

บทที่ 2

โครงการที่ 1: แหล่งกำเนิดและการกระจายของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนชายฝั่ง บริเวณเกาะสีชังและศรีราชา จ.ชลบุรี

Sources and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Coastal Sediments of Sichang and Siracha, Chonburi Province

โดย

รศ.ดร. กัลยา วัฒนากร

บทคัดย่อ

ศึกษาองค์ประกอบและแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 26 ตัวอย่างจากทะเลชายฝั่งระหว่างศรีราชา-เกาะสีชังด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี(GC-FID) พบความเข้มข้นรวมของ PAHs 16 ชนิดตามรายชื่อของ US EPA อยู่ในช่วง 65.2-18,970 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย (median concentration) เท่ากับ 282 นาโนกรัม/กรัม ตัวอย่างตะกอนดินที่มีความเข้มข้นของ PAHs สูงที่สุดพบที่บริเวณท่าเรือทางตอนใต้ของเกาะสีชัง) ระดับของ PAHs ที่ตรวจพบบ่งชี้การปนเปื้อนในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับ PAHs ที่พบในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลอื่นของโลก PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4-6 วงมีสัดส่วนสูงโดยเฉลี่ย 87% ของ PAHs รวม โดยทั่วไปพบ Dibenzo[a,h]anthracene Benzo[b]fluoranthene Benzo[ghi]perylene Benzo[a]pyrene และ Fluoranthene ในปริมาณสูงกว่า PAHs ตัวอื่นเกือบทุกตัวอย่าง การวิเคราะห์อัตราส่วนองค์ประกอบระหว่าง PAHs ที่ใช้บ่งชี้แหล่งกำเนิดพบว่า PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาหลักจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยมีบางสถานที่ที่พบ PAHs มีแหล่งที่มาทั้งจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและจากการเผาไหม้ การตรวจพบ PAHs หลายชนิดที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งได้ในตะกอนในพื้นที่ศึกษา บ่งชี้ว่าตะกอนเหล่านี้เป็นตะกอนที่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งควรมีการตรวจติดตามต่อไปพร้อมกับกระบวนการจัดการชายฝั่งที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดผลกระทบทางด้านลบต่อระบบนิเวศชายฝั่งและต่อสุขภาพของมนุษย์

คำสำคัญ: โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แหล่งที่มา จากการเผาไหม้ จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

Abstract

The objectives of this study were to determine the concentration and types, characteristic distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments collected from Ko Sichang and Siracha coastal marine area, as measured by GC-FID. The results showed that the total concentrations of 16 PAHs US EPA priority pollutants ranged from 65.2 to 18,970 ng/g dry weight (median concentration was 282 ng/g), which indicated that the level of total PAHs concentrations were at moderate level compared to those observed in other regions. The PAHs profiles were dominated by four- to six-ring compounds which accounted for 87% of total PAHs. Dibenzo[a,h]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[ghi]perylene, benzo[a]pyrene and fluoranthene represented the highest fractions in most surface sediment samples. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated that composition of PAHs in most sediment samples were characterized by pyrogenic PAH compositions. However, surface sediments from some stations exhibited a mixed petrogenic and pyrogenic sources. The presence of almost all human carcinogenic PAHs in the analyzed areas indicate that these sediments can be considered polluted, suggesting that future monitoring programs together with an effective coastal management program must be implemented in order to reduce the negative impact on valuable coastal ecosystems as well as to human health.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs, source, pyrogenic, petrogenic

2.1 บทนำ

2.1.1 ความสำคัญและที่มาในการวิจัย

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารพิษอินทรีย์ที่มีความคงทน (Persistent Organic Pollutants, POPs) เป็นสารพิษที่มีความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) ได้กำหนดให้ PAHs 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรได้รับความสำคัญศึกษาในอันดับต้นๆ (priority PAHs) เนื่องจาก PAHs มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั่วไปรวมถึงสัตว์ทะเลเลี้ยงลูกด้วยนม และมีผลกระทบต่อความเสี่ยงสำหรับสุขภาพมนุษย์เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ PAHs จัดอยู่ในกลุ่มสารเคมีที่พบกระจายทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป PAHs เป็นสารพิษที่สามารถสะสมได้ดีในไขมันและมีความคงทนในธรรมชาติ จึงทำให้มีการสะสมในตะกอนดินของสิ่งแวดล้อมทางทะเลและชายฝั่ง การทับถมของตะกอนดินที่ปนเปื้อน PAHs เป็นที่มาของการสัมผัส PAHs โดยตรงไปสู่สิ่งมีชีวิตบริเวณพื้นที่ท้องทะเล และการสัมผัสทางอ้อม (เช่น จากสารแขวนลอย) ไปยังสิ่งมีชีวิตบริเวณน้ำขึ้นบนของทะเล

PAHs เป็นกลุ่มสารเคมีซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ ขยะ หรือสารอินทรีย์อื่นๆ สาร PAHs สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ก็ได้ แหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมทั่วไปมาจากการเผาไหม้ เช่น จากการปล่อยควันเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากยานพาหนะ จากโรงงานอุตสาหกรรม และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว หรือการหกรั่วไหลของน้ำมันต่างๆ จากกิจกรรมมนุษย์ลงสู่แหล่งน้ำจึงพบ PAHs ปนเปื้อนอยู่ทั่วไปในตะกอนพื้นท้องทะเล บริเวณที่มีปริมาณสูงมักเนื่องมาจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมมนุษย์ โดยอิทธิพลโดยตรงของแหล่งที่มาเหล่านี้มีผลต่อการกระจายของสารพิษ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเล การเกิดขึ้นของ PAHs ซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ จึงมีแนวโน้มจะยึดเกาะอยู่กับอนุภาคสารแขวนลอยที่มีการเคลื่อนที่และสะสมในตะกอนดินในที่สุด

บริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลศรีราชาและเกาะสีชัง จ.ชลบุรี เป็นพื้นที่จอดเรือทอดสมอที่มีการจอดเรือสินค้าขนาดใหญ่และเรือบรรทุกน้ำมันมาเป็นระยะเวลายาวนาน มีการขนถ่ายถ่านหินแบบเทกองจากเรือใหญ่เพื่อนำต่อไปยังแหล่งใช้ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองถ่านหิน ซึ่งเมื่อฝุ่นถ่านหินตกสู่พื้นผิวน้ำทะเลจะถูกดูดซับบนสารแขวนลอยและจมตัวลงสะสมในตะกอนดินพื้นท้องทะเล PAHs ทั้งในถ่านหินและน้ำมันจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและสัตว์น้ำ ตลอดจนคุณภาพชีวิตของชุมชนบนเกาะสีชัง เนื่องจากเมื่อ PAHs ได้สะสมเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในห่วงโซ่อาหารและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสุดท้าย ซึ่งข้อมูลต่างๆ ที่ได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม กำหนดแนวทางการควบคุม และป้องกันปัญหามลพิษเกี่ยวกับสาร PAHs บริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จ.ชลบุรีต่อไป

2.1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยมีดังนี้

1. วิเคราะห์ชนิด ปริมาณ และการกระจายของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนชายฝั่งระหว่างเกาะสีชังและศรีราชา จ.ชลบุรี
2. วิเคราะห์แหล่งกำเนิดของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1. เก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า 26 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ในทะเลระหว่างศรีราชา-เกาะสีชัง ประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร วิเคราะห์ชนิด ปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในตะกอนดิน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีใช้ตัวตรวจชนิดฟเลมไอออไนเซชัน (Flame Ionization Detector, FID) (GC/FID) และยืนยันการระบุชนิด PAHs ในตัวอย่างด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC/MS)
2. วิเคราะห์แหล่งกำเนิดของ PAHs ในตะกอนดินจากอัตราส่วนของสารประกอบ PAHs ว่ามีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม (Petrogenic sources) หรือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Pyrogenic sources)

2.2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ

บริเวณชายฝั่งทะเลที่ทำการศึกษารอบคลุมอำเภอศรีราชาและอำเภอเกาะสีชังบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน เกาะสีชังตั้งอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนในตรงข้ามกับอำเภอศรีราชา มีระยะห่างกันประมาณ 12 กิโลเมตร นอกจากจะเป็นสถานที่ท่องเที่ยวขึ้นชื่อของภาคตะวันออกแล้วเกาะสีชังยังเป็นที่เรือส่งออกสินค้าที่สำคัญของไทย เนื่องจากเกาะสีชังอยู่ในจุดทำเลที่เปรียบเสมือนที่กำบังคลื่นลมทะเลโดยธรรมชาติ ทำให้ด้านหลังเกาะเป็นจุดจอดเรือเดินทะเลที่เหมาะสมแก่การขนถ่ายสินค้า ในแต่ละวันจะมีเรือสินค้าจำนวนมากมาจอดเพื่อขนถ่ายสินค้าโดยเฉพาะสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของไทยเช่น มันสำปะหลัง ข้าวสาร น้ำตาลและกากถั่วเหลือง ส่วนสินค้าเข้าที่สำคัญได้แก่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านหิน และปุ๋ยเคมี เป็นต้น อำเภอศรีราชาเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม ท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบัง และโรงกลั่นน้ำมัน ทำให้มีเรือสินค้าต่างประเทศขนาดใหญ่เข้ามาเทียบท่าเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นทะเลบริเวณอำเภอศรีราชาและเกาะสีชัง จึงเป็นบริเวณที่สามารถรองรับการจอดเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ เพื่อดำเนินการขนถ่ายสินค้าลงเรือเล็กเข้าท่าเรือคลองเตยในกรุงเทพฯ รวมทั้งมีการทำประมงชายฝั่ง และมีการเดินเรือโดยสารข้ามฟาก ทำให้กิจกรรมทางน้ำค่อนข้างหนาแน่น ความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเลก็มีสูงตามไปด้วย

แหล่งกำเนิดและกิจกรรมสำคัญที่เป็นต้นเหตุของน้ำมันและอินทรีย์สารที่ลงสู่ทะเลชายฝั่งระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชาประกอบด้วย (1) โรงงานอุตสาหกรรมโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ และอื่นๆบริเวณชายฝั่งศรีราชา โดยเป็นโรงงานขนาดใหญ่จำนวน 16 โรงงานที่ติดชายฝั่งทะเล (2) ท่าเทียบเรือสินค้าประกอบด้วยท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบังซึ่งรองรับเรือขนาดใหญ่ที่ขนสินค้าแบบเทกองและแบบตู้ขนส่งสินค้ามีท่าเทียบเรือ 4 ท่า ท่าเรือน้ำลึกเกาะสีชังซึ่งรองรับเรือสินค้าขนาดใหญ่ที่มีระวางขนาด 10,000-240,000 ตัน และท่าเรือศรีราชาฮาร์เบอร์ซึ่งเป็นท่าเรือน้ำลึกเทียบชายฝั่งทะเลแบบ Jetty ที่มีโครงสร้างท่าเรือยื่นออกไปจากชายฝั่งทะเลมีท่าเทียบเรือจำนวน 4 ท่า นอกจากนี้ยังมีท่าเทียบเรือประมง 3 แห่ง ท่าเทียบเรื่อน้ำมันและปิโตรเลียม 1 แห่ง และท่าเทียบเรือท่องเที่ยว 1 แห่งในบริเวณศึกษา (3) กิจกรรมการขนถ่ายน้ำมัน ถ่านหิน ปูนซีเมนต์ผง

และอัดเม็ด และมันสำปะหลังอัดเม็ดกลางทะเล บริเวณที่เป็นเขตการขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังอัดเม็ดและ ถ่านหินในทะเล ระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชาแสดงในภาพที่ 2.1 โดยเรือขนส่งสินค้าจะจอดรอการขนส่งอยู่ บริเวณทิศตะวันออกของเกาะสีชังและเกาะขามใหญ่ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา(ระหว่าง พ.ศ.2547-2554)มี อุบัติเหตุที่ทำให้มีน้ำมันรั่วไหลบริเวณศรีราชา-เกาะสีชัง-แหลมฉบัง จำนวน 15 ครั้ง (<http://www.pcd.go.th>)

2.2.2 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

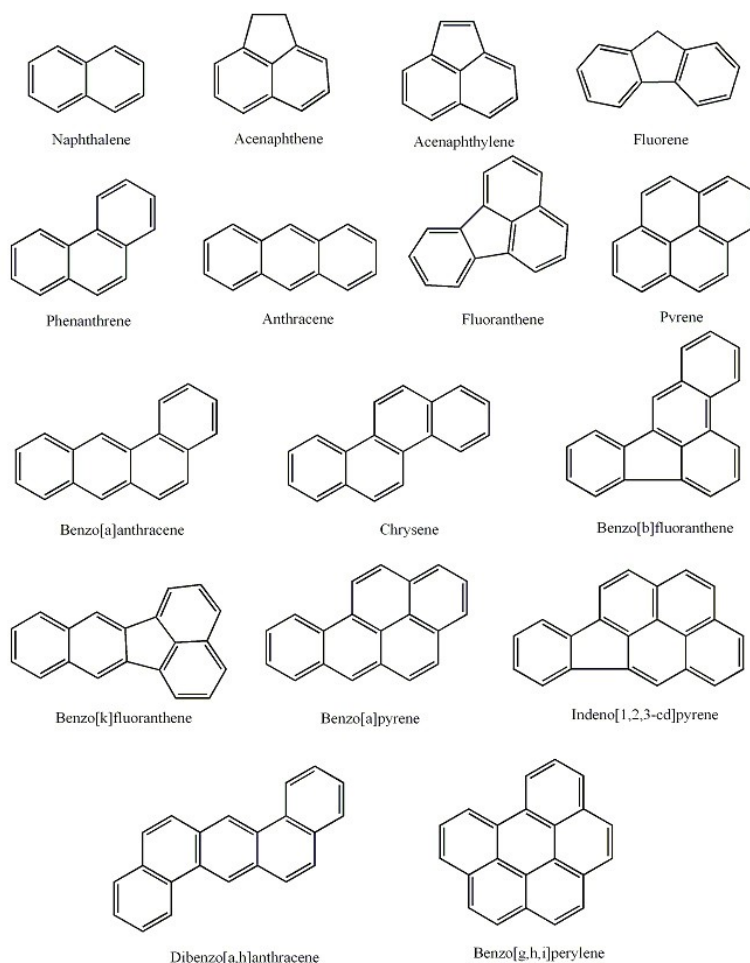
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ Polynuclear aromatic hydrocarbons หรือ polyarenes คือ กลุ่มสารเคมีที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกเบนซีนรวมกันตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป ในลักษณะที่เป็นเส้นตรง มุม หรือรวมกันเป็นกลุ่ม และมีเฉพาะ C และ H เท่านั้นที่เป็นองค์ประกอบ และมักจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ เช่นปิโตรเลียม ถ่านหิน น้ำมันดีเซล ฯลฯ PAHs ยังมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของอินทรีย์สารต่างๆ เช่น การเผาหญ้า ต้นไม้ ถ่านหิน น้ำมัน และขยะ เป็นต้น ซึ่งเป็นกิจกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ (anthropogenic source) รวมถึงการเผาไหม้ของป่าโดยธรรมชาติด้วย สาร PAHs หลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน PAHs มีมากกว่าร้อยชนิด แต่ละตัวมีผลกระทบต่อสุขภาพไม่แน่นอน ขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการละลายน้ำและโครงสร้างโมเลกุล



