48	1.24
HK106	0.53	0.74	0.33	0.15	5.62	0.49	1.12
HK107	0.52	0.74	0.33	0.14	6.01	0.50	1.10
HK108	0.52	0.75	0.29	0.15	5.51	0.41	1.10
HK109	0.51	0.73	0.28	0.12	7.19	0.38	1.04
HK110	0.53	0.74	0.30	0.18	4.68	0.44	1.14
HK111	0.53	0.76	0.30	0.16	5.17	0.43	1.13
HK112	0.50	0.77	0.35	0.20	4.02	0.53	1.00
HK113	0.49	0.77	0.37	0.17	4.73	0.59	0.96
HK114	0.50	0.78	0.34	0.21	3.82	0.52	0.99
HK115	0.46	0.80	0.34	0.20	3.89	0.52	0.86
HK116	0.45	0.82	0.33	0.22	3.53	0.49	0.81
HK117	0.44	0.83	0.31	0.22	3.48	0.45	0.78
HK118	0.44	0.82	0.29	0.20	4.02	0.41	0.80
HK119	0.44	0.84	0.28	0.20	4.02	0.39	0.80
HK120	0.44	0.84	0.28	0.26	2.89	0.39	0.78
HK121	0.42	0.86	0.26	0.26	2.86	0.35	0.72
HK122	0.41	0.85	0.25	0.19	4.35	0.33	0.71
HK123	0.40	0.85	0.25	0.20	3.90	0.34	0.67

ตารางที่ ค-4 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบ  
หนองหานกุมภวาปีสถานี HK1 (ต่อ)

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
HK124	0.39	0.85	0.25	0.24	3.15	0.34	0.64
HK125	0.36	0.86	0.26	0.21	3.67	0.35	0.57
HK126	0.38	0.86	0.25	0.20	4.01	0.33	0.60

ตารางที่ ค-5 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบ  
หนองหานกุมภวาปีสถานี HK2

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
HK201	0.50	0.75	0.33	0.15	5.72	0.50	1.00
HK202	0.49	0.75	0.33	0.15	5.53	0.49	0.96
HK203	0.49	0.74	0.35	0.15	5.89	0.53	0.97
HK204	0.46	0.75	0.32	0.15	5.54	0.46	0.87
HK205	0.46	0.78	0.29	0.21	3.68	0.40	0.84
HK206	0.51	0.75	0.34	0.19	4.20	0.51	1.03
HK207	0.51	0.78	0.35	0.20	3.97	0.54	1.05
HK208	0.50	0.79	0.35	0.19	4.22	0.53	1.00
HK209	0.50	0.80	0.32	0.14	6.01	0.48	1.01
HK210	0.52	0.81	0.33	0.21	3.87	0.49	1.07
HK211	0.54	0.81	0.25	0.18	4.57	0.34	1.15
HK212	0.55	0.80	0.31	0.19	4.34	0.44	1.24
HK213	0.53	0.82	0.26	0.16	5.30	0.34	1.14
HK214	0.52	0.83	0.25	0.19	4.17	0.34	1.09
HK215	0.50	0.84	0.24	0.10	8.59	0.32	0.98
HK216	0.49	0.83	0.27	0.08	11.18	0.36	0.97

ตารางที่ ค-6 ค่าอัตราส่วนที่ใช้ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินทะเลสาบ  
หนองหานกุมภวาปีสถานี HK3

อัตราส่วน สถานี	Fluo/ (Fluo+Pyr)	Ind/ (Ind+B[ghi]P)	B[a]A/ (B[a]A+Chry)	An/ (An+Phe)	Phe/An	B[a]A/Chry	Fluo/pry
HK301	0.52	0.70	0.31	0.13	6.99	0.44	1.09
HK302	0.53	0.69	0.44	0.12	7.02	0.80	1.13
HK303	0.53	0.71	0.47	0.13	7.00	0.89	1.13
HK304	0.55	0.69	0.58	0.10	8.59	1.35	1.20
HK305	0.56	0.70	0.29	0.12	7.69	0.41	1.26
HK306	0.54	0.69	0.31	0.12	7.66	0.45	1.19
HK307	0.52	0.71	0.34	0.13	6.89	0.52	1.09
HK308	0.54	0.72	0.57	0.14	6.35	1.30	1.15
HK309	0.56	0.71	0.25	0.06	16.21	0.33	1.27
HK310	0.61	0.76	0.27	0.12	7.15	0.37	1.55
HK311	0.65	0.76	0.43	0.13	6.50	0.75	1.86
HK312	0.65	0.74	0.25	0.15	5.70	0.33	1.85
HK313	0.64	0.73	0.28	0.19	4.21	0.38	1.75
HK314	0.60	0.75	0.29	0.21	3.67	0.41	1.52
HK315	0.57	0.79	0.33	0.22	3.47	0.48	1.35
HK316	0.53	0.80	0.35	0.28	2.60	0.54	1.13
HK317	0.52	0.82	0.35	0.30	2.37	0.54	1.11
HK318	0.55	0.83	0.37	0.33	1.99	0.59	1.24
HK319	0.59	0.85	0.30	0.28	2.55	0.43	1.42
HK320	0.58	0.86	0.32	0.32	2.16	0.48	1.36

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายณัฐพงษ์ เอียดเต็ม

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5910920011

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี	2557
(วิทยาการสิ่งแวดล้อมและ ทรัพยากรธรรมชาติ)	ราชมงคลพระนคร	

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ณัฐพงษ์ เอียดเต็ม, ดนัย ทิพย์มณี และศิวัช พงเพียงจันทร์. 2561. การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติไฮโดรคาร์บอนในแท่งตะกอนดินทะเลน้อยและทะเลสาบหนองหานกุมภวาปี. ในเอกสารประกอบ การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 17 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 24-25 พฤษภาคม พ.ศ.2561 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี.

ladtem N. , Tipmanee D. , Pongpiapun S. , Suttinun O., & Deelaman W. 2018. Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Carbon Compositions in Lake Sediment Cores of Thale Noi, Phatthalung. THA2019 International Conference on Water Management and Climate Change towards Asia's Water-Energy-Food Nexus and SDGs 23-25 January 2019 Bangkok, Thailand.

Pongpiachan S., Tipmanee D., Choochuay C., Hattayanone M., Deelaman W., ladtem N., Bunsomboonsakul S., Palakun J., Poshyachinda S., Leckngam A., Somboonpon P., Panyaphirawat T., Aukkaravittayapun S., Wang Q., Xing L., Li G., Han Y. & Cao J. 2018. Vertical profile of organic and elemental carbon in sediments of Songkhla Lake, Thailand. The Japanese Society of Limnology 2019.