

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา

เกาะสีชังเป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัดชลบุรี มี 1 ตำบล คือ ตำบลท่าเทววงษ์ โดยมีพื้นที่ประมาณ 7.9 ตารางกิโลเมตร (เฉพาะพื้นดิน) เกาะสีชังตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนใน ตรงกันข้ามกับอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ห่างกันประมาณ 12 กิโลเมตรและอยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 117 กิโลเมตร

2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอเกาะสีชัง

เกาะสีชังมีเกาะบริวารน้อยใหญ่รวม 8 เกาะ คือ เกาะขามใหญ่ เกาะขามน้อย เกาะปรัง เกาะร้านดอกไม้ เกาะยายท้าว เกาะค่างควาว เกาะท้ายตานหิน และเกาะสัมปันธ์ โดยเกาะสีชังมีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอและจังหวัดใกล้เคียงดังนี้

- ทิศเหนือ จรดทะเลเขตอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
- ทิศใต้ จรดทะเลเขตอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี
- ทิศตะวันออก จรดทะเลเขตอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
- ทิศตะวันตก จรดทะเลเขตอำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

2.1.2 สภาพภูมิประเทศของเกาะสีชัง

เกาะสีชังมีสภาพภูมิประเทศเป็นเกาะโดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา ไร่หิน และหาดทราย มีพื้นที่ทำการเพาะปลูกเพียงเล็กน้อย ไม่มีแหล่งน้ำ ลำธารและหนองบึง บริเวณที่เป็นจุดสูงสุดคือ บริเวณเขาใหญ่ ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของเกาะสีชัง โดยมีความสูงประมาณ 192 เมตร ทั้งนี้สภาพของเกาะสีชังจะมีความลาดชันและความสูง ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความลาดชันของพื้นที่เกาะสีชัง

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (%)	ครอบคลุมพื้นที่ (%)
ต่ำกว่า 10 %	30%
10 - 20 %	26%
เกิน 20%	44%

ที่มา: <http://www.chonburi.go.th>

ตารางที่ 2.2 ความสูงของพื้นที่เกาะสีชัง

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)	ครอบคลุมพื้นที่ (%)
0 - 50	67
5 - 100	26
100 - 150	6
150 เมตรขึ้นไป	1

ที่มา: <http://www.chonburi.go.th>

2.1.3 ลักษณะภูมิอากาศของเกาะสีชัง

ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุมมี 3 ฤดู คือ

- ฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงมิถุนายน
- ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม
- ฤดูหนาว ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์

2.1.4 ข้อมูลด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของเกาะสีชัง

เกาะสีชังไม่มีป่าไม้เศรษฐกิจ แต่จะมีลักษณะของป่าไม้ภูเขากรือ เช่น ไม้ที่ขึ้นตามภูเขาทั่วไปในภาคกลาง ซึ่งพันธุ์ไม้เหล่านี้จะมีทั้งไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม และไม้คลุมดินขึ้นคละกันไป

สัตว์บนเกาะสีชังที่พบเห็นได้แก่ ลิง กระรอกขาว นกนานาชนิด และสัตว์เลื้อยคลาน

พื้นที่ส่วนใหญ่ของเกาะสีชังเป็นโขดหิน มีความลาดชันและมีหน้าดินบางมาก พื้นที่แห้งแล้งกันดารไม่มีแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ห้วย หนอง คลองบึงและไม่มีแหล่งน้ำใต้ดิน จะมีก็แต่เพียงแอ่งน้ำเล็กๆ ที่เกิดจากน้ำฝนที่ไหลจากที่สูงลงที่ต่ำ เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา และพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินและมีความลาดชันมาก จึงทำให้น้ำฝนไหลในลักษณะเป็นน้ำไหลล้นไปตามพื้นผิวอย่างรวดเร็ว

ดินบนเกาะสีชังมีลักษณะที่เรียกว่า "RED SANDY LOAM TEXTURE" ซึ่งเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร แต่มีความตื้นมากเพราะมีต้นกำเนิดมาจากหินปูน ดินถูกปกคลุมด้วยหญ้าและต้นไม้ แร่ธาตุในดินถูกน้ำกัดเซาะและตกตะกอน

เกาะสีชังมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาเป็นภูเขาหินโดยมีพื้นที่บนเกาะส่วนใหญ่เป็นหินปูนประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และมีหินอัคนีอยู่บ้างทางด้านทิศตะวันออกของเกาะบริเวณแหลมท่าวังและทางด้านทิศตะวันตกของเกาะบริเวณปลายแหลมทางตอนใต้

ในบริเวณเกาะสีชังสามารถพบปะการังที่ค่อนข้างสมบูรณ์และจะอยู่รวมกันเป็นแนวปะการังรอบเกาะสีชัง นอกจากเกาะสีชังจะมีปะการังที่อยู่อาศัยรวมกันเป็นกลุ่มก้อนและเป็นแนวแล้ว ยังมีปะการังชนิดพิเศษที่พบเฉพาะในบริเวณนี้เท่านั้น คือ ปะการังเดี่ยวๆ ขนาดเล็ก

อัตราการผลิตขยะมูลฝอยประมาณ 10 – 20 ตัน/วัน และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากประชากรและนักท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น สำหรับองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลตำบลเกาะสีชัง และเทศบาลตำบลเกาะสีชังไม่มีการกำจัดขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธี โดยขณะนี้จะกำจัดในลักษณะเทกองบนพื้นแล้วเผา

ส่วนใหญ่ประชาชนจะระบายน้ำเสียที่ใช้จากครัวเรือนลงสู่ที่ลุ่ม/ที่ต่ำ โดยระบบซึมผ่านพื้นดินหรือท่อระบายน้ำลงสู่ทะเล สำหรับน้ำเสียจากบ้านเรือนในขณะนี้เริ่มมีปริมาณมากขึ้น เนื่องจากมีประชากรเพิ่มขึ้น

เกาะสีชังได้รับฝุ่นละอองจากการย่อยหินและบางฤดูที่มีลมพัดเข้าสู่เกาะสีชังก็จะได้รับฝุ่นละอองเป่ามันสำปะหลัง ถ่านหินและปูนซีเมนต์จากการขนถ่ายแบบเทกองของเรือสินค้าขนาดใหญ่ลงสู่เรือลากจูงเล็ก

2.1.5 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นท่าเทียบเรือธรรมชาติทะเลบริเวณหน้าเกาะสีชัง อันเป็นที่รู้จักของนักเดินเรือทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศมามากกว่า 200 ปี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพทะเลระหว่างเกาะสีชังและเกาะขามใหญ่ มีลักษณะเหมาะสมแก่การทอดสมอเรือทั้งลักษณะความกว้างของพื้นผิวน้ำที่กว้างใหญ่ถึง 10 กิโลเมตร ความลึกของน้ำทะเลระหว่าง 6 – 30 เมตรและมีตัวเกาะเป็นกำบังลมอย่างดี จึงเป็นบริเวณที่มีการจอดเรือบรรทุกน้ำมันและเรือสินค้าขนาดใหญ่เป็นระยะเวลายาวนาน สำหรับขนถ่ายสินค้า ทั้งมีการขนถ่ายสินค้าเกษตร การขนถ่ายสินค้าอุตสาหกรรม และการขนถ่ายถ่านหินกลางทะเลเกาะสีชัง โดยเป็นการขนถ่ายถ่านหินแบบเทกองจากเรือใหญ่ เพื่อนำต่อไปยังแหล่งใช้จำนวนมาก โดยบริเวณนี้มีเรือบรรทุกขนาดใหญ่ และขนาดเล็กที่จอดขนถ่ายสินค้ากลางทะเลตลอดปี รวมทั้งการล้างถังน้ำมัน การรั่วไหลของน้ำมันขณะขนถ่าย และการทิ้งน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่ทะเล

2.2 พอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

พอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAHs) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ Polynuclear Aromatic Hydrocarbons หรือ Polyarenes เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปในลักษณะที่เป็นเส้นตรง มุมหรือรวมกันเป็นกลุ่ม และมีเฉพาะ C และ H เท่านั้นที่เป็นองค์ประกอบ และมักจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน แหล่งกำเนิดของ PAHs คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมันและแก๊ส ชยะและอินทรีย์สารต่างๆ กิจกรรมการเผาไหม้ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ (anthropogenic source) และการเผาไหม้ของป่า (Dung, 1996) โดย PAHs หลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง (Grariviat, 1999) และสามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน ซึ่ง PAHs มีมากกว่า 100 ชนิด แต่ละตัวมีผลกระทบต่อสุขภาพไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการละลายน้ำและโครงสร้างโมเลกุล