ภาพที่ 2.1 บริเวณที่เป็นเขตการขนถ่ายสินค้าในทะเลระหว่างเกาะสีชัง-ศรีราชา

สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency , EPA) ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้นๆ ประกอบด้วย Naphthalene(Nap) Acenaphthylene(Acy) Acenaphthene(Ace) Fluorene(Flu) Phenanthrene(Phe) Anthracene(Ant) Fluoranthene(Flt) Pyrene(Pyr) Benzo[a]anthracene(BaA) Chrysene(Chr) Benzo[b]fluoranthene(BbF) Benzo[k]fluoranthene(BkF) Benzo[a]pyrene(BaP) Indeno[1,2,3-cd]pyrene(InP) Dibenzo[a,h]anthracene(DBA) และ Benzo[g,h,i]perylene(BgP) โดยมีโครงสร้างโมเลกุลดังแสดงในภาพที่ 2.2

สาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ในกระบวนการต่างๆ เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องยนต์ในรถยนต์ รวมทั้งการปิ้งย่างอาหารประเภทเนื้อสัตว์ การเผาไหม้บุหรี และการเกิดไฟไหม้ป่า เป็นต้น นอกจากนี้สาร PAHs ยังพบอยู่ในเชื้อเพลิงทั่วไป เช่นในถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล เป็นต้น ดังนั้นจึงพบสาร PAHs ในสภาวะแวดล้อมทั่วไปได้ จากการรั่วไหลของน้ำมัน เชื้อเพลิงต่างๆเหล่านี้ หรือในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยสารประเภท alkylated PAHs ในเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อมพร้อมกับไอเสีย ส่วนสาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงของสารอินทรีย์อื่น รวมทั้งสาร PAHs ในน้ำมันหล่อลื่นเก่าที่ผ่านการใช้แล้ว จะเป็นสารประเภท non-alkylated PAHs (GESAMP, 1993)



ภาพที่ 2.2 สาร PAHs ที่กำหนดอยู่ในรายชื่อสารพิษของ U.S. EPA (USEPA, 2000)

2.2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงของแข็งจะไม่ละลายในน้ำ ส่วนสารประกอบที่มีความบริสุทธิ์และเป็นสารประกอบเดี่ยวกลายเป็นไอได้ที่มีความดัน 10^{-4} Torr (3wg)– 10^{-12} Torr (7wg) (ตารางที่ 2.1) และสารประกอบ PAHs สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดีที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 200–400 นาโนเมตร สามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยคลอรีน โอโซน และแสงอัลตราไวโอเล็ตเช่นเดียวกับสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ สาร PAHs ละลายน้ำได้น้อยมากเนื่องจากไม่สามารถแตกตัวให้อิออนได้ หรือเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดติดกับโมเลกุลของน้ำได้ (hydrophobicity) สาร PAHs จึงมักถูกดูดซับบนตะกอนแขวนลอยในแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงพบสาร PAHs ในน้ำในปริมาณค่อนข้างต่ำมาก สาร PAHs ที่ถูกดูดซับบนตะกอนแขวนลอย จะตกลงสู่พื้นท้องน้ำและสะสมอยู่ในชั้นของดินตะกอน ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในดินตะกอนสูงกว่าในน้ำถึง 1000 เท่า หรืออาจมากกว่านี้

PAHs เป็นสารที่มีความคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน หรือที่เรียกว่า Persistent Organic Pollutants (POPs) ทำให้ PAHs มีช่วงครึ่งชีวิต (half-life) ในสิ่งแวดล้อมที่ยาวนาน อย่างไรก็ตาม PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนอะโรมาติกเบนซีนน้อย (<4 วง) ถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายกว่า PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนอะโรมาติกเบนซีนมาก ตัวอย่างเช่น phenanthrene ที่มีวงแหวนอะโรมาติกเบนซีนเป็นองค์ประกอบ 3 วง มีช่วงครึ่งชีวิตอยู่ที่ 16–123 วัน ในขณะที่ benzo[a]pyrene มีวงแหวนเบนซีน 5 วงเป็นองค์ประกอบ มีช่วงครึ่งชีวิตอยู่ที่ 229–1,400 วัน หรือมากกว่า (Shuttleworth and Cerniglia, 1995)

2.2.2.2 แหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

1. ธรรมชาติ (Natural source) เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า จากการสังเคราะห์ด้วยแบคทีเรียบางชนิดมาจากพืชชั้นสูง หรือเกิดจากการย่อยสลายจาก triterpenoid หรือ steroid ในตะกอนดินที่ทับถมกัน triterpenoid มีสารตั้งต้นเป็นกลุ่ม aliphatic isoprenoid ตัวที่เรียกว่า squalene สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ สาร PAHs ที่พบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจาก triterpenoid ได้แก่ perylene มีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก triterpenoid ถึง 30–70 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในพืชชั้นสูงที่มี triterpenoid ก็สามารถสังเคราะห์สาร PAHs ได้ โดยมีสารเริ่มต้นเป็น α -amyrin หรือ β -amyrin สารทั้งสองตัวสามารถใช้เป็นดัชนีบอกถึงแหล่งที่มาของสารที่กำเนิดมาจากธรรมชาติ (Budzinski et al., 1997)

2. การกระทำของมนุษย์ (anthropogenic source) จากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น แก๊สโซลีน ถ่านหิน น้ำมันดีเซล การปล่อยควันเสียจากยานพาหนะ การเผาขยะ การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ การสูบบุหรี่ การเผาทุ่งหญ้า เป็นต้น สาร PAHs ที่พบมาจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ ได้แก่ Fluoranthene Benzo[e]pyrene และ Benzo[g,h,i]perylene นอกจากนี้สาร PAHs มีความเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนเนื่องมาจากการหลั่งของน้ำมันจากถังเก็บ การเดินเรือ และมีการถ่ายเทไปยังบริเวณซึ่งทำให้เกิด

การรั่วซึมได้ เช่น การสำรวจและขุดเจาะ น้ำมัน หรือการรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน ทำให้มีปริมาณสาร PAHs ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้นๆมากกว่าปกติ ซึ่งสามารถทำให้เกิดพิษกลับพลันกับสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นได้ง่ายและยังทำให้เกิดการก่อตัวเป็นสารก่อมะเร็งและสารเปลี่ยนพันธุกรรมได้ในปริมาณที่น้อย พบว่าน้ำมันดิบที่รั่วไหลออกมาจะมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบอยู่มาก

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสาร PAHs

PAHs	ตัวย่อ	จำนวนวงแหวนเบนซีน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความสามารถในการละลายน้ำ (mg/l)	log k_{ow}	ความดันไอ (Torr at 20°C)
1. Naphthalene	Nap	2	80	218	30	3.37	4.9×10^{-2}
2. Acenaphthylene	Acy	3	92	265	3.93	4.07	2.9×10^{-2}
3. Acenaphthene	Ace	3	96	279	3.47	4.33	2.0×10^{-2}
4. Fluorene	Flu	3	116	293	1.98	4.18	1.3×10^{-2}
5. Phenanthrene	Phe	3	101	340	1.29	4.46	6.9×10^{-4}
6. Anthracene	Ant	3	216	340	0.07	4.45	1.9×10^{-7}
7. Fluoranthene	Flt	4	111	-	0.26	5.33	6.0×10^{-6}
8. Pyrene	Pyr	4	149	360	0.14	5.32	6.9×10^{-7}
9. Benzo[a]anthracene	BaA	4	158	400	0.014	5.61	5.0×10^{-9}
10. Chrysene	Chr	4	255	-	0.002	5.61	6.3×10^{-7}
11. Benzo[b]fluoranthene	BbF	5	167	-	1.2×10^{-3}	6.57	5.0×10^{-7}
12. Benzo[k]fluoranthene	BkF	5	217	480	5.5×10^{-4}	6.84	5.0×10^{-7}
13. Benzo[a]pyrene	BaP	5	179	496	3.8×10^{-3}	6.04	5.0×10^{-7}
14. Indeno[1,2,3-cd]pyrene	InP	6	163	-	0.062	7.66	1.0×10^{-10}
15. Dibenzo[a,h]anthracene	DBA	5	262	-	5.0×10^{-4}	5.97	1.0×10^{-10}
16. Benzo[g,h,i]perylene	BgP	6	222	-	2.6×10^{-4}	7.23	1.0×10^{-10}

ที่มา: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2010)

สาร PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ตามกระบวนการของการเกิดสามารถจำแนกประเภทได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ ดังนี้ (Page et al., 1999)

1. สาร PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (Petrogenic PAHs) คือ สาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมัน ปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยคุณสมบัติที่พบบ่อยคือ เป็นสารที่เป็นกลุ่มโมเลกุลหลักของ PAHs (Parent PAHs) ได้แก่ Naphthalene Fluorene Phenanthrene Dibenzothiophene และ Chrysene เป็นโมเลกุลที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2-4 วง กับกลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่ในโมเลกุล โดยที่พบว่าปริมาณของสารกลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่มักมีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มหลัก (unsubstituted PAHs)

2. PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของชีวมวลในปัจจุบัน เช่น การเผาป่า เผาหญ้า และเชื้อเพลิงฟอสซิล (ปิโตรเลียมและถ่านหิน) โดยโมเลกุลที่มักพบจะเป็น โมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs โดยมีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 4-5 วง โดยมักจะพบ Fluoranthene Pyrene Benzo[a]anthracene Chrysene Benzo[b+k]fluoranthene และ Benzo[a]pyrene

2.2.2.3 การกระจายของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

สาร PAHs แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น

- ในอนุภาคในบรรยากาศ เป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นจากสารประกอบเชิงซ้อนของของแข็งและของเหลว และมี PAHs เป็นองค์ประกอบร่วมด้วย ความสามารถในการถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยแสงของสาร PAHs ขึ้นกับอนุภาคที่ไปเกาะติดอยู่ สารประกอบเหล่านี้มาจากหลาย ๆ แหล่ง และอนุภาคเหล่านี้ก็ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ และแผ่กระจายไปทั่วสิ่งแวดล้อมนั้น มนุษย์จะสามารถรับสัมผัสกับ PAHs ได้ง่ายจากการหายใจเอาสาร PAHs ในบรรยากาศเข้าไป ทำให้มีโอกาสที่จะทำให้เกิดเป็นมะเร็งได้ง่าย

- ในดิน สารประกอบ PAHs เป็นสารที่กระจายอยู่ในดินได้เป็นบริเวณกว้าง และยังพบว่าสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากบริเวณที่อยู่อาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม และเชื่อว่าปริมาณของสารประกอบ PAHs ส่วนใหญ่มาจากการปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้พบว่าต้นไม้และพืชผักสามารถดูดซึมสารประกอบ PAHs จากในดินที่มีสารประกอบนี้ปนเปื้อนอยู่ได้เช่นกัน

- ในแหล่งน้ำ สารประกอบ PAHs สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วในแหล่งน้ำ เนื่องจากสารประกอบนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากการที่อนุภาคที่ถูกพัดพามาทางอากาศตกลงสู่ผิวน้ำ หรือจากการดูดซับที่ผิวน้ำที่สัมผัสโดยตรงกับสารประกอบเหล่านี้ในบรรยากาศ และจากน้ำเสีย และมลภาวะเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์เนื่องจากการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค

- ในตะกอนดิน สารประกอบ PAHs กระจายตัวอยู่ในน้ำและเกิดการรวมตัวกันเกิดการตกตะกอนไปสะสมอยู่ในตะกอนดินซึ่งมักพบว่ามีปริมาณมากกว่าในบริเวณผิวน้ำประมาณ 2-5 เท่า

- ในตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือน

- ในปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สารประกอบปิโตรเลียมหรือที่เรียกกันว่า “น้ำมันดิบ” เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติจากการทับถมกันของซากอินทรีย์ภายใต้พื้นผิวโลกเป็นเวลาหลายล้านปี เป็นสารที่มีสารประกอบ PAHs เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และมักจะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ของสารประกอบนี้สะสมอยู่ในตะกอนดิน ดังนั้นน้ำมันที่เหลือใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณที่มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่น และมีโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาก เนื่องจากต้องการใช้น้ำมันในกิจกรรมต่าง ๆ ปริมาณที่มาก ผลกระทบที่เกิดจากการใช้น้ำมันก็มากขึ้นตามลำดับ การปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำ มีสาเหตุมาจากหลายประการ ได้แก่

- 1) จากการขนส่งโดยเรือบรรทุกน้ำมัน มีโอกาสที่น้ำมันรั่วไหลในขณะที่ขนถ่าย
- 2) จากอุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันชนกันหรืออับปาง รวมทั้งการรั่วของถังน้ำมัน
- 3) การปฏิบัติการนอกชายฝั่ง เช่น การขุดเจาะน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติ การแตกหรือรั่วชำรุดของท่อส่งน้ำมันใต้ทะเล
- 4) จากโรงกลั่นน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงน้ำมันมีคราบน้ำมันบางส่วนปนอยู่หรือกรณีถังน้ำมันสำรองบนบกบริเวณชายฝั่งเกิดชำรุด หรือเกิดอุบัติเหตุทำให้มีน้ำมันรั่วไหลออกมา
- 5) จากการล้างทำความสะอาดถังน้ำมัน
- 6) น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่ง
- 7) น้ำทิ้งจากชุมชน รวมทั้งจากการชะล้างคราบน้ำมันบนถนนหนทางในเขตเมือง
- 8) จากบรรยากาศ
- 9) จากกระบวนการซึมผ่านตามธรรมชาติ