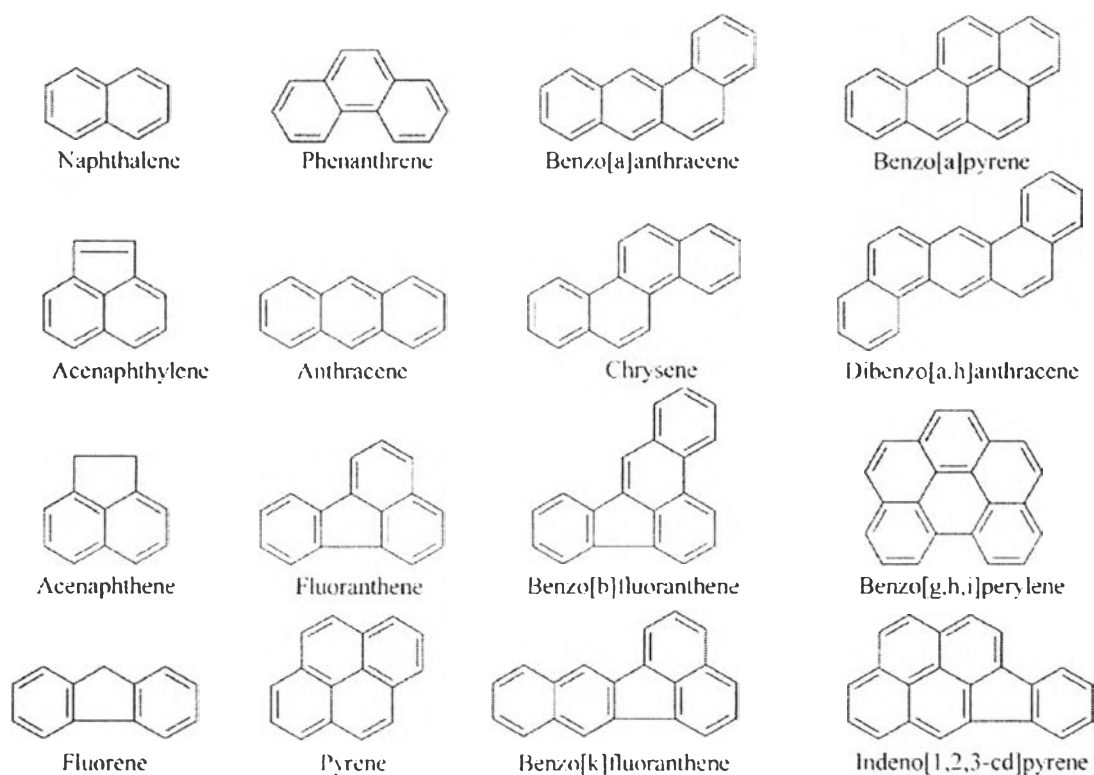
PAHs มีการปนเปื้อนอยู่ทุกหนทุกแห่ง และปกติอยู่ในรูปของผสมที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ น้ำที่ไหลผ่านถนน น้ำทิ้งจากชุมชน และอนุภาคที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ (ซีเมนต์และเซมา) รวมถึงแหล่งที่มาอื่นๆ ด้วย

PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 2-3 วง (น้ำหนักระหว่าง 128 – 178) มีสถานะเป็นแก๊ส ส่วน PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 4 วงขึ้นไป (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 202 หรือมากกว่า) สามารถพบได้ทั้ง 3 สถานะ คือ แก๊ส ของเหลวและของแข็ง (Jongeneelan, 2001) โดย PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยเช่น ไพรีน มักพบอยู่กับอนุภาคที่ระเหยได้อยู่ในอากาศ ในขณะที่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากมักเกาะติดอยู่กับอนุภาคของสารในอากาศ แล้วตกลงบนพื้นดินหรือแหล่งน้ำ (Ruchirawat, 2002)

PAHs โดยทั่วไปที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะอยู่ในรูปของสารประกอบที่ซับซ้อน แต่ PAHs ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมักจะอยู่ในรูปเดี่ยวๆ โดยทั่วไปเป็นสารไม่มีสี อาจจะมีสีขาวหรือของแข็งที่เป็นสีเทียวแกมเหลืองจางๆ และมีกลิ่น สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ PAHs ที่พบได้บ่อยในสิ่งแวดล้อม คือ มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง มีความสามารถในการละลายน้ำลดลงเมื่อจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นด้วย และสามารถละลายได้ดีในไขมัน นอกจากนี้ PAHs ยังจัดอยู่ในกลุ่มสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เผาไหม้ได้ยาก สลายตัวช้า และคงสภาพอยู่ในสิ่งแวดล้อมนาน

PAHs จัดเป็นสารประกอบอันตรายร้ายแรง โดยมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังต่อสิ่งมีชีวิต ที่อาจเหนี่ยวนำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenic) เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนส์ที่ทำให้เกิดสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenic) และทำให้ทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (Teratogenic)

เนื่องจาก PAHs มีผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำและสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency, EPA) จึงได้กำหนดให้ PAHs จำนวน 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญอันดับต้น ได้แก่ แนพทาซีน (Naph) อะซีแนฟทีลีน (Acl) อะซีแนฟทีน (Ace) ฟลูออรีน (Fl) แอนทราซีน (An) ฟีนแอนทรีน (Ph) ฟลูออแรนทีน (Fla) ไพรีน (Py) เบนโซ[เอ]แอนทราซีน (BaA) ไครซีน (Chr) เบนโซ[บี]ฟลูออแรนทีน (BbF) เบนโซ[เค]ฟลูออแรนทีน (BkF) เบนโซ[เอ]ไพรีน (BaP) อินดีโน[1,2,3-ซี ดี]ไพรีน (IP) ไดเบนโซ[เอเอช]แอนทราซีน (DBA) และเบนโซ[จีเอชไอ]เพอร์ลิซีน (BghiP) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 PAHs ที่เป็นรายชื่อสารพิษของสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

(ที่มา: Fahrnich, et.al., 2003)

2.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมี

ส่วนใหญ่ PAHs ที่อุณหภูมิปกติทั่วไปมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง เป็นของแข็ง ละลายน้ำได้น้อยมาก โดยการละลายจะขึ้นกับมวลโมเลกุลของ PAHs จะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วและเป็นสารประกอบที่ชอบไขมันมาก (highly lipophilic) PAHs เป็นสารที่มีความเฉื่อย (เนื่องจากเป็นวงแหวนเบนซีนเกาะกัน) และเป็นสารประกอบที่มีความดันไอต่ำ โดยมีความสามารถกลายเป็นไอได้ที่ความดัน 10^{-4} torr (3 วง) – 10^{-12} torr (7 วง)

PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low molecular weight PAHs, LMW PAHs) ซึ่งเป็นสารที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 4 วงและ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High molecular weight PAHs, HMW PAHs) ซึ่งเป็นสารที่มีวงแหวนเบนซีนมากกว่า 4 วงขึ้นไป ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร PAHs

PAHs	จำนวนวง แหวนเบนซีน	น้ำหนักโมเลกุล (g/mole)	ความสามารถในการ ละลายน้ำ (mg/l)	ความดันไอ (mm Hg)
1.Naphthalene	2	128.17	31	8.89×10^{-2}
2.Acenaphthylene	3	154.21	3.8	3.75×10^{-3}
3.Acenaphthene	3	152.20	16.1	2.9×10^{-2}
4..Anthracene	3	178.23	0.045	2.55×10^{-5}
5.Phenanthrene	3	178.23	1.1	6.8×10^{-4}
6.Flourene	3	166.22	1.9	3.24×10^{-3}
7.Fluoranthene	4	202.26	0.26	8.13×10^{-6}
8.Benzo(a)anthracene	4	228.29	0.011	1.54×10^{-7}
9.Chrysene	4	228.29	0.0015	7.8×10^{-9}
10.Pyrene	4	202.26	0.132	4.25×10^{-6}
11.Benzo(a)pylene	5	252.32	0.0038	4.89×10^{-9}
12.Benzo(b)fluoranthene	5	252.32	0.0015	8.06×10^{-8}
13.Benzo(k)fluoranthene	5	252.32	0.0008	9.59×10^{-11}
14.Benzo(a,h)anthracene	6	278.35	0.0005	2.1×10^{-11}
15.Benzo(g,h,i)perylene	6	276.34	0.00026	1.0×10^{-10}
16.Indeno(1,2,3-cd)pyrene	6	276.34	0.062	1.4×10^{-10}

ที่มา: Bojes and Pope (2007)

2.2.2 แหล่งที่มาของ PAHs

PAHs มีมากกว่า 100 ชนิด ที่ปรากฏอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่สามารถระบุชนิดได้ โดย PAHs สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและกระบวนการอันเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่ง PAHs ที่มีลักษณะเหมือนกันมักมาจากกระบวนการและแหล่งที่มาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยกระบวนการหลักๆ อันเป็นที่มาของ PAHs มีดังนี้

ก) กระบวนการเกิดขึ้นค่อนข้างเร็ว (วัน - ปี) เกิดที่อุณหภูมิต่ำ (70°C) โดยเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูป หรือกระบวนการ diagenesis ของสารอินทรีย์ (Organic matters) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้การกระทำของชีวโมเลกุล และเกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ ภายหลังจากการสะสมภายในตะกอนดิน

ข) กระบวนการเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ใช้ระยะเวลาการเกิดนาน ที่อุณหภูมิปานกลาง ($100 - 300^{\circ}\text{C}$) ซึ่งเป็นการเกิดขึ้นของเชื้อเพลิงฟอสซิล ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petroleum) และ ถ่านหิน (นั่นคือ petrogenic PAHs)

ค) กระบวนการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ($> 500^{\circ}\text{C}$) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือไร้ประสิทธิภาพ (นั่นคือ มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ) ของชีวมวลอินทรีย์ (organic biomass) (กระบวนการไพโรไลซิส - Pyrolysis) ดังเช่น ไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในป่าและการเผาหญ้า รวมทั้งการกระทำอันเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (นั่นคือ pyrogenic PAHs)

ง) กระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Biosynthesis) โดยพืชและสัตว์ สำหรับสารประกอบ PAHs ในรายชนิดหรือของผสมที่มีโครงสร้างค่อนข้างง่าย

แหล่งที่มาทางธรรมชาติของ petrogenic PAHs นั้นเกิดจากการรั่วซึมของน้ำมัน และการกักตุนของหินน้ำมัน (petroliferous shale) (Ben and Kvenvolden, 1996) ขณะที่แหล่งที่มาตามธรรมชาติของ PAHs จากการเผาไหม้หรือกระบวนการไพโรไลซิส (นั่นคือแหล่งที่มาแบบ pyrogenic) อันประกอบด้วย PAHs จากการเผาไหม้ของไม้และชีวมวลระหว่างการเผาไม้ในป่าและการเผาหญ้า

ขณะที่กระบวนการ diagenesis และการสังเคราะห์ทางชีวภาพ นับเป็นกระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้จากกระบวนการทางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แหล่งที่มาของ PAHs อันเกิดจากกิจกรรมมนุษย์สามารถเกิดขึ้นได้หลายเส้นทาง กิจกรรมของมนุษย์ (สารมลพิษ) ก่อให้เกิด PAHs ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่ไม่ใช่

สารประกอบ PAHs ชนิดเดียวกัน และปริมาณรวมของ PAHs ที่เกิดขึ้นจากแหล่งที่มาตามธรรมชาตินั้นๆ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นจากการปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมของ PAHs ผ่านอุบัติเหตุการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและแหล่งที่มาที่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้เป็นเวลาบ่อยครั้ง และเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยที่ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ เช่น บริเวณชุมชนเมือง น้ำไหลบ่าผ่านถนน และการปล่อยของเสียจากโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชน แหล่งที่มาของ PAHs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์มีอยู่ทุกหนทุกแห่ง อย่างไรก็ตามมีการเข้าสู่สิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic)

หนึ่งในการจัดจำแนกอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับ PAHs ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงของเครื่องยนต์ (รถยนต์) ภาชนะขนาดใหญ่ (การขนส่งทางเรือทะเล) และเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้า (ถ่านหินและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม) กระบวนการเผาไหม้ก่อให้เกิด PAHs ในปริมาณมากทั่วโลก แต่พบในปริมาณที่มากกว่าในเขตพื้นที่ชุมชน ซึ่งสิ่งนี้หลงเหลือจากการเผาไหม้ของไม้ นับเป็นแหล่งที่มาหลักของ pyrogenic PAHs โดยเข้าสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางบรรยากาศ ส่วนแหล่งที่มาสำคัญอื่นๆ ของอากาศภายในอาคาร ประกอบด้วยแก๊สและอุปกรณ์ทำความร้อน อย่างไรก็ตามแหล่งที่มาแบบเคลื่อนที่ได้ (mobile) ก็ยังคงเป็นแหล่งที่มาหลักของมลพิษในบรรยากาศทั้งในเขตชุมชนหรือพื้นที่ชานเมือง (ATSDR, 1995)

pyrogenic PAHs ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมักเกิดขึ้นจากกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงของเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันถ่านหิน (coal tar) และผลิตภัณฑ์ถ่านหิน (tar products) จากถ่านหินและการปล่อยไอเสียแบบชั่วคราวจากโรงหลอมอะลูมิเนียม ด้วยการปล่อยออกจากโรงหลอมในขั้นตอนของกระบวนการ Horizontal Stud Soderberg นอกจากนี้ยังสามารถมาจากกิจกรรมอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น Cresote ที่ใช้ในการบำบัดเนื้อไม้ที่มีผลเกี่ยวเนื่องกับความง่ายในการบำบัดเนื้อไม้ ที่มีการปลดปล่อย PAHs ที่เกี่ยวข้องกับ creosote (pyrogenic)

ความแตกต่างเบื้องต้นในแหล่งที่มาของ petrogenic PAHs และ pyrogenic PAHs ไม่ว่าจะเป็แหล่งที่มาตามธรรมชาติของ PAHs หรือ PAHs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์คือ อุณหภูมิในการเกิด ซึ่ง PAHs โดยทั่วไประดับการแทนที่ด้วยหมู่อัลคิล (alkylation) ใน PAHs รวมเป็นอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของการเกิด เพราะวาระดับของการแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลและผลของการกระจาย PAHs ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการเกิด ลักษณะรูปแบบโครงสร้างของแหล่งที่มาที่มีความแตกต่างสามารถนำมาใช้เพื่อจำแนกแหล่งที่มาที่แตกต่างของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม โดยแหล่งที่มาของ PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แหล่งใหญ่ คือ

2.2.2.1 กระบวนการทางธรรมชาติ (diagenic PAHs)

diagenic PAHs เป็นสารประกอบที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นเมื่อสารอินทรีย์ถูกทับถมกันตามธรรมชาติทั้งในดินและในตะกอนดิน ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า diagenesis เริ่มขึ้นในเวลาสั้นๆหลังจากที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ (Wakeam *et al.*, 1980) โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำภายหลังจากที่ปริมาณออกซิเจนลดลง และเชื่อว่าต้องมีจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เข้ามาเกี่ยวข้องผ่านกระบวนการอื่นที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตเข้ามาเกี่ยวข้อง และเกิดขึ้นต่อเนื่องกัน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาทั่วไปของการเกิดสารประกอบแอโรมาติก

ซึ่งกระบวนการ early diagenic ทำให้เกิด PAHs รายชนิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งหนึ่งใน PAHs ที่เกิดขึ้นมากที่สุดในกระบวนการนี้ คือ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีนจำนวน 5 วง (เพอร์ลิ้น) ซึ่งเพอร์ลิ้นสามารถที่พบทั่วไปในตะกอนดินของแม่น้ำ ทะเลสาบ และมหาสมุทร ที่ความลึกในตะกอนดินที่มีปริมาณออกซิเจนลดลง ซึ่งกระบวนการ diagenesis ของสารอินทรีย์ได้มาจากไดอะตอมและสสารของพืชผ่านแหล่งที่มาหลักของ PAHs ในตะกอนดินทะเลที่ปราศจากออกซิเจน (Venketesan, 1998)

2.2.2.2 ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (fossil fuel PAHs – Petroleum and coal)

จากการเปลี่ยนแปลงของพื้นโลกผ่านยุคสมัยตามการเวลา ภายในบริเวณที่มีการสะสมปิโตรเลียม และถ่านหินชั้นล่างในโครงสร้างตามสภาพการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลก PAHs อีกชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้น petrogenic PAHs ของถ่านหินที่ได้มาจากสิ่งที่หลงเหลืออยู่ของพืชซากที่ถูกสะสมในช่วงแรกเป็นพีต (ถ่านหินเลน) ซึ่งขึ้นอยู่กับกรทับถม พีตถูกเปลี่ยนเป็นถ่านหินโดยผ่านเวลาเป็นล้านปีที่มีการสัมผัสภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ขณะเกิดกระบวนการ diagenesis เพื่อเปลี่ยนเศษซากพืชไปให้กลายเป็นสารประกอบแอโรมาติก จำนวนวงแหวนที่เชื่อมต่อกันของวงแหวนแอโรมาติกมีการผันแปรตามโครงสร้างของถ่านหิน ซึ่งถ่านหินส่วนมากมักประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 3 – 5 วง ซึ่งบางบางพื้นที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีนมากถึง 10 วง

ขณะที่ PAHs ที่ตรวจพบมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม petrogenic PAHs เป็นส่วนหนึ่งของ PAHs ของตัวอย่างสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ ชนิดของน้ำมันปิโตรเลียมก่อนกลั่นอาจมีปริมาณ 0.2% และมากถึง 7% ของ PAHs petrogenic PAHs เกิดขึ้นเมื่อความดันสูงขึ้น (และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมากกว่า diagenic PAHs) ภายในชั้นหินของตะกอนดินที่ทับถมลึก ยกตัวอย่างเช่น เมื่อสารอินทรีย์ทางชีวภาพจากแพลงก์ตอนเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม petroleum or petrogenic PAHs และ PAHs ที่ได้มาจากถ่านหินเป็น "fossil fuel" PAHs ธรรมชาติของกระบวนการและ

ความมั่นใจที่มีต่อสารอินทรีย์เริ่มต้น สภาพพื้นที่ที่มีการทับถมของอุณภูมิและความดัน การเคลื่อนตัวใต้ผิวโลก และการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งเปลี่ยนสภาพจากสารอินทรีย์ไปเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีของปิโตรเลียมที่มีความซับซ้อนทางโมเลกุลที่ดีมาก สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหลายประการของน้ำมันดิบ (crude oil) และถ่านหิน (coal) และความซับซ้อนของโครงสร้าง PAHs ต่างๆ นับเป็น PAHs ที่พบในเชื้อเพลิงฟอสซิล PAHs จำนวน 100 – 1,000 ชนิด อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการทางธรรมชาติ ขณะเกิดกระบวนการที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ถึงแม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ตามขณะองค์ประกอบเหล่านั้นก็ยังผันแปรตามเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมันดิบและถ่านหิน) ซึ่งมี PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 2 – 6 วง โดยทั่วไปความชัดเจนจะลดลงเมื่อมีปริมาณการเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลด้วยอิทธิพลของโครงสร้างที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิล

ประเภทของ PAHs ถูกทำให้เกิดขึ้นที่เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย ความหลากหลายเชิงซ้อนของ PAHs แม่ (นั่นคือ ไม่มีหมู่อัลคิลแทนที่) และ PAHs ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิล ซึ่งลำดับของ PAHs แม่ และ PAHs ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิล เกิดขึ้นในหลายแหล่งที่มา หรือแหล่งที่มาเดียวกันของ PAHs ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์เดียวกัน (ซึ่งมีตำแหน่งแหล่งที่มาเดียวกัน) ยกตัวอย่างเช่น พีแนทรีนเอง ผลรวมของความสัมพันธ์เดียวกันที่มีหมู่อัลคิลเข้ามาแทนที่ของพีแนทรีนด้วยการแทนที่ของหมู่อัลคิลมากมาย ความมากมายที่เกี่ยวข้องกันของ PAHs ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลภายใน petrogenic PAHs มากกว่าปริมาณ PAHs แม่ (นั่นคือ ที่ไม่ถูกแทนที่) หรือ alkylated PAHs >> parent PAHs เป็นลักษณะเด่นของ PAHs ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบฉบับการกระจาย ซึ่งมีความสัมพันธ์เดียวกับหมู่อัลคิล