2.2.2.4 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

U.S. Department of Health and Human Services (USEPA, 2000) ได้สรุปว่า PAHs หลายตัวอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งได้ ตัวอย่างเช่น Benzo[a]anthracene, Benzo[a]pyrene, Benzo[b]fluoranthene, Chrysene, Dibenz[a,h]anthracene และ Indeno[1,2,3-cd]pyrene เป็นสาเหตุของการเกิดเนื้องอกจากการทดลองในห้องปฏิบัติการกับสัตว์ทดลองเมื่อให้สัตว์กิน ได้รับผ่านทางผิวหนัง หรือหายใจเอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปเป็นระยะเวลานาน และหน่วยงาน The International Agency for Research on Cancer (IARC, 2010) ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้จัดแยกกลุ่ม PAHs โดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) ของสาร PAHs แบ่งได้ 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็งและกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ทั้งนี้สาร Benzo[a]pyrene (BaP) ได้ถูกระบุว่าเป็นสารที่ก่อมะเร็งในคน ความเป็นพิษในแง่ต่างๆ ของสาร PAHs อาจแตกต่างกันไปได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงตัวของวงแหวนเบนซีนในโมเลกุลของสารกลุ่มนั้น ตัวอย่างเช่น Benzo[a]pyrene เป็นสารพิษที่พบว่าสามารถก่อให้เกิดมะเร็งอย่างรุนแรงในสัตว์ทดลอง ส่วนสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากันแต่ต่างกันที่ลักษณะการจัดเรียงตัวของวงแหวนเบนซีนในโมเลกุลคือ Benzo[e]pyrene กลับไม่ได้ก่อให้เกิดภาวะการเกิดเซลล์มะเร็งขึ้น สาร Benzo[b]fluoranthene ก็เป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง ในขณะที่คู่เหมือนคือ Benzo[k]fluoranthene ไม่ได้ก่อให้เกิดเซลล์มะเร็ง เช่นเดียวกันกับ Benz[a]anthracene ซึ่งพบว่ามี ความรุนแรงในการเป็นสารก่อมะเร็งมากกว่า Chrysene เป็นต้น ความเป็นพิษของสาร PAHs ยังขึ้นกับความสามารถในการละลายน้ำของมันด้วย โดยสาร PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าและละลายน้ำได้ดีกว่า เช่น Naphthalene และ Phenanthrene ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนเพียง 2 และ 3 วงตามลำดับ จะมีความเป็นพิษเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำสูงกว่าสาร PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า (Kennish, 1992)

1.ผลกระทบต่อมนุษย์

PAHs สามารถที่จะเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยทางเดินหายใจ การหายใจเอาอากาศที่มี PAHs เจือปนเข้าไป สำหรับคนที่อยู่ใกล้กับแหล่งขยะอันตราย การดื่มน้ำที่ การกินอาหาร ดิน หรืออนุภาคฝุ่นที่มี PAHs เจือปน ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ร่างกายได้รับ PAHs ภายใต้อิทธิพลของ PAHs ก็เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดย ถ้าหากผิวหนังไปสัมผัสกับดินที่มี PAHs เจือปนอยู่ในระดับที่สูง

PAHs เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่ายและรวดเร็วทุกๆทาง อัตราการเข้าสู่ร่างกายจะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของ Oil mixture และจะเข้าสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน และมีการสะสมอยู่ในไต ตับ และไขมัน เป็นส่วนมาก บางส่วนก็สะสมอยู่ในร่างกายได้ไม่นานมาก เนื่องจากจะถูกขับถ่ายออกโดยทางปัสสาวะและอุจจาระ PAHs แพร่กระจายอยู่ตามสภาพแวดล้อม มนุษย์อาจได้รับสารเหล่านี้ทั้งภายในบ้าน นอกบ้าน หรือที่ทำงาน และไม่ว่าจะได้รับ PAHs เพียงตัวเดียวแต่จะได้รับ PAHs ที่เป็นสารผสมรวมกันหลายๆตัว ในสภาพแวดล้อมมนุษย์จะได้รับ PAHs มาจากแหล่งต่างๆ เช่น ไอเสียจากยานพาหนะ ถนนลาดยางมะตอย ถ่านหิน ไฟป่า การเผาพืชพันธุ์ทางการเกษตร และขยะอันตราย ในชนบทสามารถตรวจวัด PAHs ในระดับปกติประมาณ 0.02 – 1.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มนุษย์อาจได้รับ PAHs ที่ปะปนอยู่ในดินที่อยู่บนหรือใกล้ๆกับแหล่งขยะอันตราย เช่น โรงงานผลิตแก๊สเก่า โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ PAHs ยังพบในแหล่งน้ำดื่มซึ่งในสหรัฐพบว่า PAHs อยู่ในน้ำดื่มประมาณ 4-24 นาโนกรัมต่อลิตร (USEPA,2000)

2.ผลกระทบต่อสัตว์ทะเล

จากการศึกษาของ Shore et al., (1999) พบว่า นกทะเลที่อยู่บริเวณชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำมันที่รั่วไหลมาจากเรือบรรทุกน้ำมันบริเวณ Exxon Valdez ซึ่งเป็นน้ำมันดิบ พบว่าทำให้นกทะเลหลายชนิดได้รับผลกระทบต่อไข่และตัวอ่อนของนก รวมทั้งการพัฒนาการของการฟักไข่ของนก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.3

3.ผลกระทบที่เกิดกับสัตว์ทดลอง

หนู Mice ที่กิน Benzo[a]pyrene ระดับสูง ในช่วงระหว่างการตั้งท้องจะทำให้หนู mice ที่ตั้งท้องซึ่งกิน Benzo[a]pyrene เข้าไปแสดงอาการให้เห็นเช่น มีความผิดปกติขณะคลอด และน้ำหนักลด อาจเหมือนกับผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ แต่ไม่มีข้อมูลที่จะมาแสดงให้เห็นถึงผลกระทบนี้ ดังที่ได้มีการศึกษาในหนูหลาย ๆ ชนิด ดังตารางที่ 2.4 การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า PAHs เป็นสาเหตุในการเกิดความผิดปกติของผิวหนัง และของเหลวในร่างกาย ส่งผลต่อความเจ็บป่วยหลังจากที่ได้รับ PAHs ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อย่างไรก็ตามผลกระทบเหล่านี้ยังไม่มีรายงานในมนุษย์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมต่างๆมีการศึกษากันมาก ในที่นี้จะกล่าวถึงการศึกษาที่ผ่านมาพอเป็นสังเขปดังนี้

Page et al., (1999) ศึกษาการสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากกิจกรรมการเผาไหม้ทำให้เกิดการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณ Prince William Sound อ่าว Alaska โดยทำการศึกษาในบริเวณใกล้ฝั่งเพื่อที่จะทราบถึงประวัติกิจกรรมของมนุษย์ พบว่าในอดีตมีปริมาณสาร PAHs อยู่ในระดับที่สูงมาก สาเหตุมาจากการเกิดไฟไหม้ป่า ทำให้สาร PAHs ตกลงมาสะสมในตะกอนดินรวมกับสาร PAHs ที่มีอยู่เดิมซึ่งมาจากธรรมชาติก็มาจากการรั่วซึมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มาจากบริเวณทางตะวันออกของอ่าว Alaska นอกจากนี้ก็ยังพบว่ามีสาร PAHs ส่วนหนึ่งมาจากละอองน้ำมันที่มาจาก Exxon Valdez ซึ่งเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณสาร PAHs ทั้งหมด

Kim et al., (1999) ศึกษาการกระจายและแหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณอ่าว Kyeonggi ประเทศเกาหลี พบว่าปริมาณสาร PAHs รวม อยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง ค่าเฉลี่ย 120 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การกระจายของสาร PAHs พบว่ามีความเข้มข้นมากที่สุดบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดและจะมีปริมาณน้อยลงเมื่อห่างแหล่งกำเนิดออกไป

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

PAHs, สิ่งมีชีวิต และอื่น ๆ	Concentration in medium ^a	Effect ^b
Benzo[a]pyrene Sandworm, <i>Neanthes arenceodentata</i>	>1,000	LC-50 (96h)
Chrysene Sandworm	>1,000	LC-50 (96h)
Dibenz[a,h]anthracene Sandworm	>1,000	LC-50 (96h)
Fluoranthene Sandworm	500	LC-50 (96h)
Fluorene Grass shrimp, <i>Palaemonetes pugio</i>	320	LC-50 (96h)
Amphipod, <i>Gammarus Psuedoliminaeus</i>	600	LC-50 (96h)
Sandworm	1,000	LC-50 (96h)
Sheepshead minnow, <i>Cyprinodon variegatus</i>	1,680	LC-50 (96h)
Naphthalene Copepod, <i>Eurytemora affinis</i>	50	LC-30 (10d)
Pink salmon, <i>Oncorhynchus gorbusha</i> , fry	920	LC-50 (24h)
Dungeness crab, <i>Cancer magister</i>	2,000	LC-50 (96h)
Grass shrimp	2,400	LC-50 (96h)
Sheepshead minnow	2,400	LC-50 (96h)
1-Methylnaphthalene Dungeness crab, <i>Cancer</i>	1,900	LC-50 (96h)
Sheepshead minnow	3,400	LC-50 (96h)
2-Methylnaphthalene Grass shrimp	1,100	LC-50 (96h)
Trimethylnaphthalenes Copepod, <i>Eurytemora affinis</i>	2,000	LC-50 (24h)

Phenanthrene Grass shrimp	370	LC-50 (24h)
1-Methylphenanthrene Sandworm	300	LC-50 (96h)

ที่มา: Kennish (1992)

หมายเหตุ: a คือ ความเข้มข้นหน่วย $\mu\text{g/L}$; b คือ m= month d=day h= hours

Oanh et al., (1999) ศึกษาการปล่อยสาร PAHs และ Particulate Matter ออกมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในครัวเรือนบริเวณ Southeast Asia โดยการวัดจากการปล่อยควันเสียของเตา 3 ชนิดที่ใช้ในบ้านเรือน ได้แก่ Eucalyptus wood sticks open burning, charcoal stove , coal briquette วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC/FLD พบว่าปริมาณสาร PAHs ที่ถูกปล่อยออกมาจาก wood burning มีปริมาณมากที่สุดและพบว่ามีทั้งหมด 18 ชนิด มี 11 ชนิดที่มีผลทางด้านพันธุกรรม ในขณะที่ charcoal stove จะให้ปริมาณสาร PAHs ที่น้อยที่สุด จากการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการเผาไหม้โดยใช้ charcoal fuel เป็นระบบที่ก่อให้เกิดมลพิษเนื่องจากสาร PAHs น้อยที่สุด

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง

PAHs	ขนาดที่ได้รับ	ผลที่เกิด
Benzo[a]anthracene	5มก. ต่อหนู 1 ตัวที่กำลังตั้งครรภ์	ตัวอ่อนตายภายใน 1 วันและลดประสิทธิภาพของการผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจน
Benzo[k]fluoranthene	0.1 หรือ 0.5 % ในอะซิโตนที่ทาบบนผิวของหนูตัวเมีย	8/20, 3/20 จะตายภายใน 13 เดือน
Benzo[ghi]perylene	0.2 มล 0.01 % ในโคคลอโรมีเทน	32/50 ไม่มีการตาย 3/50 ไม่เป็นเนื้องอก
Chrysene	0.3% ใน benzene 440วัน สำหรับหนู 20, 50 และ 100 ตัว ถูกทาที่บริเวณผิวหนัง	20/170 ไม่เป็นเนื้องอก 50/170 ทำให้เป็นหูด 30/170 ยังคงมีชีวิตอยู่จนถึง 6 เดือน

ที่มา: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2010)

Yim et al., (2005) ศึกษาการกระจายและลักษณะเฉพาะของ PAHs ในตะกอนดินจากอ่าว Masan ประเทศเกาหลี 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 การวิเคราะห์บ่งชี้แหล่งกำเนิด

ที่มาจาก การเผาไหม้ (Pyrolytic source fingerprint) พบว่ามีอิทธิพลเล็กน้อยจากแหล่งกำเนิดที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic source) ในบริเวณที่ศึกษา

Hyun et al., (2005) ศึกษาประสิทธิภาพในการย่อย PAHs โดยจุลินทรีย์ในตะกอนดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันถ่านหิน (Coal tar) ในห้องปฏิบัติการ มีสมมติฐานว่าตะกอนดินที่มีความสมดุลของออกซิเจนและปริมาณสารอาหารที่เพียงพอในชั้นทรายที่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ มีปริมาณการปนเปื้อนของ PAHs ลดลง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการปนเปื้อนลดน้อยลงตามความลึกของน้ำเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ลดน้อยลงในระดับลึก โดยทำการศึกษาแบบแบทช์ (Batch) กับชุมชนจุลินทรีย์ที่คัดแยกจากตะกอนดินที่มีการปนเปื้อน PAHs กำหนดให้มีการเติมสารอาหารและการให้ออกซิเจนที่แตกต่างกัน ผลจากการศึกษาการย่อยสลาย PAHs จากสารละลายที่สกัดได้จากตะกอนดินที่ปนเปื้อนถ่านหินในระยะเวลา 30 วัน พบว่าความเข้มข้นของออกซิเจนและสารอาหารเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมอัตราการย่อยสลาย PAHs ในตะกอนดิน

Qiao et al., (2005) ศึกษาองค์ประกอบและแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 25 ตัวอย่างจากอำเภอ Meiliang, ทะเลสาบ Taihu, ประเทศจีนในปี 2003 ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography – Mass Spectrometry, GC-MS) พบความเข้มข้นรวมของ PAHs (16 ชนิด ตาม US EPA) อยู่ในช่วง 1,207–4,754 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างตะกอนดินที่มีความเข้มข้นของ PAHs สูงที่สุดพบที่บริเวณทางตอนเหนือของอำเภอ ซึ่ง PAHs มีแหล่งที่มาจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียง ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง (High – temperature pyrolytic process) ขณะที่ระดับ PAHs ที่อยู่ทางตอนใต้มีปริมาณค่อนข้างต่ำ มีแหล่งกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic process) ระดับของ PAHs ที่สำรวจได้มีปริมาณสูงกว่า PAHs ที่พบในตะกอนดินทั่วไปในแม่น้ำของประเทศจีน แต่ต่ำกว่าตะกอนดินของพื้นที่ชุมชนและบริเวณอำเภอ

Yim et al., (2007) ศึกษาการกระจายของ PAHs ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์เพื่อประเมินการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินจากสิ่งแวดล้อมทางทะเลประเทศเกาหลี 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 ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งและบริเวณที่อยู่ไกลฝั่งออกไปใช้ดัชนีและสถิติในการอธิบายแหล่งกำเนิด PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic) และมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic) ในตะกอนดิน จากการคำนวณค่าอัตราส่วนของ PAHs (PAHs quotient) พบว่าประมาณ 7.76% ของตัวอย่างที่วิเคราะห์มีค่าอัตราส่วนของ PAHs เฉลี่ย > 1.0 แสดงว่ามีความเป็นไปได้ในการเกิดผลกระทบทางด้านลบต่อสิ่งมีชีวิตที่มีความอ่อนไหวในอ่าว Youngil

Stout et al., (2008) ศึกษาความเข้มข้นและลักษณะเฉพาะของ PAHs และสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ในถ่านหิน 15 แหล่ง โดยใช้ไดคลอโรมีเทนสกัดที่อุณหภูมิห้อง ตามวิธี EPA Method 3500 พบความเข้มข้น

ของไฮโดรคาร์บอนที่สามารถสกัดได้ทั้งหมด (Total Extractable Hydrocarbons, TEH) มีปริมาณอยู่ในช่วง 8.2–2,500 ไมโครกรัมต่อกรัมถ่านหิน(น้ำหนักแห้ง) ความเข้มข้นของ PAHs มีปริมาณอยู่ในช่วง 35 – 11,000 ไมโครกรัมต่อกรัมถ่านหิน(น้ำหนักแห้ง) หรือ 38–12,000 นาโนกรัมต่อกรัมคาร์บอน และมีการผันแปรตามตำแหน่งแหล่งที่เกิดของถ่านหิน PAHs ที่สามารถสกัดได้จากถ่านหินมีผลมาจาก“แหล่งกำเนิด” และ “การเปลี่ยนแปลงตามอายุ (Maturity)” โดยเรียงลำดับจากแอนทราไซต์, บิทูมินัส, ซับบิทูมินัส และ ลิกไนต์ ตามลำดับ

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) มาจากพื้นที่ในเขตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อตัวน้ำ

นอกจากการศึกษาที่กล่าวแล้วยังมีการศึกษาในตะกอนบริเวณชายฝั่งประเทศต่างๆดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในตะกอนชายฝั่งบริเวณต่างๆของโลก

บริเวณที่ทำการศึกษา	พิสัย (ng/g น้ำหนักแห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ng/g น้ำหนักแห้ง)	รายการอ้างอิง
Western Mediterranean Sea *	180-3200	1300	Lipiatou and Salot (1991)
New Bedford Harbour, MA	63,000	-	Kennish (1992)
Adriatic Sea *	18-580	200	Caricchia et al., (1993)
Manukau Harbour, New Zealand*	16-5300	820	Holland et al., (1993)
Casco Bay, USA*	16-21000	2900	Kennicutt et al., (1994)
Baltic sea*	720-1900	1200	Witt et al., (1995)
San Diego Bay, USA*	80-20000	3000	Anderson et al., (1996)
Caribbean island of Guadeloupe	103-1656.5	-	Bernard et al., (1996)
Laguna Madra, United States	850-721000	-	Sharma et al., (1997)
Green Bay, Wisconsin	460-8040	6000	Su et al., (1997)
Kyeonggi Bay, Korea	9.1-1400	120	Kim et al., (1999)
Casco Bay, USA	16-20,748	2900	Kennicutt et al., 1999
Northwestern Black sea	52.6-269	136	Maldonado et al., 1999
South China sea	24.7-275.4	146	Yang, 2000

Dalian Bay, China	32.7-3558	152.08	Liu et al., 2001
Todos Santos Bay, Mexico	7.6-813	96	Macias-Zamora, 2002
Daya Bay, China	42.5-158.2	126.2	Yan et al., 2009
Gulf of Aden, Yemen	2.2-604	82.4	Mostafa et al., 2009

* ที่มา Kim et al., (1999)

สำหรับประเทศไทยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนดังนี้ (Wattayakorn, 2012)

พรศรี สุทธนารักษ์ (2534) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนดินที่เก็บในบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเห็ดลิเก้เก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยวิเคราะห์สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่แยกจากคอลัมน์โครมาโทกราฟีโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) พบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนรวม ในช่วง 0.003–0.32 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.05 ± 0.07 ไมโครกรัมต่อกรัม สาร PAHs ที่พบได้แก่ Acenaphthene Dibenzothiophene Phenanthrene Anthracene 1-methylphenanthrene Pyrene และ Benzo[a]pyrene

เกศินี สรรวานิช (2534) ทำการศึกษาสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนดิน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินพบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่มีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2–6 วง โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 2.71 ± 0.46 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างหอยแมลงภู่ตรวจพบสาร PAHs ได้แก่ naphthalene biphenyl 2,6-dimethylnaphthalene dibenzofuran fluoranthene pyrene และ chrysene โดยมีปริมาณในช่วง 12.5–81.0 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

จรรยา สารินทร์ (2537) ทำการศึกษาสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึกของแท่งดินตะกอนที่เก็บจากบริเวณอ่าวไทยจำนวน 8 สถานี วิเคราะห์โดยวิธี GC ใช้คอลัมน์ชนิด Fused silica capillary และตัวตรวจวัดแบบเฟลมไอโอไนเซชัน ผลการวิเคราะห์สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนกลุ่ม PAHs พบน้อยมากทั้งปริมาณและชนิด โดยสารส่วนใหญ่ที่พบคือ Dibenzothiophene 1,2-dihydro-1-phenylnaphthalene และ 2-methylphenanthrene โดยมีปริมาณรวมของ PAHs ในตะกอนชั้นบนของแต่ละสถานีดังนี้ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีค่าในช่วง 38.7 - 123.5 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง บริเวณชายฝั่งตะวันตกมีค่า 66.9 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง บริเวณชายฝั่งตะวันออกมีค่า 43.1 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง บริเวณอ่าวไทยตอนล่างมีค่าในช่วง 13.6–67.3 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

กฤตยาพร ทัพพะทัต (2538) ศึกษาปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วง trace–1.99 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ± 0.18 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณเฉลี่ยรวมตามการใช้พื้นที่ที่มีปริมาณสูงสุดในบริเวณชุมชน ตามมาด้วยบริเวณ

อุตสาหกรรมและเพาะเลี้ยง ปริมาณ PAHs เปลี่ยนตามระยะทางค่าสูงสุดอยู่ในบริเวณชายฝั่ง และลดลงตามระยะทางที่ห่างฝั่งตามลำดับ

เชาวน์ นกอยู่ (2538) ศึกษาการปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนและตัวอย่างหอยแมลงภู่ ซึ่งเก็บจากบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน พบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) มีจำนวนวงตั้งแต่ 2-6 วง โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 1.93 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในเดือนพฤษภาคม และ 2.14 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งในเดือนกันยายน สาร PAHs ที่พบได้แก่ Naphthalene Biphenyl 2,6-dimethylnaphthalene Fluorene Anthracene 1-methylphenanthrene Fluoranthene Pyrene และ Chrysene มีค่าความเข้มข้นของ PAHs แต่ละตัวอยู่ในช่วง 15.6-76.8 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แหล่งกำเนิดของสารไฮโดรคาร์บอนในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมัน โดยการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากชุมชน น้ำทิ้งอุตสาหกรรม การคมนาคมทางเรือ และเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ

กัลยา วัฒนากร (2543) ศึกษาการปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทรีแม่น้ำเจ้าพระยา ทำการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งแบบแผ่น และทดสอบด้วยวิธี HPLC พบว่า Empore™ extraction disk สามารถสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างน้ำแม่น้ำ และน้ำทะเลที่มีระดับความเค็ม ตั้งแต่ 5 – 35 psu ได้ดี โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนคืนกลับ (% recovery) ของการสกัดสารอยู่ในช่วง 60 – 88 เปอร์เซ็นต์ สาร Naphthalene และ Anthracene มีค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนคืนกลับต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 60 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับความแปรปรวนของความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในแหล่งน้ำต่างๆ ได้ทั่วไป และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณของสาร PAHs พบว่า ในช่วงฤดูน้ำหลากและช่วงฤดูแล้ง พบสาร PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2-3 วงเป็นส่วนใหญ่ เช่น Naphthalene Acenaphthene Fluorene Phenanthrene และ Anthracene ซึ่งพบในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.37 นาโนกรัมต่อลิตร โดยปริมาณสาร PAHs รวมที่พบในช่วงฤดูน้ำหลากสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง

Boonyatumanond (1999) วิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำ โดยอาศัยเทคนิคไฮเปอร์ฟอร์แมนลิควิดโครมาโทกราฟี เพื่อที่จะพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ ที่มีหน่วยตรวจวัดแบบกรดและโฟโตไดโอดอาร์เรย์ โดยศึกษาเงื่อนไขในการแยกสารประกอบ PAHs 16 ชนิด โดยระบบ gradient elution mode เทคนิคการสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้ถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิควัฏภาคของแข็ง และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เช่น การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการผ่านเข้าระบบการสกัดอย่างมีประสิทธิภาพโดยทดลองกับตัวอย่างน้ำประปาและน้ำจากแม่น้ำ นอกจากนั้นได้ทำการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์โดยการเติมสารที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างจริง การหาความสามารถในการสกัดพบว่าสามารถวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 1 นาโนกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่สามารถพบในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมทั่วไป

วรารณ ศรีมูล (2544) ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวหน้าที่เก็บจากอ่าวศรีราชา จ. ชลบุรี ผลการศึกษาพบสาร Anthracene Fluoranthene และ

Dibenz[a,h]anthracene ในปริมาณที่สูงกว่า PAHs ตัวอื่นๆ ปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 1.31-3.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 2.44 ± 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) การปนเปื้อนของสารไฮโดรคาร์บอนในบริเวณอ่าวศรีราชายังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับบริเวณที่มีปัญหาภาวะมลพิษทางน้ำมันจากบริเวณอื่นของโลก

Wattayakorn and Chaipuriwong (2006) ศึกษาการกระจายของสาร PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าและในแท่งตะกอนดินจากบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน พบว่าปริมาณ PAHs รวมของตัวอย่างตะกอนผิวหน้าตามลำน้ำท่าจีนอยู่ในช่วง 263 ถึง 1,524 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 503 นาโนกรัมต่อกรัมสาร PAHs ที่พบได้มากได้แก่ Naphthalene, Biphenyl, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Chrysene, Benzo[a]anthracene, Perylene, Anthracene, Fluoranthene และ Pyrene การกระจายของสาร PAHs รวมในตะกอนดินผิวหน้าพบว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs จะเป็นบริเวณที่พบการสะสมได้มากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลแหล่งกำเนิดออกไป การสะสมของสาร PAHs รวมในตะกอนตามความลึกแสดงแนวโน้มของ PAHs ที่ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันมีการสะสมของสาร PAHs มากกว่าในอดีต การพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs จากดัชนี Fluoranthene/Pyrene Phenanthrene/Anthracene ΣMPhe/Phe และ (2+3-ring)PAHs/(4+5-ring)PAHs พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในดินตะกอนบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ เช่น จากการปล่อยควันเสียจากยานพาหนะจากโรงงานอุตสาหกรรม และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งกำเนิดรองมาจากการปนเปื้อนจากน้ำมัน

Boonyatumanond et al., (2006; 2007) ศึกษาการปนเปื้อนของสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และหาสาเหตุหลักและแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณคลองที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดอยุธยาถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาจังหวัดสมุทรปราการ และบริเวณชายฝั่งทะเลของไทย จากตัวอย่างตะกอนผิวหน้าจำนวน 41 ตัวอย่าง และแท่งตะกอนดินจำนวน 4 แท่ง พบปริมาณ PAHs รวมมีความเข้มข้นเฉลี่ยบริเวณคลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำ และชายฝั่งทะเลเท่ากับ 2,290, 251, 178 และ 50 นาโนกรัมต่อกรัม(น้ำหนักกรัมแห้ง)ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของสาร PAHs มีแนวโน้มลดลงจากแหล่งน้ำที่ใกล้แผ่นดินสู่แหล่งน้ำไกลออกไป แหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนสามารถสรุปได้ว่ามาจากทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และ PAHs จากการเผาไหม้ผสมกัน โดยมาในรูปแบบฝุ่นจากถนนและดินที่ถูกชะลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยมีองค์ประกอบของ PAHs และ Hopanes สอดคล้องกับในตะกอนดินในพื้นที่ศึกษา การสะสม PAHs ในตะกอนจากการศึกษานี้พบว่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับในประเทศต่างๆ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นประเทศอุตสาหกรรมและมีปัญหาการปนเปื้อน PAHs ในปริมาณสูงกว่า เช่น บริเวณอ่าวโตเกียว พบ PAHs ในช่วง 65-2,010 นาโนกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าอัตราส่วนของ MP/P อยู่ในช่วง 0.3-1.0 แสดงให้เห็นว่า PAHs มีรูปแบบ pyrogenic เป็นหลัก (Yamashita et al., 2000)

2.3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

2.3.1 สถานที่ทำการศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลศรีราชาและหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยกำหนดจุดเก็บตะกอนดินในทะเลจำนวน 26 สถานี (ภาพที่ 2.3) ครอบคลุมพื้นที่ในทะเลประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร โดยมีพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของสถานีเก็บตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก)

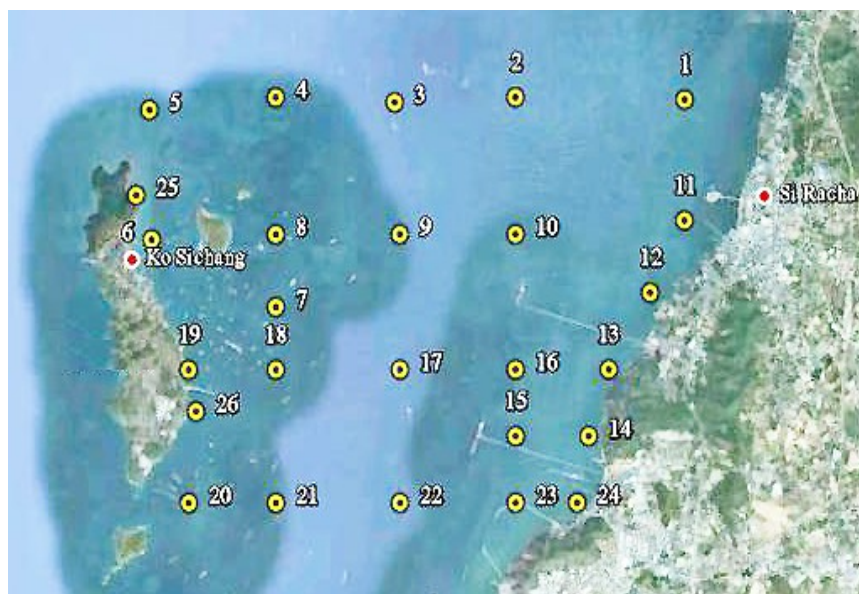
2.3.2 การเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดภาคสนาม

เก็บตัวอย่างตะกอนผิวหน้าโดยใช้ที่ตักดินแบบ Young-modified van Veen grab ขนาดพื้นที่ 0.1 ตารางเมตร ตักตะกอนดินผิวหน้าบรรจุใส่ขวดแก้วปากกว้างที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ปิดฝาและแช่แข็งไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างตะกอนดินจากบริเวณศึกษารวมทั้งหมด 26 สถานี วัดความเป็นกรด-เบส และค่ารีด็อกซ์โพเทนเชียล (Eh) ของตัวอย่างตะกอนดินทุกสถานีที่เก็บตัวอย่างด้วย