2.2.2.3 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic PAHs)

กระบวนการทั้งที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่มีอุณภูมิสูง PAHs ที่เกิดขึ้นภายใต้อุณภูมิสูง สารประกอบเหล่านี้สามารถรอดพ้นจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (กระบวนการออกซิเดชัน ที่ให้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ) ประกอบด้วย pyrogenic PAHs ซึ่ง pyrogenic PAHs ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขณะการเผาไหม้ป่า (เตาเผา กองไฟ) และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลในการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ (แก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซล) คาร์บอนของอาหารที่ใช้ไม่เป็เชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร มั่นใจได้ว่าทำให้เกิด pyrogenic PAHs ซึ่งกลายเป็นรูปที่รวมตัวอยู่กับอาหารที่มีคาร์บอน (รมควัน) รวมถึงการจัดให้ pyrogenic PAHs เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการที่มีอุณภูมิสูงของถ่านหินในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ของถ่านหินที่หลงเหลือตกค้างจาก

กระบวนการสร้างแก๊สของถ่านหิน (coal gas process) ของน้ำมันดำจากถ่านหิน (coal tar) และเป็น petrogenic PAHs ที่มีผลิตภัณฑ์ปริมาณมาก

เนื่องจากกระบวนการที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลกระทบต่อการทำลายปฏิกิริยาของ PAHs ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลมากขึ้น และเกิด PAHs ที่ไม่มีหมู่แทนที่ (PAHs) อันเป็นลักษณะเด่นของ pyrogenic โดยลักษณะสำคัญของ pyrogenic PAHs เป็นผลให้ parent PAHs >> alkylated PAHs โดยการกระจายของ PAHs เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิสที่รวดเร็วมากและมีความร้อนมากกว่า หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ ซึ่งเป็นความแตกต่างที่น่าสนใจของสารประกอบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ pyrogenic เท่านั้น โดย pyrogenic PAHs มีลักษณะพิเศษโดยพบ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4 5 และ 6 วง ตามประเภทของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

เมื่อเกิดการเผาไหม้สารอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในเชื้อเพลิงหรือชีวมวล มีการแตกตัวออกไปเป็นสารประกอบที่มีขนาดเล็กกว่า นั้นเป็ปฏิกิริยาและเกิดการสร้างระบบวงแหวนแอโรมาติกบนพื้นฐานของอนุกรมวงแหวนเบนซีน การเกิดเขม่า (soot) และ PAHs ขณะเกิดการเผาไหม้เป็นสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องกัน โดย PAHs กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มต้นทางโมเลกุลไปยังเขม่าควัน การปลดปล่อย PAHs ขณะที่มีการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระตามแหล่งที่มาของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ องค์ประกอบที่เกิดขึ้นเป็นอิสระต่อปริมาณออกซิเจนและอุณหภูมิของ PAHs ที่เกิดขึ้นในการเผาป่า สามารถเกิดขึ้นทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและการปลดปล่อยออกมาจากเตาเผาสำหรับการทำความร้อนในที่พักอาศัย โดยปริมาณ PAHs ที่ปลดปล่อยออกมานั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้ของพืชพรรณ ซึ่งความแตกต่างทางองค์ประกอบเป็นคุณลักษณะของประเภทเชื้อเพลิง แม้ว่าประเภทของเชื้อเพลิงจะสามารถส่งผลกระทบต่อปริมาณของ PAHs ที่เกิดขึ้น องค์ประกอบของ PAHs ที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงฟอสซิล หรือชีวมวล ขึ้นอยู่กับสภาวะของการเผาไหม้ (นั่นคือ ปริมาณออกซิเจน ปริมาณความชื้น เป็นต้น) ซึ่งปริมาณออกซิเจนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการกำหนดปริมาณ PAHs ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่สำคัญมากเช่นกันในการกำหนดองค์ประกอบที่มีลักษณะเฉพาะตัว (fingerprint) ของ pyrogenic PAHs ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งที่อุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าเช่นนี้ ลักษณะของการเผาป่าบางกลุ่มและควันทูหรือ ทำให้เกิด PAHs ที่มีหมู่อัลคิลเข้ามาแทนที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงมากขึ้นเข้าไปสนับสนุนการเกิดขึ้นของสารประกอบแม่หรือสารประกอบที่ไม่มีหมู่แทนที่ ในการปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลของ แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ PAHs ที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลเพิ่มจำนวนขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิของการเผาไหม้ลง

ผลของการปลดปล่อยจากท่อไอเสียรถยนต์ใน pyrogenic PAHs สามารถปลดปล่อยออกมาอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดของเชื้อเพลิง ชนิดเครื่องยนต์ อายุของเครื่องยนต์ และปัจจัยอื่นๆ แบบฉบับเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ในการปลดปล่อย petrogenic PAHs ช่วยให้เครื่องยนต์ดีเซลมากเพียงพอต่อการปลดปล่อย pyrogenic และ pyrogenic PAHs

2.2.2.4 การสังเคราะห์ทางชีวภาพ (biogenic PAHs)

เป็นที่ทราบกันแล้วว่าสารประกอบที่เป็นตัวตั้งต้น (precursor) ของ PAHs เป็นการสังเคราะห์ทางชีวภาพในสิ่งแวดล้อม แม้ว่าความสำคัญของการสังเคราะห์ทางชีวภาพโดยตรงของ PAHs ไม่ค่อยมีความแน่นอน แม้ว่าการช่วยเหลือของจุลินทรีย์มีผลต่อการเกิด PAHs ในธรรมชาติตามที่เคยมีการรายงานไว้ ซึ่งความช่วยเหลือเหล่านั้นอาจมีมากต่อสารประกอบแอโรมาติกที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (นั่นคือ abietic acid) ที่หลงเหลืออยู่ในยางไม้ (ยางสน) ซึ่ง PAHs บางชนิดเกิดขึ้นจากกระบวนการ diagenesis หรือ การเผาไหม้ของยางไม้เหล่านี้ เช่น รีทีน (retene) เป็นไอโซเมอร์ของ C_{40} - ฟีนานทรินที่มีความจำเพาะ () เป็นสิ่งตกค้างที่มีอยู่ทุกหนทุกแห่งจากพืชเหล่านี้ และสามารถพบได้ในปริมาณสูงในตะกอนดินของสิ่งแวดล้อมทางด้านเหนือที่มีความบริสุทธิ์ โดยเฉพาะรีทีน ที่แสดงว่ามีแหล่งที่มาจาแบคทีเรียและสาหร่าย (Wen *et. al.*, 2000)

2.2.3 การกำหนดแหล่งที่มาของ PAHs

ปัญหาเกี่ยวกับการหาปริมาณ PAHs ในสิ่งแวดล้อมมีที่มาอันสามารถเป็นไปได้ด้วยกัน 2 เส้นทางที่สามารถเป็นแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ของกาปนเปื้อน (นั่นคือการรั่วไหลของน้ำมัน) ปัญหาเกี่ยวกับองค์ประกอบสองสิ่งสุดท้าย เพื่อรายงานและจัดจำแนก (นั่นคือ การกำหนด) การรวบรวม PAHs ที่มีต่อปริมาณร้อยละของสารที่มีแหล่งที่มาหลากหลาย การกำหนด PAHs มีการใช้รูปแบบของผสมเป็นพื้นฐานสารเคมี (double ratio plots และ mixing models) เทคนิคทางสถิติของกาวิจัย เช่น Principal component analysis และเทคนิคการกำหนดเชิงปริมาณ เช่น Partial least squares (PLS) หรือ Constrained least squares (CLS) เทคนิคเหล่านี้จากการใช้รูปแบบผสม (Mixing model) ของแหล่งที่มาด้วยอัตราส่วนของ PAHs ที่แตกต่างกัน เพื่อรายงานปริมาณร้อยละของแหล่งที่มาจากแหล่งที่มาที่เป็นไปได้มากมาย

สิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ในชุมชนเมืองไม่ได้มีแหล่งที่มาเพียงแหล่งเดียวของ PAHs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ช่วยเพิ่มต่อการรวบรวม PAHs ที่ตรวจพบ การช่วยเหลือ (สนับสนุน) ที่มีความสัมพันธ์และการกำหนดเชิงปริมาณต่อแหล่งที่มาที่มีความแตกต่างของ PAHs สามารถทำให้ถูกต้องเป็นการหาปริมาณวิเคราะห์โดย

ก) การเก็บสะสม (รวบรวม) โดยกำหนดอิทธิพลของแหล่งที่มาและตัวอย่างทางด้านสิ่งแวดล้อม

ข) การเก็บสะสม (รวบรวม) รายละเอียดข้อมูลเฉพาะตัวที่ได้จากการวิเคราะห์โครมาโทแกรม แสดงช่วงของจุดเดือดและการกระจายของ PAHs ทั้งหมดที่ปรากฏ (รวมทั้งไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ใช่ PAHs ด้วย)

ค) หาปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ที่ไม่มีการถูกแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลและ PAHs ที่มีการแทนที่ด้วยหมู่อัลคิล