2.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของตัวอย่างตะกอนดิน

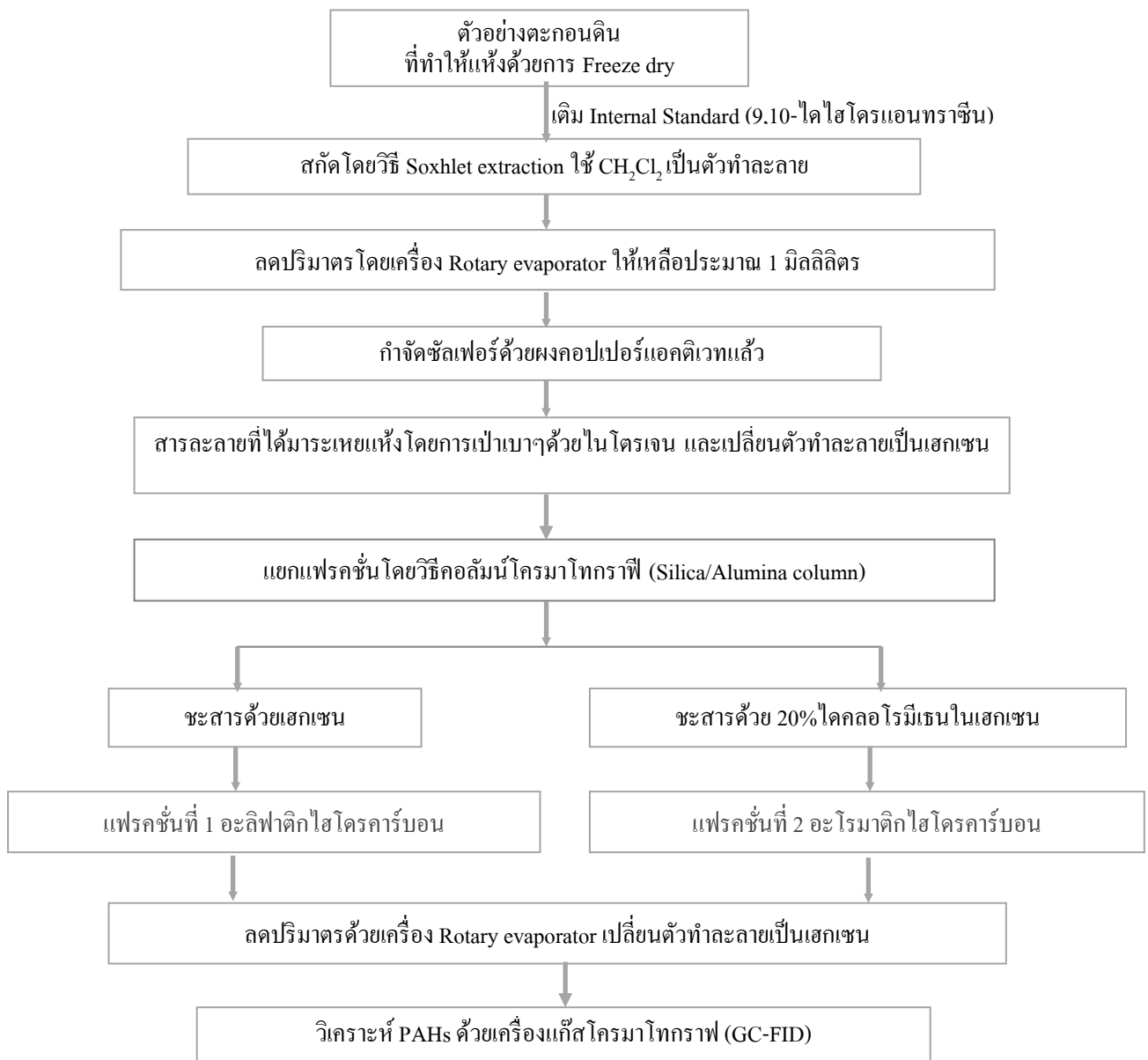
นำตัวอย่างดินตะกอนไปวิเคราะห์หาเนื้อดิน(Texture) โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Caver, 1971) แบ่งตะกอนส่วนหนึ่งประมาณ 3 กรัม ไปหาปริมาณน้ำด้วยวิธีการอบในเตาอบที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักตะกอนแห้งจนคงที่ และแบ่งดินอีกส่วนหนึ่งไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียสในเตาอบ นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างดินตะกอนโดยวิธี Walkley Black (Loring and Rantala, 1990)



ภาพที่ 2.3 แสดงบริเวณศึกษาและจุดเก็บตัวอย่างตะกอน

2. การวิเคราะห์หาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดิน

ปริมาณการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนดิน วิเคราะห์ตามวิธีของ UNEP/IOC/IAEA (1992) โดยสกัดตัวอย่างด้วยเทคนิค Soxhlet extraction และวิเคราะห์ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนดินด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ Agilent Hewlett Packard (HP) 6890 โดยใช้ตัวตรวจชนิด Flame Ionization Detector (GC-FID) การวิเคราะห์ชนิดของสารในกลุ่ม PAHs ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่า Retention time กับโครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน และคำนวณปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดที่ตรวจพบโดยการเปรียบเทียบพื้นที่พีคกับพีคของสารมาตรฐาน PAHs (Supelco PAH Standard, 4743U LB57094) จากกราฟมาตรฐาน (calibration standard curve) นำตัวอย่าง 10% ไปวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) เพื่อยืนยันความถูกต้องในการจำแนกชนิดของสาร PAHs ด้วย GC-FID ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนดิน



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิสรุปวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs ในตะกอนดิน

สภาวะของเครื่อง GC/FID ที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร PAHs

Agilent 6890 GC with FID	
Column type	HP5 5% Phenyl Methyl Siloxane
Length	30 m
Internal diameter (ID)	0.32 mm
Film thickness	0.25 μm
Injection	Splitless, 1 μL
Injector temp.	250°C
Carrier gas	Helium (UHP Grade)
He flow	1.0 ml min ⁻¹
He Flow (make-up gas)	30 ml/min
H ₂ flow	30 ml min ⁻¹
Air	300 ml min ⁻¹
Make up gas	Nitrogen
FID Temperature	300°C
โปรแกรมอุณหภูมิของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์	
อุณหภูมิเริ่มต้น	70 องศาเซลเซียส
อัตราของการเพิ่มอุณหภูมิ	6 องศาเซลเซียส/นาที
อุณหภูมิสุดท้าย	290 องศาเซลเซียส (hold 15 นาที)

สภาวะของเครื่อง Gas Chromatograph/Mass Spectrometer (GC/MS)

GC/MS: Saturn 2000 Varian

Mass Data type	: Centroid
Emission Current	: 10 microamps
Mass Defect	: 0 mmu/100 u
Count Thershold	: 1 count
Scan time	: 1.00 second
Segment Low mass	: 40 m/z
Segment High mass	: 650 m/z

2.1 การหาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ

ขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) หมายถึงปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ ทำโดยทดสอบ spiked sample blank โดยการเติมสารมาตรฐาน PAHs ให้มีความเข้มข้นที่ใกล้ค่า LOD ทำการทดสอบ 7-10 ซ้ำ คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยไม่ต้องหาค่าเฉลี่ย เนื่องจากเป็นสารมาตรฐานที่เติมลงไป และคำนวณ LOD ดังนี้

$$\text{LOD} = 3\text{SD}$$

2.2 ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ

ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) คือ ปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของสาร PAHs ที่ทดสอบซึ่งสามารถหาปริมาณได้โดยที่มีความแม่นยำและความเที่ยงเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไปพร้อมกับ LOD โดย LOQ มีค่าประมาณ 3 เท่าของ LOD หรือ 10SD ใช้ข้อมูลการตรวจสอบเดียวกัน

2.3 การตรวจสอบค่าคืนกลับ (% Recovery)

การหาค่า % คืนกลับทำเพื่อตรวจสอบวิธีการที่ใช้ในวิเคราะห์ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนว่าให้ผลในการวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของ 9,10-ไดไฮโดรแอนทราซีน (Internal Standard, IS) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (10 µg/mL) ลงไปในตัวอย่างดินตะกอน (Spiked sample) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณตามวิธีการดังกล่าว ควบคู่ไปกับตัวอย่างดินตะกอนที่ไม่ได้เติมสารละลายมาตรฐานลงไป และนำค่าจากทั้งสองส่วนมาคำนวณหาค่า % คืนกลับ โดยสมการ

$$\% \text{ Recovery} = [(C_1 - C_2)/C_3] \times 100$$

โดยที่ C_1 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน (Spiked sample)

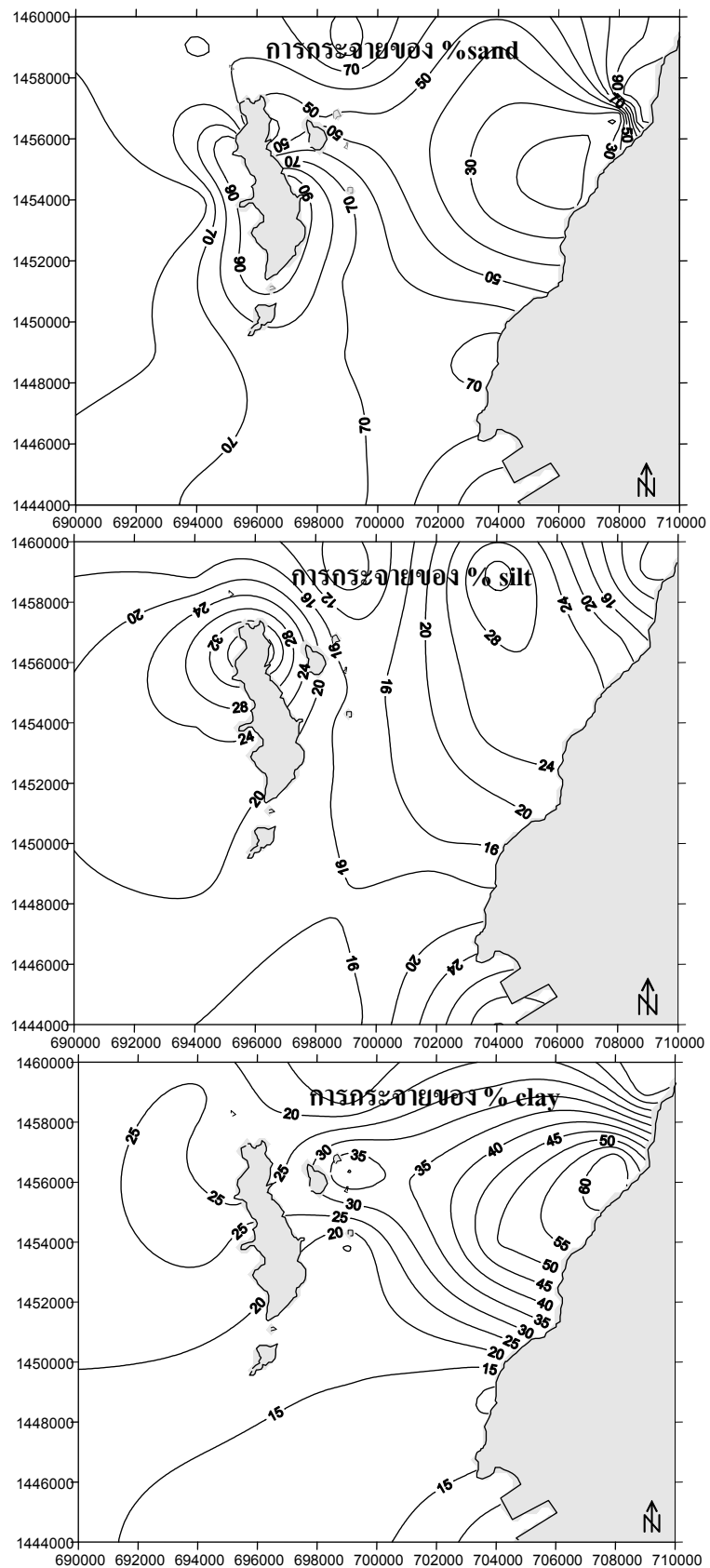
C_2 = ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารมาตรฐาน (Unspiked sample)

C_3 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมในตัวอย่าง

2.4 ผลการวิจัย

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตะกอนพื้นทะเล

ตัวอย่างตะกอนดินพื้นทะเลบริเวณชายฝั่งที่เก็บมาวิเคราะห์จำนวน 26 สถานี มีการกระจายของอนุภาคของตะกอนดังแสดงในภาพที่ 2.5 ทั้งนี้บริเวณพื้นที่ศึกษา มีอนุภาคของตะกอนส่วนใหญ่เป็นซิลต์ (silt) มีค่าเฉลี่ย 48% มีอนุภาคทราย (sand) โดยเฉลี่ย 27% และเคลย์ (clay) โดยเฉลี่ย 25% (ตารางที่ 2.6) บริเวณที่เป็นทรายได้แก่สถานีที่ 1,6,12 และ 19 มีการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนต่ำด้วย (ในช่วง 0.36-0.90%) ส่วนบริเวณที่เป็นโคลนปนทรายได้แก่สถานี 7,13,15,17 และ 23 ทั้งนี้บริเวณชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลของน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือกิจกรรมมนุษย์มักพบเป็นโคลนเหลวสีดำมีกลิ่นเหม็น หลายสถานีกลางร่องน้ำระหว่างศรีราชาและเกาะสีชัง เช่น สถานี 2,3,4,5 และ 18 (ซึ่งมีเรือขนถ่ายแป้งมันสำปะหลังเม็ดจืดเป็นจำนวนมาก) และสถานีที่ 7 และ 8 (บริเวณขนถ่ายถ่านหินในทะเล) พบว่าเป็นโคลนเหลวสีดำมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากการสะสมของอินทรีย์สารในดินตะกอนสูง คาดว่าเนื่องจากกิจกรรมขนถ่ายสินค้าประเภทแป้งมันสำปะหลังในทะเล ซึ่งมักมีฝุ่นแป้งฟุ้งกระจายรอบเรือและมีการตกลงสู่พื้นน้ำ และตกลงสู่พื้นท้องทะเลในที่สุด ทำให้เกิดการหมักหมมของสารอินทรีย์ในบริเวณสถานีดังกล่าว และพบค่า Redox potential (Eh) ของดินมีค่าติดลบมาก (55 ถึง -187 mV) แสดงให้เห็นถึงสภาพตะกอนผิวหน้าที่ไร้ออกซิเจน รายละเอียดคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก.) ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเฉลี่ยและพิสัยของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดินในบริเวณศึกษา



ภาพที่ 2.5 การกระจายของ %sand, %silt และ %clay ในบริเวณเกาะสีชัง-อ่าวศรีราชา

ตารางที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยและพิสัยของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดิน

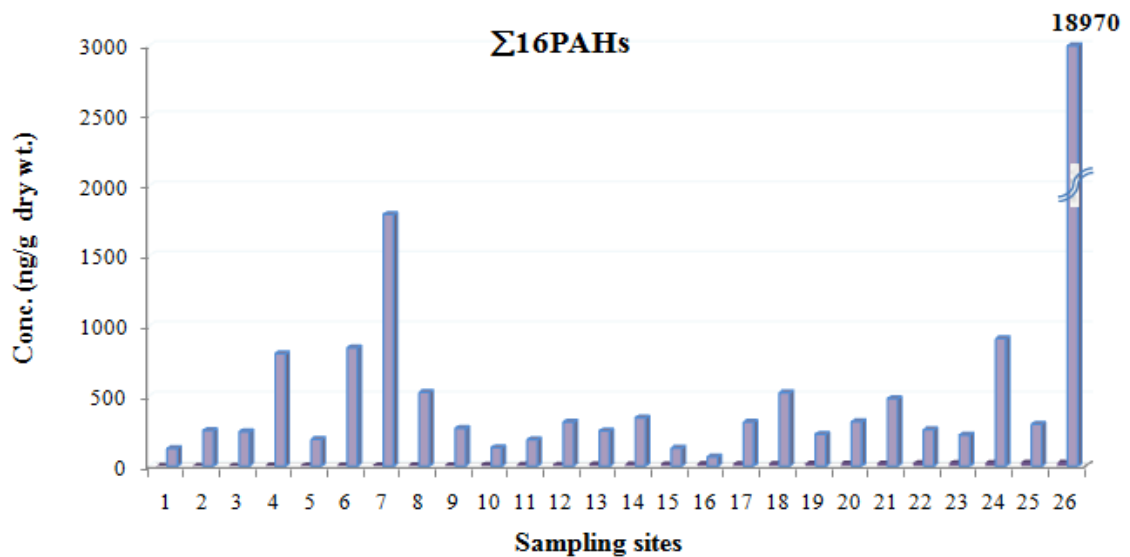
ค่าเฉลี่ยและพิสัย	% sand	% silt	% clay	Texture
Mean $\pm$ s.d.	26.9 $\pm$ 19.7	47.7 $\pm$ 17.1	25.4 $\pm$ 5.7	Silty clay
Range	4.3 – 80.8	1.9 – 65.5	15.5 – 39.2	
ค่าเฉลี่ยและพิสัย	%water	%OC	pH	Eh (mV)
Mean $\pm$ s.d.	48.4 $\pm$ 13.2	1.5 $\pm$ 0.6	7.5 $\pm$ 0.2	-79 $\pm$ 55
Range	21.7– 65.3	0.4–2.5	7.2 – 8.0	55– (-187)

2.4.2 การปนเปื้อนของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

ผลการศึกษาขีดจำกัดในการตรวจพบ (LOD) และค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ของการวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-FID มีรายละเอียดดังตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก) ค่า LOD อยู่ในช่วง 6.0-28.0 $\mu\text{g/L}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.4 $\pm$ 5.2 $\mu\text{g/L}$ โดยทั่วไปสารที่มีความไวสูง (high sensitivity) จะมีค่า LOD ต่ำ ส่วนสารที่มีความไวต่ำ (low sensitivity) จะมีค่า LOD สูง ค่า LOQ ของการวิเคราะห์ PAHs ในตะกอนดินอยู่ในช่วง 0.08-0.98 ng/g น้ำหนักแห้ง โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 $\pm$ 0.24 ng/g น้ำหนักแห้ง สำหรับเปอร์เซ็นต์คืนกลับของสาร 9,10-ไดไฮโดรแอนทราซีน (Internal Standard, IS) ในตัวอย่างตะกอนดินอยู่ในช่วง 79-105% โดยค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับเฉลี่ยเท่ากับ 85 $\pm$ 8.2% ในการรายงานความเข้มข้นของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนไม่ได้นำค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับมาคำนวณด้วย

การวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าจากบริเวณศึกษาจำนวน 26 สถานี พบการปนเปื้อนของสาร PAHs ในทุกตัวอย่าง โดยเฉพาะสาร PAHs ที่อยู่ในรายการสารพิษที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษของ US EPA จำนวน 16 ชนิด คือ Naphthalene(Nap), Acenaphthylene(Acy), Acenaphthene(Acn), Fluorene(Flu), Phenanthrene(Phe), Anthracene(Ant), Fluoranthene(Flt), Pyrene(Pyr), Benzo[a]anthracene(BaA), Chrysene(Chr), Benzo[b]fluoranthene(BbF), Benzo[k]fluoranthene(BkF), Benzo[a]pyrene(BaP), Indeno[123,cd]pyrene(InP), Dibenzo[a,h]anthracene(DBA) และ Benzo[ghi]perylene(BgP) โดยพบการกระจายของปริมาณรวมของ PAHs 16 ตัว (ΣPAH_{16}) ดังภาพที่ 2.6 บริเวณที่พบปริมาณ ΣPAH_{16} สูงที่สุดได้แก่สถานีที่ 26 (บริเวณท่าเทววงษ์ หรือท่าล่าง) ของเกาะสีชัง ที่มีเรือข้ามฟากและเรือประมงจอดอยู่หนาแน่น นอกจากนี้ยังมีเรือซ่อมเรืออยู่บนฝั่งด้วย พบปริมาณ ΣPAH_{16} สูงถึง 18,970 ng/g น้ำหนักแห้ง (หรือ 18.97 $\mu\text{g/g}$) และสถานีที่พบ ΣPAH_{16} สูงเป็นอันดับสองคือ สถานีที่ 7 (บริเวณที่มีการขนถ่ายถ่านหินจากเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่สู่เรือลากจูงขนาดเล็ก เพื่อลำเลียงสู่แหล่งใช้งาน ตรวจพบการปนเปื้อนของถ่านหินขนาดเล็กปะปนอยู่ในตัวอย่างตะกอนที่เก็บมาด้วย จึงได้ทำการร่อนตะกอนผ่านตะแกรงสแตนเลสก่อนเพื่อแยกถ่านหินออกก่อนนำตะกอนดินมาวิเคราะห์ แต่คาดว่าน่าจะยังมีผงฝุ่นถ่านหินขนาดเล็กปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่าง) พบ ΣPAH_{16} มีค่า 1794.7 ng/g น้ำหนักแห้ง (หรือ 1.79 $\mu\text{g/g}$) ส่วนบริเวณที่พบ ปริมาณ ΣPAH_{16} ต่ำที่สุดในบริเวณศึกษาคือสถานีที่ 16 โดยมีค่าเท่ากับ 65.2 ng/g ค่าเฉลี่ย

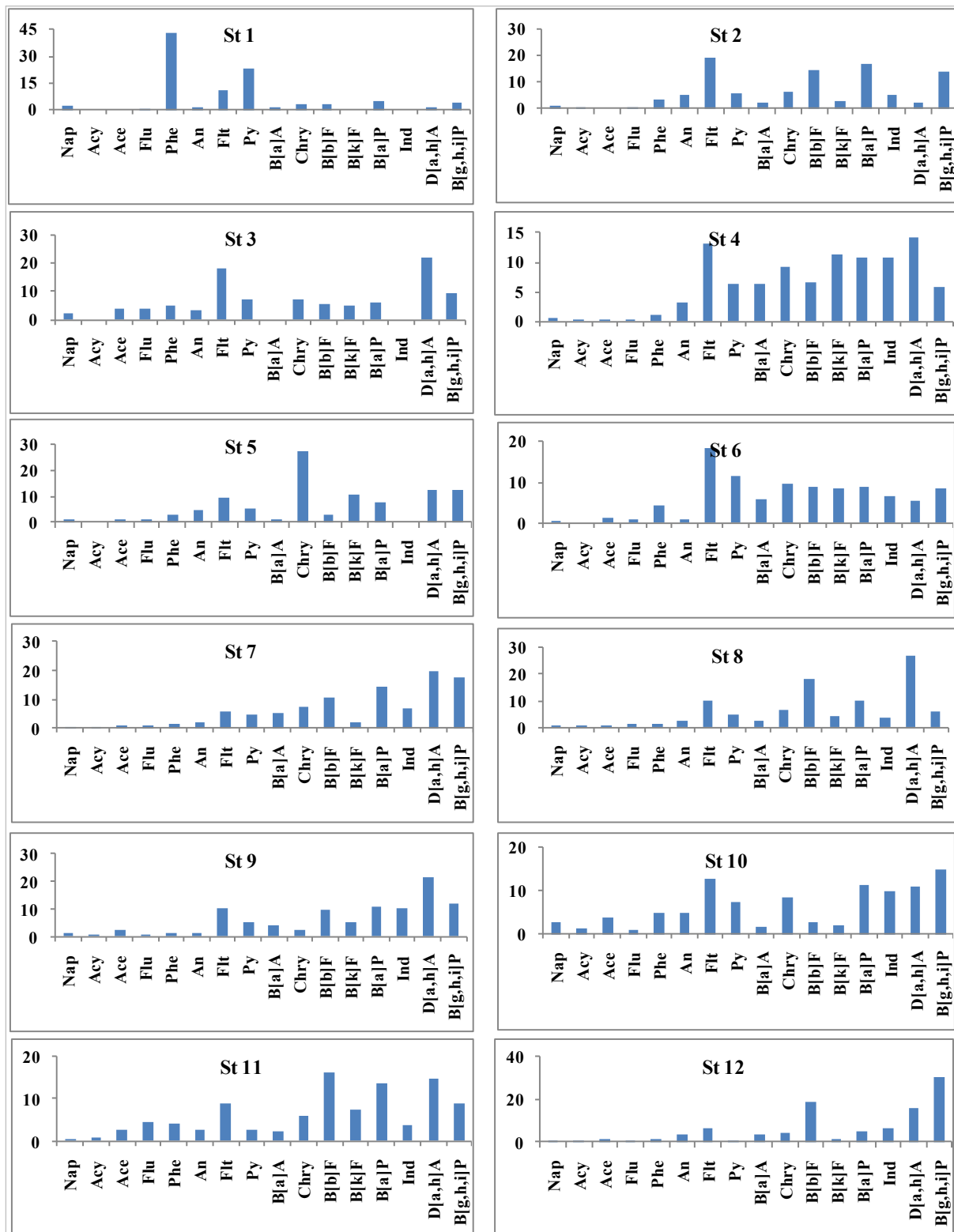
(median concentration) ของปริมาณ PAHs รวมในตะกอนดินบริเวณทะเลชายฝั่งเกาะลิซังและศรีราชา มีค่า 282 ng/g น้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าที่เคยมีการรายงานกันมาสำหรับตะกอนชายฝั่งทะเลของประเทศไทยในอดีต (Wattayakorn, 2012) แต่ยังคงอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ PAHs ที่เคยรายงานในบริเวณทะเลชายฝั่งแหล่งอื่นๆของโลก (ตารางที่ 2.5)



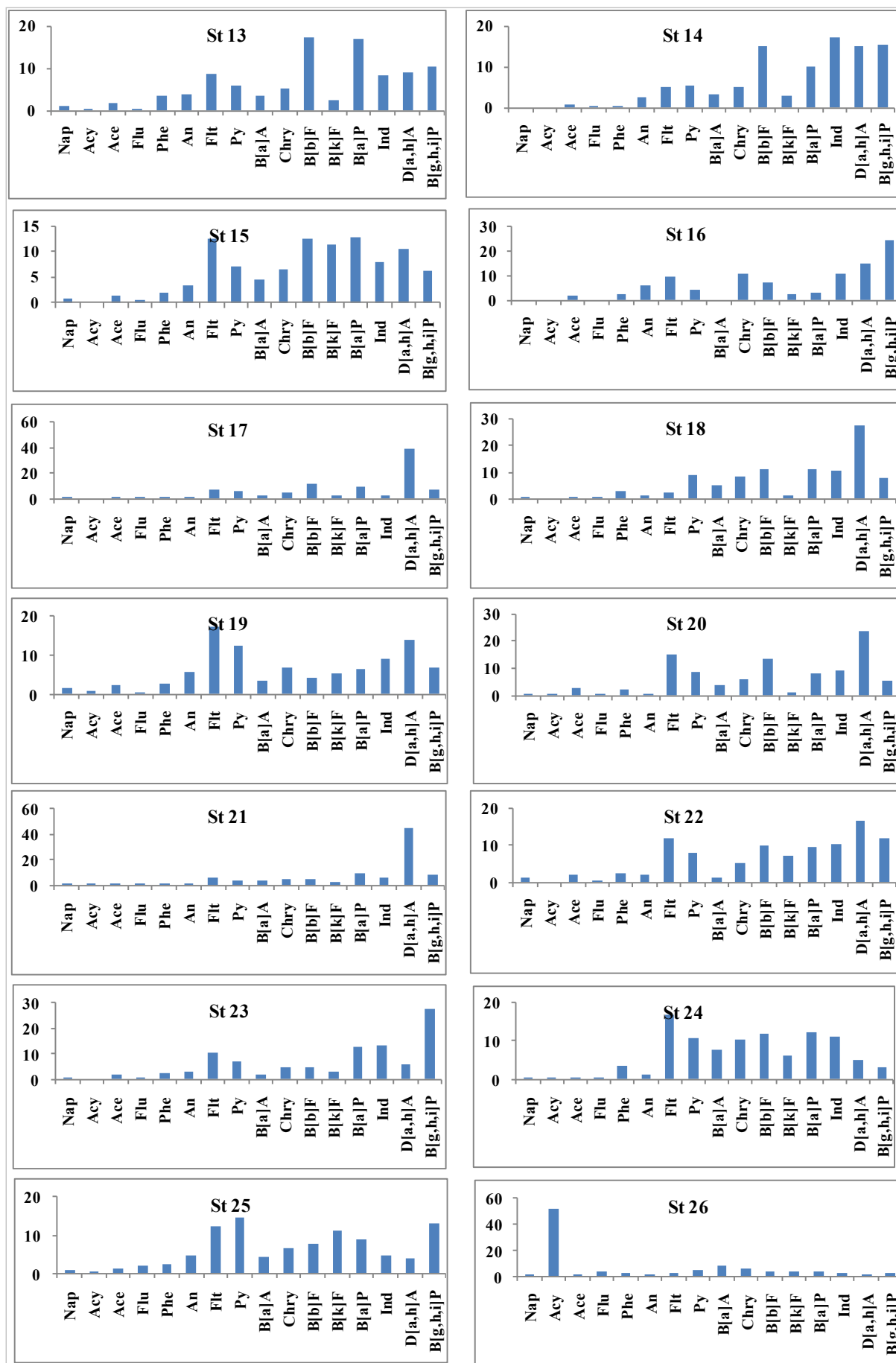
ภาพที่ 2.6 การกระจายของปริมาณสาร PAHs รวมในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า