ง) จากโรงกลั่นน้ำมัน นำทิ้งจากโรงน้ำมันซึ่งมีคราบน้ำมันบางส่วนปนอยู่หรือกรณีถึงน้ำมันสำรองบนบกบริเวณชายฝั่งเกิดทรุดตัว รวมทั้งเกิดอุบัติเหตุทำให้มีน้ำมันรั่วไหลออกมา

จ) การประเมินความเข้มข้นที่ลดลงของ PAHs ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ หรือการระบุแหล่งที่มาที่ทราบแหล่งที่มาตามสมมติฐาน

ฉ) การประเมินประเภทของแหล่งที่มา

ช) การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูล PAHs เพื่อประเมินองค์ประกอบที่มีความคล้ายคลึงกันของการกระจายในสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะเฉพาะตัว

ซ) การใช้รูปแบบผสมของอัตราส่วน (Ratio mixing model) หรือรูปแบบทางสถิติ (Statistical modal) เพื่อกำหนดการรวบรวม PAHs ที่ถูกตรวจพบต่อแหล่งที่มาองค์ประกอบของมัน และแหล่งที่มาเฉพาะจากบรรยากาศ

การจัดจำแนกช่วยสนับสนุนจากแหล่งที่มาอันหลากหลายที่มีประวัติศาสตร์ ในปี 1984 เป็นครั้งแรกที่มีการพยายามเพื่อหาปริมาณอัตราส่วนของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyroenic PAHs) และ PAHs จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petrogenic PAHs) ในตะกอนดิน โดยอาศัยการแสดงออกอย่างง่ายด้วยความเข้มข้น

2.2.4 แหล่งที่มาและโอกาสที่จะพบ PAHs ในตะกอนดินทะเล

PAHs ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การผลิตของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การเผาขยะที่เป็นกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ไฟป่า และการระเบิดของภูเขาไฟ อย่างไรก็ตาม การผลิตจากกระบวนการตามธรรมชาติโดยทั่วไป พบน้อยมากเมื่อเทียบกับแหล่งที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Zaghden *et al.*, 2007) ซึ่งสามารถจัดจำแนกออกได้ 4 ประเภท คือ มีแหล่งที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (petrogenic origin) กระบวนการเผาไหม้ (pyrolytic origin) การรั่วซึมของน้ำมันตามธรรมชาติ (natural oil seeps) และกระบวนการทางธรรมชาติ (diagenetic origin) ที่มีพื้นฐานการจัดจำแนกมาจากอัตราส่วนวิเคราะห์ ตามอิทธิพลของ PAHs ที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกัน (Sprovieri *et al.*, 2007) ดังนี้

- petrogenic PAHs มีความสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ประกอบด้วย น้ำมันดิบ (Crude oil) และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่น (Refined products)
- biogenic PAHs เกิดขึ้นจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต หรือขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการ diagenesis ในตะกอนดินทะเล (เช่น เพอร์ลิน)
- pyrogenic PAHs เป็น PAHs ที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหินและน้ำมัน) และสารอินทรีย์วัตถุ เช่น ไม้ (Planas *et al.*, 2006)

PAHs มีการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลทั่วไป (NRC, 2003) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ PAHs ในตะกอนดินของพื้นที่อ่าวบริเวณชายฝั่ง ปากแม่น้ำ และบริเวณพื้นดินที่มี PAHs ในปริมาณสูง เนื่องจากมีผลกระทบมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น และมีอิทธิพลโดยตรงของแหล่งที่มาที่มีผลต่อรูปแบบการกระจายของสารพิษเหล่านี้ (Sprovieri *et al.*, 2007) ปริมาณ PAHs ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่ตรวจพบขึ้นอยู่กับการศึกษา โดยมีความเข้มข้นเริ่มจาก 10 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ถึงมากกว่า 100 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจาก PAHs เป็นสารประกอบที่ไม่ชอบน้ำ และ PAHs มักจะเกาะติดอยู่บนวัตถุอนุภาคแขวนลอยและมีการสะสมในตะกอนดินในที่สุด

นอกจากนี้กระบวนการของภาคอุตสาหกรรมและบริเวณเขตชุมชนเมืองที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วในประเทศอย่างเช่น อินเดียและจีน พบว่ามี PAHs เพิ่มมากขึ้นด้วย (Xu *et al.*, 2007) และมีความสนใจเป็นอย่างมากในการศึกษาบริเวณพื้นที่ชายฝั่งที่มีการพัฒนา ซึ่งแสดงให้เห็นระดับการปนเปื้อนบริเวณนั้นที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากภาคอุตสาหกรรมที่ปล่อยสารมลพิษในประเทศกำลังพัฒนา (Yim *et al.*, 2007)

การสะสมในบรรยากาศ นำเสียดจากแม่น้ำ บ้านเรือน และกากของเสียภาคอุตสาหกรรม โดยการรั่วไหลโดยตรงของปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นเส้นทางหลักที่มีป็นอิทธิพลของ PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล สำหรับความรู้เกี่ยวกับแหล่งที่มาและความเป็นไปได้ของเส้นทางในการเคลื่อนที่ของ PAHs ในตะกอนดินของแหล่งน้ำเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการควบคุมสารพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Li *et al.*, 2001)

ปัจจัยด้านการเคลื่อนย้าย (พัดพา) ทางกายภาพและปัจจัยเชิงกลมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกระจายของ PAHs ในตะกอนดินที่ตรวจพบ (Yim *et al.*, 2007) ซึ่งแสดงออกทั้งสารที่อยู่ในเฟสที่สามารถละลายน้ำได้และเฟสที่เป็นอนุภาค เนื่องจากมีความสามารถในการละลายต่ำและมีสมบัติโดยทั่วไปที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้มีความง่ายต่อการเกาะติดอยู่กับอนุภาคที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่แขวนลอย และอาจมีความเข้มข้นสูงในตะกอนดิน (Culott *et al.*, 2006)

สุดท้ายโอกาสที่จะพบ PAHs ที่มีการทับถมของตะกอนดินทั่วไปภายหลังจากที่มีการเคลื่อนย้ายลำเลียงผ่านคอลัมน์น้ำ และมีการสะสมสะสมด้วยการจับกับตะกอนดิน (Zaghden *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามปัจจัยในพื้นที่ยังเป็นตัวแบ่ง PAHs ออกเป็นเฟสที่เกาะติดอยู่กับอนุภาคและเฟสที่สามารถละลายน้ำได้ การรบกวนจากสิ่งมีชีวิต (bioturbation) และการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์บางชนิดอาจมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของ PAHs ที่ตรวจพบ และสารประกอบ PAHs ที่มีอยู่จริงในสิ่งแวดล้อมนั้น (Yim *et al.*, 2007)

2.2.5 ความเป็นพิษของสาร PAHs

ความเป็นพิษของ PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

ก) PAHs กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

เป็นสารที่มีความคงทนสูง ดังนั้นเมื่อปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จึงก่อให้เกิดปัญหาตามมา นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีการละลายน้ำได้ดี สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (acute toxicity) (Sim and Overcash, 1983)

ข) PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

จะสามารถละลายน้ำได้น้อยและมีความสามารถในการระเหยต่ำ ส่วนใหญ่ก่อให้เกิดความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (chronic toxicity) โดยอาจเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutagens) หรือ สารก่อมะเร็ง (carcinogen) และทำให้ทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (teratogen) (Narro *et al.* 1992) นอกจากนี้ยังมีการสะสม (bioaccumulation) และเพิ่มปริมาณ (biomagnification) ในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับขั้นของผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหาร

2.2.5.1 การเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ โดย PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์โดยเอนไซม์ cytochrome P- 450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซีนได้เป็นสารอนุพันธ์อีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมากสามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีน และกรดนิวคลีอิก จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้างของ DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟตเป็นตำแหน่งที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง

2.2.5.2 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

PAHs แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในคน (International Agency for Research on Cancer [IARC], 1983) การจัดกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง สามารถแสดงในตารางที่ 2.2

น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs ชนิดใดที่สถาบัน IARC จัดเป็นสารก่อมะเร็งในคน แม้ว่า PAHs หลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น การสูบบุหรี่ น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียของรถยนต์ เนื่องจากการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์สามารถได้รับในสารผสมเหล่านี้

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของ PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง

กลุ่ม 2 A	สารที่น่าก่อมะเร็งในคน (probably carcinogen to humans) มี 3 ชนิด	
	benzo(a)anthracene dibenzo(a,h)anthracene	benzo(a)pyrene
กลุ่ม 2B	สารที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในคน (possibly carcinogen to humans) มี 11 ชนิด	
	benzo(b)fluoranthene benzo(k)fluoranthene dibenzo(a,h)pyrene dibenzo(a,l)pyrene dibenzo(a,h)acridine naphthalene	dibenzo(l)fluoranthene dibenzo(a,e)pyrene dibenzo(a,i)pyrene dibenzo(a,j)acridine indino(1,2,3-cd)pyrene

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของสาร PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (ต่อ)

กลุ่ม 3	สารที่ไม่น่าจะก่อมะเร็งในคน (unclassifiable as to probably carcinogenicity to humans) 23 ชนิด	
	anthracene	benzo(a)acridine
	benzo(c)acridine	benzo(g,h,i)fluoranthene
	benzo(a)fluorene	benzo(b)fluorene
	benzo(c)fluorene	benzo(g,h,i)perylene
	benzo(a,h)phenanthrene	benzo(e)pyrene
	chrysene	coronene
	cyclopenta(c,d)pyrene	dibenzo(a,c)anthracene
	dibenzo(a,j)anthracene	dibenzo(a,e)fluoranthene
	dibenzo(h,r,s,t)pentaphene	fluorene
	fluoranthene	phenanthrene
	perylene	triphenylene
	pyrene	