การกระจายของสาร PAHs 16 ชนิดในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าทั้ง 26 สถานีแสดงในภาพที่ 2.7 พบว่าตัวอย่างตะกอนส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของสาร PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (high molecular weight PAHs (HMWPAH) หรือสาร PAHs ที่โมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 4-6 วง) เป็นหลัก ได้แก่ Fluoranthene (Flt), Pyrene (Pyr), Benzo[a]anthracene (BaA), Chrysene (Chr), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP), Indeno[123,cd]pyrene (InP), Dibenz[a,h]anthracene (DBA) และ Benzo[ghi]perylene (BgP) โดยพบความเข้มข้นเฉลี่ย (median concentration, ng/g DW) ของสาร PAH แต่ละตัวตามลำดับดังนี้ DBA(45.5) > BbF(33.3) > BgP(30.9) > BaP(28.8) > Flt(28.0) > InP(21.2) > Pyr(19.6) > Chr(16.9) > BkF(13.0) > BaA(9.9) สำหรับ PAHs ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (low molecular weight PAHs (LMWPAH) หรือสาร PAHs ที่โมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2-3 วง) ได้แก่ Naphthalene (Nap), Acenaphthylene (Acy), Acenaphthene (Acn), Fluorene (Flu), Phenanthrene (Phe) และ Anthracene (Ant) พบในปริมาณต่ำกว่ามาก (ภาพที่ 2.8) ยกเว้นสถานีที่ 1 พบ Phe ในปริมาณสูง (54.0 ng/g) และสถานีที่ 26 พบ Acy ในปริมาณสูงมาก (9767.0 ng/g) จึงทำให้ตัวอย่างตะกอนสถานีที่ 1 และ 26 มีสัดส่วนร้อยละของ 2-3rings-PAHs ต่อ 4-6rings-PAHs ($\Sigma\text{PAH}_{2-3\text{Rings}} : \Sigma\text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$) สูงกว่าตัวอย่างอื่นในพื้นที่ศึกษา คือ 53% (สถานี 1) และ 60% (สถานี 26) (ดังในภาพที่ 2.9) ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาณรวมของ PAHs ทั้งหมด (ΣPAH_{16}) ปริมาณรวมของ PAHs ขนาดเล็ก ($\Sigma\text{PAH}_{2-3\text{Rings}}$) ปริมาณรวมของ PAHs ขนาดใหญ่ ($\Sigma\text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$) และร้อยละของสัดส่วน PAHs ขนาดใหญ่ใน PAHs รวม ($\%\Sigma\text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ย

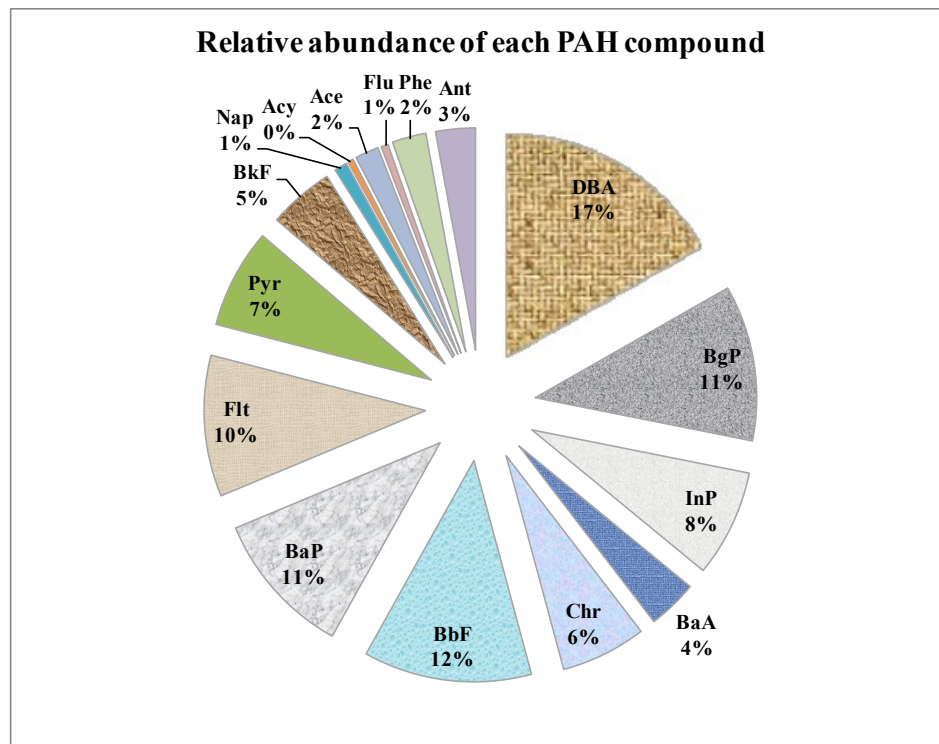
ของ $\% \Sigma \text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$ เท่ากับ $87.3 \pm 12.9\%$ โดยค่าต่ำสุดพบที่สถานี 26 และค่าสูงสุดพบที่สถานี 17 โดยมีหลายสถานีที่พบ $\% \Sigma \text{PAH}_{4-6\text{Rings}} \geq 94\%$ ได้แก่ สถานี 4, 7, 8, 14, 17, 18, 21 และ 24



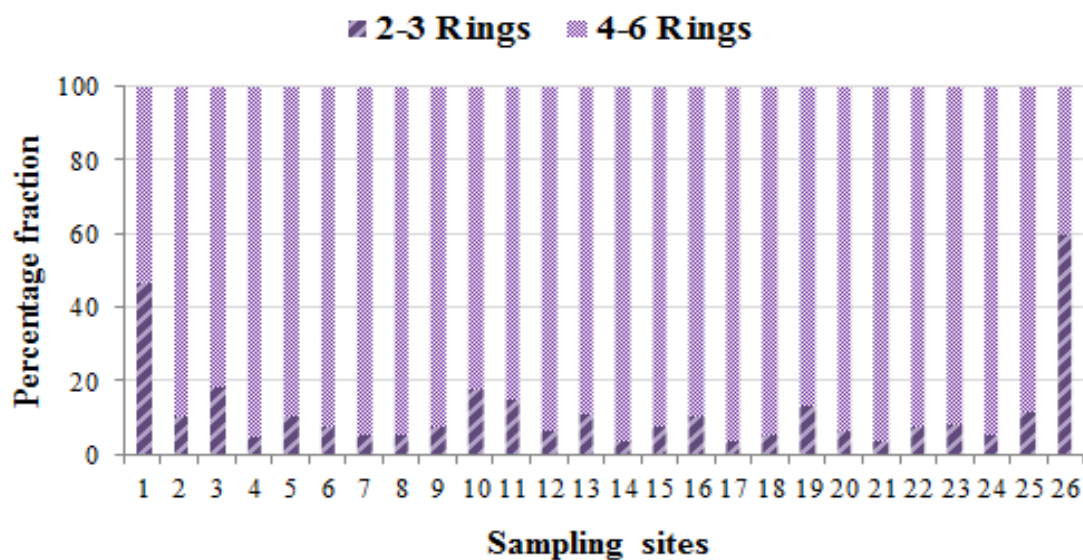
ภาพที่ 2.7 สัดส่วนร้อยละ (%) การกระจายของ PAHs 16 ชนิด ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า 26 สถานี



ภาพที่ 2.7 สัดส่วนร้อยละ (%) การกระจายของ PAHs 16 ชนิด ในตัวอย่างตะกอนผิวหนัง 26 สถานี (ต่อ)



ภาพที่ 2.8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการกระจายของ PAHs 16 ชนิดในบริเวณศึกษา

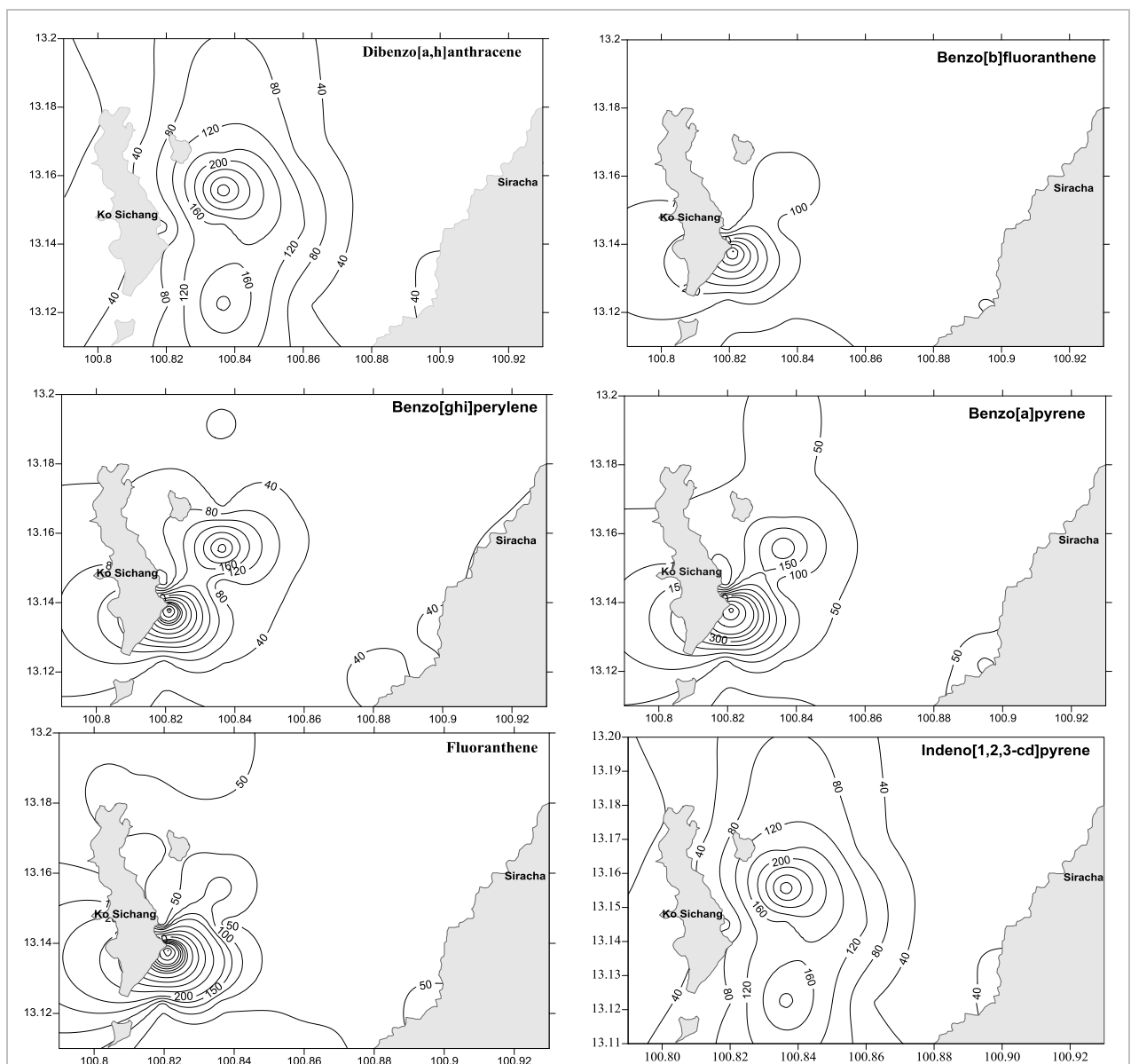


ภาพที่ 2.9 อัตราส่วนร้อยละของ PAHs 2-3 วง และ PAHs 4-6 วงในตัวอย่างตะกอนแต่ละสถานี

ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณรวมของ PAHs สัดส่วนต่างๆในตะกอนบริเวณศึกษา

ค่าเฉลี่ยและพิสัย	ΣPAH_{16}	$\Sigma\text{PAH}_{2-3\text{Rings}}$	$\Sigma\text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$	$\%\Sigma\text{PAH}_{4-6\text{Rings}}$
Median $\pm$ s.d.	282 $\pm$ 3660	28 $\pm$ 2232	253 $\pm$ 1451	87 $\pm$ 13
Range	65–18970	7–11413	58–7557	40–96

ภาพที่ 2.10 แสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของ PAHs ที่พบสูงสุด 6 ลำดับแรกในบริเวณศึกษา แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการปนเปื้อน PAHs สูง (hot spot) สองบริเวณคือบริเวณที่มีการขนถ่ายถ่านหินจากเรือใหญ่สู่เรือลากจูงขนาดเล็กเพื่อนำส่งต่อไปยังแหล่งใช้ (บริเวณสถานีที่ 7 และ 8 ใกล้เกาะขามใหญ่) และบริเวณสถานี 26 ซึ่งใกล้เคียงท่าเทียบเรือข้ามฟากระหว่างเกาะสีชังและศรีราชา (ท่าเวียงษ์หรือท่าล่าง) ในแต่ละวันมีเรือวิ่งรับ-ส่งผู้โดยสาร (ชาวบ้านและนักท่องเที่ยว) วันละหลายเที่ยว นอกจากนี้บริเวณนี้ยังเป็นท่าเทียบเรือประมงของเกาะสีชัง และยังมีกิจกรรมเกี่ยวกับการซ่อมเรือ และสถานีเติมน้ำมันเรือในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งกิจกรรมต่างๆ ที่กล่าวมาในบริเวณ hot spot ทั้งสองเป็นแหล่งปลดปล่อยมลสาร PAHs ที่สำคัญในบริเวณศึกษาทั้งที่ตั้งใจหรือการเกิดอุบัติเหตุทำให้มีน้ำมันรั่วไหล สำหรับการขนถ่ายถ่านหินมักมีการหกหล่นของเศษถ่านหินและผงฝุ่นถ่านหินฟุ้งกระจายรอบๆ เรือในระหว่างการขนถ่ายทุกครั้งในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปแล้วแต่ความระมัดระวังในการปฏิบัติงานหรือสภาพลมฟ้าอากาศในขณะดำเนินการกิจกรรมดังกล่าว



ภาพที่ 2.10 การกระจายเชิงพื้นที่ของ PAHs ที่พบสูงสุด 6 ลำดับแรกในบริเวณศึกษา

2.4.3 แหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอน

แหล่งที่มาของ PAHs สามารถระบุได้จากอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs แต่ละคู่ชนิดหรือที่เรียกว่า “Diagnostic ratios” (Yunker et al., 2002) ตัวอย่างเช่น อัตราส่วน PAHs ที่มีเสถียรภาพน้อยกว่าต่อ PAHs ที่มีเสถียรภาพมากกว่า สำหรับแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์พบว่าอัตราส่วน Phe/An (MW 178) น้อยกว่า 10 ในขณะที่น้ำมันดิบ พบว่ามีอัตราส่วน Phe/An มากกว่า 10 สำหรับอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs คู่อื่นในการจำแนกประเภทการเผาไหม้เช่น Flt/Pyr (MW 202) ใช้ในการจำแนกการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมออกจากการเผาไหม้อินทรีย์สารประเภทอื่น นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs คู่อื่นๆ ที่ใช้เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของการเผาไหม้และระบุความแตกต่างของแหล่งที่มาของ PAHs (ตารางที่ 2.8) รายละเอียดของ Diagnostic ratios เพื่อระบุแหล่งที่มาของ PAHs ในตะกอนผิวหน้าบริเวณเกาะสีชังและศรีราชาแสดงในตาราง ก.4 มีค่าเฉลี่ยและพิสัยของอัตราส่วนแต่ละคู่ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