ที่มา: ดัดแปลงมาจากกรมควบคุมมลพิษ ,2543

2.2.5.3 การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ (Potentiation/Antagonism)

โดยทั่วไป PAHs ที่เกิดจากแหล่งต่างๆ ที่อยู่ในรูปสารผสมมีมากกว่าในรูปสารเดี่ยว และอาจมีสารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ PAHs ปะปนอยู่ด้วย เช่น นิโคติน ที่ปะปนมากับ PAHs ในควันบุหรี่ เส้นใยแอสเบสตอส (asbestos fiber) ที่ปะปนมากับ PAHs ในผงเขม่าจากโรงงาน เป็นต้น การเกิดปฏิกริยาร่วมระหว่าง PAHs ด้วยกันเอง และระหว่างสาร PAHs กับสารอื่นๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทั้งก่อนและหลังการได้รับเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากสาร PAHs เป็นสารก่อมะเร็งและก่อการกลายพันธุ์ จะต้องถูกเมตาโบไลซ์ที่มีความเป็นพิษและสามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่สำคัญของเซลล์ เช่น DNA, RNA และสารโปรตีนได้ ฉะนั้นการยับยั้งหรือกระตุ้นเอนไซม์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของสาร PAHs ไม่ว่าจะเนื่องจากสาร PAHs ด้วยกันเอง หรือจากสารอื่นก็ย่อมมีผลในการเสริมหรือต่อต้านความเป็นพิษของสาร PAHs ได้ (U.S.DHHS, 1995)

2.2.5.4 ความเป็นพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxicity)

ไม่พบรายงานความเป็นพิษต่อระบบประสาทจากการได้รับสาร PAHs ยกเว้นสาร naphthalene ที่มีรายงานว่าทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กได้เช่น มีอาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลง มีดีซ่านในสมอง (kernicterus) อาการเหล่านี้เข้าใจว่าเกิดจากการขาดออกซิเจนในสมอง ซึ่งเป็นผลของภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแตก (hemolytic anemia) (U.S.EPA, 1999)

2.2.6 ผลกระทบของ PAHs

เนื่องจาก PAHs เป็นมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม โดยสารประกอบเหล่านี้เกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งจากสมบัติทางกายภาพของ PAHs ที่เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำและมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ จึงทำให้ PAHs เป็นสารที่สะสมได้ดีในไขมัน จากการที่ PAHs เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) และสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenic) รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบผิดปกติในสัตว์ทดลอง (mutation) โดยมีรายละเอียดของผลกระทบที่เกิดขึ้นดังนี้

2.2.6.1 ผลจากการได้รับ PAHs ที่เกิดกับสัตว์ทดลอง

หนูขาว (Mice) ที่กินเบนโซ[เอ]ไพรีนในปริมาณสูงในช่วงระหว่างการตั้งท้องจะทำให้หนูขาวที่ตั้งท้องซึ่งกินเบนโซ[เอ]ไพรีนเข้าไปจะแสดงอาการให้เห็น เช่น มีความผิดปกติของคลอดและน้ำหนักลด ซึ่งอาจจะเหมือนกับผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ แต่ไม่มีข้อมูลที่จะมาแสดงให้เห็นถึงผลกระทบนี้เป็นไปตามข้อมูลที่ได้มีการศึกษาในหนูหลายๆ ชนิด ดังตารางที่ 2.5

การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า PAHs เป็นสาเหตุถึงความเจ็บป่วยแก่ผิวหนังและของเหลวในร่างกาย ส่งผลต่อความเจ็บป่วยหลังจากที่ได้รับ PAHs ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อย่างไรก็ตามผลกระทบเหล่านี้ยังไม่มีรายงานในมนุษย์

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของสาร PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง

PAHs	ขนาดที่ได้รับ	ผลที่เกิด
BaA	5 มก. ต่อหนู 1 ตัวที่กำลังตั้งครรภ์	ตัวอ่อนตายภายใน 1 วันและลดประสิทธิภาพของการผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจน
BkF	0.1 หรือ 0.5 % ในอะซิโตนที่ทาบบนผิวของหนูตัวเมีย	8/20, 3/20 จะตายภายใน 13 เดือน
BghiP	0.2 มล. 0.01 % ในไดคลอโรมีเทน	32/50 ไม่มีตาย. 3/50 ไม่มีเนื้องอก

ตารางที่ 2.5 ผลกระทบของสาร PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง (ต่อ)

PAHs	ขนาดที่ได้รับ	ผลที่เกิด
Chrysene	0.3 % ใน benzene 440 วัน สำหรับ หู 20, 50 และ 100 ตัว ถูกหาที่บริเวณผิวน้ำ	20/170 ไม่เป็นเนื้องอก, 50/170 ทำให้หูด, 30/170 ยังคงมีชีวิตอยู่จนถึง 6 เดือน

ที่มา: Boonyatumanond, 1999

2.2.6.2 ผลจากการได้รับ PAHs ของสัตว์ทะเล

จากการศึกษาของ Shore *et. al.* (1999) พบว่า นกทะเลที่อยู่บริเวณชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำมันที่รั่วไหลมาจากเรือบรรทุกน้ำมันบริเวณ Exxon Valdez ซึ่งเป็นน้ำมันดิบพบว่าทำให้นกทะเลหลายชนิดได้รับผลกระทบต่อไข่และตัวอ่อนของนกรวมทั้งการพัฒนาการของการฟักไข่ของนก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลกระทบของ PAHs แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

PAHs, สิ่งมีชีวิต และอื่นๆ	Concentration in medium	Effect
Benzo(a)pyrene Sandworm, Nearthes areceodontata	>1,000	LC-50(9h)
Chrysene Sandworm	>1,000	LC-50(9h)
Dibenzo(a,h)anthracene Sandworm	>1,000	LC-50(9h)
Fluoranthene Sandworm	500	LC-50(9h)
Florene Grass shrimp, Palaemonetes Pugio Amphipod, Gammarus Psuedoliminaeus Sandworm Sheepshead minnow, Cyprinodon variegatus	320 600 1,000 1,680	LC-50(9h) LC-50(9h) LC-50(9h) LC-50(9h)

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของ PAHs แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (ต่อ)

PAHs, สิ่งมีชีวิต และอื่นๆ	Concentration in medium	Effect
Naphthalene		
Copepod, Eurytemora affinis	50	LC-30(10d)
Pink salmon, Oncorhynchus gorbuscha, fry	920	LC-50(24h)
Dungeness crab, Cancer magister	2,000	LC-50(96h)
Grass shrimp	2,400	LC-50(96h)
Sheepshead minnow	2,400	LC-50(96h)
1-Methylnaphthalene		
Dungeness crab, Cancer	1,900	LC-50(96h)
Sheepshead minnow	3,400	LC-50(96h)
2-Methylnaphthalene		
Grass shrimp	1,100	LC-50(96h)
Trimethylnaphthalene		
Copepod, Eurytemora affinis	2,000	LC-50(24h)
Phenanthrene		
Grass shrimp	370	LC-50(24h)
1-Methylnanthrene		
Sandworm	300	LC-50(96h)

ที่มา: Kennish, (1992)

2.2.6.3 ผลจากการได้รับ PAHs ของมนุษย์

PAHs สามารถที่จะเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยทางเดินหายใจ การหายใจเอาอากาศที่มี PAHs เจือปนเข้าไป สำหรับคนที่อยู่ใกล้กับแหล่งขยะอันตราย การดื่มน้ำ การกินอนุภาคดินหรืออนุภาคฝุ่นที่มี PAHs เจือปน ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ร่างกายสามารถได้รับ PAHs ภายใต้อาการปกติ PAHs ก็เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ โดยถ้าหากผิวหนังไปสัมผัสกับดินที่มี PAHs เจือปนอยู่ในระดับสูง

PAHs เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่ายและรวดเร็วทุกๆ ทาง อัตราการเข้าสู่ร่างกายจะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของผสมที่มีลักษณะคล้ายน้ำมัน (Oil mixture) และจะเข้าสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน และมีการสะสมอยู่ในไต ตับ และไขมันเป็นส่วนมาก บางส่วนก็สะสมอยู่ในร่างกายได้ไม่นานมาก และไม่ใช่ว่าจะได้รับ PAHs เพียงตัวเดียวหรือจะได้รับ PAHs ที่เป็นสารผสมรวมกันหลายๆ ตัว ในสภาพแวดล้อมมนุษย์จะได้รับ PAHs มาจากแหล่งต่างๆ เช่น ไอเสียจากยานพาหนะ ยางมะตอย (Asphalt) ถ่านหิน (Coal tar) ไฟป่า (Wildfire) การเผาพืชพรรณทาง

การเกษตร และขยะอันตรายในชนบทสามารถตรวจวัด PAHs ในระดับปกติประมาณ 0.02 – 1.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มนุษย์อาจได้รับ PAHs ประปนอยู่ในดินที่อยู่บนหรือใกล้ๆ กับแหล่งขยะอันตราย เช่น โรงงานผลิตแก๊สเก่า โรงงานผลิตภัณฑืรักษาเนื้อไม้ PAHs ยังพบในแหล่งน้ำดื่ม ซึ่งในสหรัฐพบว่ามี PAHs อยู่ในน้ำดื่มประมาณ 4 – 24 นาโนกรัม/ลิตร (Grariviat, 1999)

2.2.6.3.1 ผลจากการได้รับ PAHs เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์

เมื่อ PAHs เข้าสู่ร่างกาย มีหลายปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดถึงอันตราย และส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ ปริมาณการได้รับ PAHs ระยะเวลาที่ได้รับ วิธีที่ได้รับ เช่น ทางระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร ระบบผิวหนังโดยการสัมผัส นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของบุคคลด้วย เช่น เพศ อายุ ภาวะโภชนาการ พันธุกรรม การดำรงชีวิต ภาวะทางสุขภาพ เป็นต้น ซึ่งสาร PAHs ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ต่อร่างกาย ดังนี้

ก) ระบบผิวหนัง

มีรายงานทั้งในมนุษย์และสัตว์ทดลองพบว่า PAHs ทำให้เกิดความผิดปกติที่ผิวหนัง เช่น เกิดแผลติดเชื้ที่ผิวหนัง hyperplasia, hyperkeratosis เซลล์ชั้นใต้ผิวหนังมีการเจริญเติบโตอย่างผิดปกติ จนกลายเป็นโรคมะเร็งผิวหนังได้ (Albert *et al.*, 1991)

ข) ระบบหัวใจและหลอดเลือด

มีการศึกษาพบว่า PAHs มีผลทำให้เกิด atherosclerosis เนื่องจากมีการแบ่งตัวของเซลล์หลอดเลือดแดง มีการสร้าง collagen เพิ่มขึ้น มีการสะสมของไขมัน เกิด cellular necrosis ทำให้เกิด atherosclerotic plaque ซึ่งพบมากในผู้ที่สูบบุหรี่ (Stavenow *et al.*, 1988)

ค) ระบบทางเดินอาหาร

อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเยื่อเมือกในลำไส้ หรือเกิดการกระตุ้นการแบ่งตัวของเยื่อเมือก ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ และยังมีการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า PAHs เหนี่ยวนำให้เกิด hepatic regeneration น้ำหนักตับเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มียารายงานในมนุษย์

ง) ระบบทางเดินหายใจ

มีการศึกษาในหนู hamster พบว่า ถ้ามีการหายใจเอา PAHs บริสุทธิ์ ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เข้าไปในร่างกายเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดมะเร็งในระบบทางเดินหายใจประมาณ 35เปอร์เซ็นต์ ส่วนหนูที่ได้รับควันจากเครื่องจักร 4 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดโรคมะเร็งปอดประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ (Heinrich, 1986) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในคนงานที่ทำงานทางด้านที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ซึ่งได้รับสาร PAHs และ asbestos จะมีอัตราเสี่ยงสูงต่อการเป็นมะเร็งปอด (Bente, 1996)

จ) ระบบทางเดินปัสสาวะ

นอกจากนี้อาจก่อให้เกิดมะเร็งกระเพาะปัสสาวะได้ และมีการศึกษาในสัตว์ทดลองที่ได้รับสาร PAHs พบว่าท่อไตมีการขยายตัว แต่ไม่มีรายงานในมนุษย์ (Rigdon and Giannukos, 1964)

ฉ) ระบบภูมิคุ้มกัน

สาร PAHs จะไปกดภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Szcseklik *et al.*, 1994) นอกจากนี้สาร PAHs ยังมีผลกระทบต่อตัวอ่อนด้วย โดยมีการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า สาร PAHs ส่งผลทำให้ตัวอ่อนมีความพิการแต่กำเนิด แต่ยังไม่มียางานในมนุษย์

สำหรับในประเทศที่มีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ได้มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการป้องกันสุขภาพของมนุษย์ ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับสาร PAHs ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไม่ควรเกินจากระดับดังนี้ คือ แอนทราซีน 0.3 มิลลิกรัม อะซีแนพทีน 0.06 มิลลิกรัม ฟลูออแรนทีน 0.04 มิลลิกรัม ฟลูออรีน 0.04 มิลลิกรัม และไพรีน 0.03 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัม มีรายงานการได้รับ PAHs จากคนงานในโรงงานถ่านหิน ที่มีความเข้มข้นของ PAHs ในอากาศ 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และจากคนงานในโรงงานผลิตน้ำมัน ความเข้มข้นของ PAHs ในอากาศ 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ จะมีอัตราเสี่ยงสูงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอดและมนุษย์ที่ได้รับเบนโซ[เอ]ไพรีนจากอากาศ ในปริมาณ 1.2 2.0 1.2 และ 0.012 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง 1/10,000 1/10,000 และ 1/100,000 คน ตามลำดับ ส่วนการได้รับเบนโซ[เอ]ไพรีนจากน้ำดื่ม ที่มีความเข้มข้น 0.2 0.02 และ 0.002 ไมโครกรัม/ลิตร จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง 1/100,000 1/1,000,000 และ 1/10,000,000 คน ตามลำดับ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yamada *et al.* (2003) ศึกษาลักษณะการกระจายและแนวโน้มในการที่จะพบ PAHs ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล ทดลองโดยใช้ระบบเพาะเลี้ยงแบบถัง (mesocosm tank) ขนาด 500 ลิตร จำลองระบบนิเวศทางทะเลตามธรรมชาติ และเติม PAHs ทั้งหมด 38 ชนิดลงน้ำทะเลในถัง วิเคราะห์ PAHs ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี – แมสสเปคโตรเมตรี (Gas Chromatography – Mass Spectrometry, GC-MS) พบว่า PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW PAHs) ที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 3 วงสามารถระเหยหายไปอย่างรวดเร็วโดยส่วนมากในเวลาประมาณ 2 วัน ในขณะที่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW PAHs) ซึ่งมีวงแหวนเบนซีนมากกว่าหรือเท่ากับ 4 วง สามารถพบตกค้างอยู่ในคอลัมน์น้ำเป็นระยะเวลา 9 วัน และพบว่าประมาณ 10 – 94 เปอร์เซ็นต์ของ HMW PAHs จะตกตะกอนและดูดเกาะอยู่กับตะกอนดิน ทั้บถมอยู่บริเวณท้องน้ำ ทั้งนี้การกระจายของ PAHs มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายได้ และการสลายตัวของ PAHs

Yim *et al.* (2005) ศึกษาการกระจายและลักษณะเฉพาะของ PAHs ในตะกอนดินจากอ่าว Masan ประเทศเกาหลีใต้ พบปริมาณ PAHs รวมในตะกอนดินผิวหน้าอยู่ในช่วง 27 – 2,600 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 680 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง การกระจายมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันแต่มีปริมาณที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ภายในอ่าวและพื้นที่ภายนอกอ่าว โดย PAHs มีที่มาจากแหล่งที่มาเหมือนกัน การกระจายของ PAHs ในตะกอนดินตามความลึก โดยใช้การวิเคราะห์แบบ PCA พบความเข้มข้นของ PAHs มากที่สุด (แหล่งที่มาจากอุตสาหกรรม) เกิดขึ้นหลังช่วงปี 1950s และ 1980 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะตัวของแหล่งกำเนิดที่มาจากกาเผาไหม้ (Pyrolytic source fingerprint) พบว่ามีอิทธิพลเล็กน้อยจากแหล่งกำเนิดที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic source) ในบริเวณที่ศึกษา

Hyun *et al.* (2005) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อย PAHs โดยจุลินทรีย์ในตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันถ่านหิน (Coal tar) ในห้องปฏิบัติการ โดยมีสมมติฐานว่าตะกอนดินที่มีความสมดุลของออกซิเจนและปริมาณสารอาหารที่เพียงพอในชั้นทรายที่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ จะมีความเข้มข้นของการปนเปื้อน PAHs ลดลงภายใต้บริเวณผิวของพื้นที่ท้องน้ำ และการเปลี่ยนแปลงจะลดลงตามความลึกของคอลัมน์น้ำ เนื่องจากมีอากาศไม่เพียงพอ โดยทำการศึกษาแบบแบทช์ (Batch) กับชุมชนจุลินทรีย์จากตะกอนดินที่มีการปนเปื้อน PAHs โดยกำหนดให้มีการเติมสารอาหารและการให้อากาศที่แตกต่างกัน ผลจากการย่อยสลาย PAHs ด้วยระยะเวลา 30

วันจากสารละลายที่สกัดได้จากตะกอนดินที่ปนเปื้อนถ่านหิน พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนและสารอาหารนับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมอัตราการย่อยสลาย PAHs

Qiao *et al.* (2005) ศึกษาองค์ประกอบและแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 25 ตัวอย่างจากอ่าว Meiliang, ทะเลสาบ Taihu, ประเทศจีนแผ่นดินใหญ่ในปี 2003 ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี - แมสสเปคโตรเมตรี (Gas Chromatography - Mass Spectrometry, GC-MS) พบความเข้มข้นรวมของ PAHs (16 ชนิด ตาม US EPA) อยู่ในช่วง 1,207 - 4,754 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตัวอย่างตะกอนดินที่มีความเข้มข้นของ PAHs สูงที่สุดพบที่บริเวณทางตอนเหนือของอ่าว ซึ่ง PAHs มีแหล่งที่มาจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียง ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง (High - temperature pyrolytic process) ขณะที่ระดับ PAHs ที่อยู่ทางตอนใต้มีปริมาณค่อนข้างต่ำ มีแหล่งกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic process) ระดับของ PAHs ที่สำรวจได้มีปริมาณสูงกว่า PAHs ที่พบในตะกอนดินทั่วไปในแม่น้ำของประเทศจีน แต่ต่ำกว่าตะกอนดินของพื้นที่ชุมชนและบริเวณอ่าว

Yim *et al.* (2007) ศึกษาการกระจายของ PAHs ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์เพื่อประเมินการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินจากสิ่งแวดล้อมทางทะเลประเทศเกาหลีใต้ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินจำนวน 117 ตัวอย่างที่เก็บตลอดแนวชายฝั่ง พบความเข้มข้นของ PAHs รวม 16 ชนิด อยู่ในช่วง 8.80 - 18.500 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในเขตอุตสาหกรรมและเขตเมืองพบระดับการปนเปื้อนของ PAHs ในปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกาและสหราชอาณาจักร พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในตะกอนดินจากสหราชอาณาจักร > สหรัฐอเมริกา > เกาหลี การวิเคราะห์แหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งและบริเวณที่อยู่ไกลฝั่งออกไปใช้ดัชนีและสถิติในการอธิบายแหล่งที่มาของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic) และมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic) ในตะกอนดิน จากการคำนวณค่าอัตราส่วนของ PAHs (PAHs quotient) พบว่า ประมาณ 7.76% ของตัวอย่างที่วิเคราะห์มีค่าอัตราส่วนของ PAHs เฉลี่ย > 1.0 แสดงว่ามีความเป็นไปได้ในการเกิดผลกระทบทางด้านลบต่อสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวในอ่าว Youngil

Stout *et al.* (2008) ศึกษาความเข้มข้นและลักษณะเฉพาะของ PAHs และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ในถ่านหิน 15 แหล่ง โดยใช้ไดคลอโรมีเทนสกัดที่อุณหภูมิห้อง ตามวิธี EPA Method 3500 พบความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนที่สามารถสกัดได้ทั้งหมด (Total Extractable Hydrocarbons, THE) มีปริมาณอยู่ในช่วง 8.2 - 2,500 ไมโครกรัมต่อกรัม ถ่านหิน (น้ำหนักแห้ง) ความเข้มข้นของ PAHs มีปริมาณอยู่ในช่วง 35 - 11,000 ไมโครกรัมต่อกรัม ถ่านหิน (น้ำหนัก

แห่ง) หรือ 38–12.000 นาโนกรัมต่อกรัม คาร์บอน และมีการผันแปรตามตำแหน่งแหล่งที่เกิดของ ถ่านหิน PAHs ที่สามารถสกัดได้จากถ่านหินมีผลมาจาก “แหล่งกำเนิด” และ “การเปลี่ยนแปลงตามอายุ (Maturity)” โดยเรียงลำดับจากแอนทราไซต์, บิทูมินัส, ซับบิทูมินัส และลิกไนต์ตามลำดับ

Mostafa *et al.* (2009) ทำการศึกษาการกระจายและลักษณะเฉพาะของ PAHs ในตะกอนดินของพื้นที่ชายฝั่ง Hadhramout อ่าว Aden ประเทศ Yemen เพื่อประเมินสภาพการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินของพื้นที่ชายฝั่ง Hadhramout โดยเก็บตัวอย่างตะกอนผิวหน้าจำนวน 17 ตัวอย่างในเดือนมีนาคม – เมษายน 2005 และวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณ PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีนจำนวน 2 – 6 วงด้วยเทคนิค GC-MS ความเข้มข้นของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าอยู่ในช่วง 2.2 – 604 นาโนกรัมต่อกรัม (ค่าเฉลี่ย: 82.4 นาโนกรัมต่อกรัม) การปนเปื้อนที่มีปริมาณสูงอันเกิดจากกิจกรรมของท่าเรือใกล้กับสถานีปิโตรเลียม Al-Dhabah และพื้นที่ในเขตเมือง การเปรียบเทียบช่วงความเข้มข้นกับการสำรวจจากทั่วโลกของตำแหน่งตะกอนดินที่มีการปนเปื้อน PAHs ในชายฝั่ง Hadhramout อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง การประเมินแหล่งที่มาในตะกอนดินบริเวณชายฝั่ง Hadhramout พบว่าส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic) และมีแหล่งกำเนิดของ PAHs จากการเผาไหม้ (Pyrolytic) มาจากพื้นที่ในเขตเมืองที่ส่งผลกระทบในทางลบต่อสัตว์น้ำ

จรรยา สาริน (2537) ศึกษาสารอะโรมาติกในตะกอนดินตามลำดับความลึกของชั้นตะกอนที่เก็บจากบริเวณอ่าวไทยจำนวน 8 สถานี วิเคราะห์โดยวิธี GC ใช้คอลัมน์ชนิด Fused silica capillary และตัวตรวจวัดแบบเฟลม ไอโอไนเซชัน ผลการวิเคราะห์สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนกลุ่ม PAHs พบน้อยมากทั้งปริมาณและชนิด โดยสารส่วนใหญ่ที่พบคือ ไดเบนไซโรไอฟิน, 1, 2 ไดไฮโดร-1-ฟีนิล แนพทาลีน และ 2-เททิลฟีแนนทรีน โดยมีปริมาณรวมของ PAHs ในตะกอนชั้นบนของแต่ละสถานีดังนี้ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนสองสถานีมีค่าระหว่าง 38.72 – 123.52 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งให้เห็นว่ามีการปนเปื้อนจากน้ำมันดีเซล (Light petroleum) และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์ต่างๆ (Heavy petroleum) ในบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีค่า 66.91 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และบริเวณชายฝั่งตะวันออกมีค่า 43.10 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนน้ำมันซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมา ส่วนบริเวณอ่าวไทยตอนล่างมีค่า 13.63 – 67.31 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ไม่ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของน้ำมันหรือมีการปนเปื้อนจากน้ำมันน้อยมาก

กฤตยาพร ทัพพะทัต (2538) ศึกษาสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ระยอง โดยวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของ PAHs รวมอยู่ในช่วง trace – 1.66 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณเฉลี่ยรวมตามการใช้พื้นที่ มีปริมาณสูงสุดในบริเวณชุมชน ได้รับอิทธิพลจากการปนเปื้อนของน้ำมัน ทั้งน้ำมันดีเซลและน้ำมันเครื่องต่างๆ ที่ปลดปล่อยจากชุมชนบริเวณจ.ระยอง และชุมชนบ้านแพ ซึ่งล้วนมีประชากรอาศัยอย่างหนาแน่น ตามมาด้วยบริเวณอุตสาหกรรม มีการปนเปื้อนจากน้ำมันที่ปล่อยออกจากบริเวณอุตสาหกรรมเหล็กเก่า น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และจุดระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในนิคมมาบตาพุด และเพาะเลี้ยงที่เป็นแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากกระบวนการทางชีวภาพทั้งจากการสังเคราะห์โดยสาหร่ายบางชนิดและพืชชั้นสูง สำหรับกิจกรรมเพาะเลี้ยงนั้นบ่งชี้ไม่ได้ชัดเจนว่าปนเปื้อนมาจากน้ำมัน ปริมาณ PAHs เฉลี่ยตามระยะทางค่าสูงสุดอยู่ที่ชายฝั่งทะเล และลดลงตามระยะทางที่ห่างจากฝั่งออกไปตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดที่เกิดจากชายฝั่งทะเลมากกว่ากิจกรรมต่างๆ ในทะเล เมื่อห่างจากฝั่งออกมา 5 กิโลเมตรขึ้นไป การปนเปื้อนเจือจางลงถึง 4 เท่า

เชาวน์ นกอยู่ (2538) ศึกษาการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำตะกอนดิน และตัวอย่างหอยแมลงภู่ ซึ่งเก็บมาจากบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน พบ PAHs ชนิด 2 – 6 วง โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 1.93 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในเดือนพฤษภาคม และ 2.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในเดือนกันยายน PAHs ที่พบบ่งชี้ได้แก่ แนพทาลีน, ไบฟีนิล 2,6-ไดเมทิลแนพทาลีน, ฟลูออรีน, แอนทราซีน, 1-เมทิลพีแนนทีน, ฟลูออแรนทีน, ไพรีน และ ไครซีน มีค่าความเข้มข้นของ PAHs แต่ละตัวอยู่ในช่วง 15.62 – 76.8 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แหล่งกำเนิดของสารไฮโดรคาร์บอนในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมัน โดยการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง น้ำทิ้งอุตสาหกรรม การคมนาคมทางเรือ และเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ ส่วนที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ ได้แก่ การสังเคราะห์โดยแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช และพืชชั้นสูง

วราภรณ์ ศรีมูล (2544) ศึกษา PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าที่เก็บจากอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาพบสารแอนทราซีน ฟลูออแรนทีน และไดเบนโซ(เอ,เอช)แอนทราซีน ในปริมาณที่สูงกว่า PAHs ตัวอื่นๆ ปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 1.31 – 3.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 2.44 ± 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) การปนเปื้อนของสาร

ไฮโดรคาร์บอนในบริเวณอ่าวตีราซายังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่มีปัญหามลภาวะทางน้ำมันจากบริเวณอื่นของโลก

จิราณีย์ ชัยปวิวงศ์ (2544) ศึกษาการกระจายของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าและตะกอนดินตามความลึก จากบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ผลการศึกษาพบ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2 – 6 วง โดยมีการกระจายของชนิดและปริมาณแตกต่างกัน โดยปริมาณ PAHs รวมของตัวอย่างตะกอนผิวหน้าตามแม่น้ำท่าจีนอยู่ในช่วง 0.22 – 1.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การสะสมของ PAHs รวมในตะกอนตามความลึกบริเวณคลองสุนัขหอน แสดงแนวโน้มของ PAHs ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันมีการสะสมของ PAHs มากกว่าในอดีต แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ตามความลึกตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำมีแนวโน้มไม่ชัดเจน อาจเนื่องจากการขุดลอกร่องน้ำบริเวณปากแม่น้ำทำให้รบกวนการสะสมและการตกตะกอนของสารในบริเวณนี้