(ดัดแปลงจาก: Yunker et al., 2002)

Diagnostic ratios	Petrogenic source	Pyrogenic source	การศึกษานี้	
			Mean $\pm$ sd	Range
Ant/(Ant+Phe)	<0.1	>0.1	0.51 $\pm$ 0.19	0.03 – 0.82
Phe/Ant	>15	<10	2.27 $\pm$ 5.47	0.22 – 28.52
Flt/Pyr	<1.0	>1.0	1.91 $\pm$ 1.61	0.28 – 8.86
Flt/(Flt+Pyr)	<0.4	>0.4	0.6 $\pm$ 0.15	0.22 – 0.90
BaA/Chr	<0.4	>0.9	0.60 $\pm$ 0.31	0.04 – 1.55
BaA/(BaA+Chr)	<0.2(0.2-0.35)	>0.35	0.35 $\pm$ 0.12	0.04 – 0.61
InP/(InP+BgP)	<0.2	>0.2	0.43 $\pm$ 0.15	0.17 – 0.77

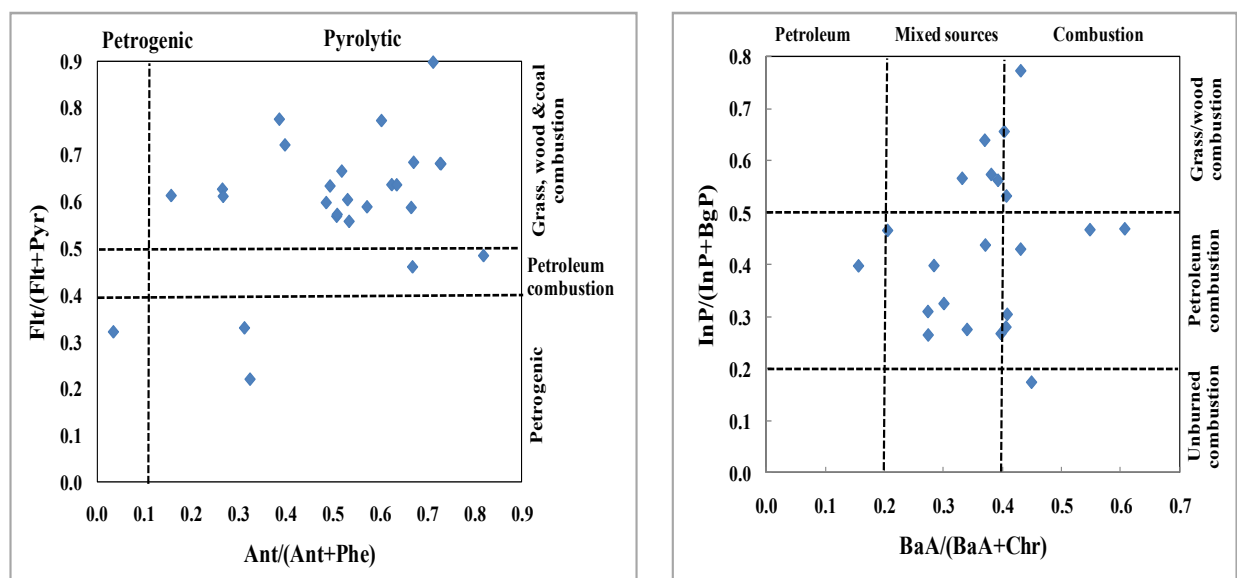
เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของ PAHs (PAHs profile) ของตะกอนดินบริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชา พบว่าการสะสม PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณเกาะสีชัง-ศรีราชา ส่วนใหญ่มีรูปแบบแหล่งที่มาคล้ายคลึงกัน คือมีอิทธิพลจากการเผาไหม้ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นหลัก โดยแสดงให้เห็นด้วยอัตราส่วนของ Ant/Ant+Phe>0.1(ยกเว้นสถานี 1) อัตราส่วนของ Flt/(Flt+Pyr) >0.4 (ยกเว้นสถานี 1, 18, 26) อัตราส่วนของ InP/(InP+BgP)>0.2 (ยกเว้นสถานี 1,3,5,12) อัตราส่วนของ Phe/Ant<10 (ยกเว้นสถานี 1) และอัตราส่วนของ Flt/Pyr >1.0 (ยกเว้นสถานี 1, 18, 25, 26) พบว่ามีหลายสถานีที่พบมีการปนเปื้อนทั้งจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของอินทรีย์สารและเชื้อเพลิงฟอสซิล และจากการรั่วไหลของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (น้ำมันและถ่านหิน)ปนกัน (นั่นคือมีแหล่งกำเนิดผสมระหว่าง pyrogenic และ petrogenic source)

PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์สามารถประเมินต่อเพื่อจำแนกระหว่างแหล่งที่มาจากการเผาไหม้หญ้า/ต้นไม้ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยใช้อัตราส่วนโมเลกุลเพิ่มเติม ดังตารางที่ 2.9 และจากภาพที่ 2.11 (Yunker, et al, 2002) บ่งชี้ว่า PAHs ในตัวอย่างตะกอนส่วนใหญ่มีที่มาจาก การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ผสมกันระหว่างการเผาไหม้หญ้าหรือพืชล้มลุกและการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล

ตารางที่ 2.9 อัตราส่วนในการพิจารณาแหล่งกำเนิด PAHs จากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์

	Petroleum combustion	Mixed source	Wood combustion	การศึกษา	แหล่งที่มา
InP/(InP+BgP)	<0.4	0.4-0.5	>0.5	0.43 ± 0.15	Mixed source
Flt/(Flt+Pyr)	<0.4	0.4-0.5	>0.5	0.6 ± 0.15	Wood combustion

*ที่มา: Yunker et al (2002)



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ $Flt/(Flt+Pyr)$ vs. $Ant/(Ant+Phe)$ และ $InP/(InP+BgP)$ vs. $BaA/(BaA+Chr)$ ในตะกอนบริเวณศึกษา

2.5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการกระจายของสาร PAHs ในตะกอนดินผิวน้ำบริเวณเกาะสี่ช้าง-ศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบการปนเปื้อนสาร PAHs ในปริมาณค่อนข้างสูง เฉพาะบริเวณท่าจอดเรือ และบริเวณที่มีการขนถ่าย ถ่านหิน สาเหตุการปนเปื้อนของสาร PAHs เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลของเรือ ข้ามฟาก เรือประมงชายฝั่ง ตลอดจนเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ที่มีอยู่อย่างหนาแน่นในบริเวณศึกษา ซึ่งถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วของเรือลงสู่ทะเล การรั่วไหลของน้ำมันเรือ

การปล่อยน้ำทิ้งที่มีคราบน้ำมันลงสู่ทะเล การรั่วไหลของคลังน้ำมันเรือ การขนส่งน้ำมัน การล้างถังน้ำมัน การถ่ายน้ำมันหรือน้ำมันเครื่อง การเกิดอุบัติเหตุทางเรือทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน การขนถ่ายน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงกลั่นน้ำมัน รวมทั้งกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมต่างๆ และการเผาไหม้จากการใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงฟอสซิลจากเขตเมืองศรีราชา สามารถพัดพาไปยังพื้นที่อื่นได้โดยอากาศเป็นตัวกลางนำไปสู่แหล่งอื่น หรือมีการชะลงสู่ท่อระบายน้ำข้างถนนและปล่อยออกสู่ทะเลชายฝั่ง การถูกชะจากแหล่งกำเนิดสู่แหล่งน้ำจากอิทธิพลของน้ำท่วม น้ำหลาก การชะหน้าดินจากฝน หรือการพังทลายของดิน อย่างไรก็ตามสมมุติฐานดังกล่าวต้องใช้เทคนิคอื่นเข้ามาอธิบายเพิ่มเติม รวมทั้งรายละเอียดสาเหตุและความเป็นไปได้ของที่มาของสาร PAHs โดยใช้สาร molecular markers ในงานวิจัยขั้นต่อไป นอกจากนี้การตรวจพบสาร PAHs ปนเปื้อนในตะกอนบริเวณที่ศึกษาบางสถานีในปริมาณค่อนข้างสูง(ถึงแม้ว่าความเข้มข้น PAHs ที่พบปนเปื้อนในตะกอนดินที่ตรวจพบอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ที่พบในทะเลชายฝั่งทั่วโลก) บ่งชี้ว่าควรมีการตรวจติดตามเฝ้าระวังต่อไปอย่างใกล้ชิด รวมทั้งควรมีการวางมาตรการการจัดการชายฝั่งให้ดีขึ้น ควรมีการตรวจติดตามต่อไปพร้อมกับกระบวนการจัดการชายฝั่งที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดผลกระทบทางด้านลบต่อระบบนิเวศที่มีความอ่อนไหวในบริเวณชายฝั่งศรีราชา-เกาะสีชังและความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

2.6 บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กฤตยาพร ทัพพะทัต. 2538. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ระยอง วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- กัลยา วัฒนากร. 2543. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทูรีแม่น้ำเจ้าพระยา รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เกศินี สรรวานิช. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จรรยา สารินทร์. 2537. การกระจายของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย. สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เชาว์ นกอยู่. 2538. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พรศรี สุทธารักษ์. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- วรัญญา วิรุพพผล. 2533. การสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วราภรณ์ ศรีมูล.2544. การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Baumard, P. 1998. Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in Various Marine Organisms in Relation to those in sediments and to Trophic Level, *Marine Pollution Bulletin*, 36: 951-960.
- Boehm, P.D. and Saba, T. 2008. Identification and Allocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), *Environmental Forensics Notes*, 4: 1-4.
- Boonyatumanond, R. 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water Samples by Using High Performance Liquid Chromatography, Master Thesis. Department of Applied Analytical and Inorganic Chemistry, Graduate School, Mahidol University
- 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, *Marine Pollution Bulletin*, vol.52, 942-956.
- Boonyatumanond, R., Wattayakorn, G., Amano, A., Inouchi, Y. and Takada, H. 2007. Reconstruction of pollution history of organic contaminants in the upper Gulf of Thailand by using sediment cores: First report from Tropical Asia Core (TACO) project. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 554-565.
- Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Pierard, C. and Garriques, P. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary, *Marine Chemistry*, 58:85-97.
- Fang, M.D., Hsieh, P.C., Ko, F.C., Baker, J.E. and Lee, C.L. 2007. Source and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Koaping River and submarine canyon system, Taiwan, *Marine Pollution Bulletin*, 54: 1179-1189.
- GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). 1993. Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment. GESAMP Reports and Studies, No. 50, IMO, London.
- IAEA/IOC/UNEP, 1992. Determination of Petroleum Hydrocarbons in Sediments, Reference Methods for Marine Pollution Studies, No. 20, 75 pp

- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2010. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures, Vol. 92, p.773. [Online]. Available : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/index.php> [2013, March 11].
- Jiang, J.J., Lee, C.L., Fang, M.D. and Liu, J.T., 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments of southwest Taiwan: An appraisal of diagnostic ratios in source recognition. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 752-760.
- Kim, G. B., Maruya, K. A., Lee, R. F., Lee, J., KOH, C. and Tanabe, S. 1999. Distribution and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Kyeonggi Bay, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 33: 7-15.
- Kennicutt, II M.C., Wade, T.L., Presley, B.J., Requejo, A.G., Brooks, J.M. and Denoux, G.J. 1999. Sediment contaminants in Casco Bay, Maine: inventories, sources, and potential for biological impact, *Environ. Sci. Technol.*, 28, 1-15.
- Kennish, M.J., 1992. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effect Marine Science Series*, CRC Press Boca Raton Ann Arbor London.
- Leonardo, R.D., Vizzini, S., Bellanca, A. and Mazzola, A., 2009. Sedimentary record of anthropogenic contaminants (trace metals and PAHs) and organic matter in a Mediterranean coastal area (Gulf of Palermo, Italy), *Journal of Marine Systems*, 78: 136-145.
- Liu, X.M., Xu, X.R., Zhang, X.T., Zhou, C.G. and Li, H. A., 2001. Preliminary study on PAHs in the surface sediment samples from Dalian Bay. *Acta Scientiae Circumstantiae* 21: 507-509.
- Loring, D. H., and Rantala, R.T.T. 1977. Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. *Environmental Canada Technical Report*, 700: 22-25.
- Maldonado, C., Josep, M.B. and Laurent, B., 1999. Sources, Distribution, and Water Column Processes of Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Northwestern Black Sea Water. *Environmental science & Technology*, 33(16):1693-2702.
- Macias-Zamora, J.V., Mendoza-Vega, E. and Villaescusa-Celaya, J.A., 2002. PAHs composition of surface marine sediments: a comparison to potential local sources in Todos Santos Bay, BC, Mexico. *Chemosphere*, 46: 459-468.
- Mostafa, A.R., Wade, T.L., Sweet, S.T., Al-Alimi, A.A. and Barakat, A.O., 2009. Distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen, *Journal of Marine Systems*, 78: 1-8.

- Nikolaou, A., Kostopoulou, M., Lofrano, G. and Meric, S. 2009. Determinatio of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns. *Global NEST Journal*, 11(4): 391-405.
- Oanh, N.T.K., Reutergardh, L.B. and Dung, N.T. 1999. Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of Selected Fuels. *Environmental Science Technology*, 33:2703–2709.
- Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Burn, W.A. and Mankiewicz, P.J. 1999. Pyrogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments Record Past Human Activity: A case Study in Prince William Sound, Alaska. *Marine Pollution Bulletin*, 4: 247–260.
- PCD (Pollution Control Department), 2006. Proposed marine and coastal sediment quality guidelines, Final Report, UNEP GEF Project “Reversing environmental degradation trends in the South China Sea and Gulf of Thailand”. p.16.
- Ravanbakhsh, S., Abolfasl, F., Farzad, K. and Parvin, B., 2007. The comparison of silica gel-alumina sorbents for separation of PAHs and PCBs, Iran. *J. Chem. Eng.* 26(2): 27-33.
- 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. *Marine Pollution Bulletin* 58: 189–200.
- Shore, R. F., Julian, W., Janice, A. H. and Timothy, H.S., 1999. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Residues in the Eggs of Coastal-Nesting Bird from Britain. *Marine Pollution Bulletin*, 38:509–513.
- Shuttleworth K.L. and Cerniglia, E., 1995. Environmental aspects of PAH biodegradation, *J. Appl. Biochem. Biotechnol*, Vol 54, issue 1-3, 291–302.
- US EPA, 2000. Toxic Release Inventory Public Data Release, Office of Environmental Information, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. [hppt://www.epa.gov/triinter/tridata/index.htm](http://www.epa.gov/triinter/tridata/index.htm).
- Wang, X., Sun, S., Ma, H. and Liu, Y., 2006. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China, *Marine Pollution Bulletin*, 52: 129–138.
- Wattayakorn, G. and Chaipuriwong, J., 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Thachin Estuary, Thailand. *J. Sci. Res. Chula. Univ.*, Vol.31: 76-82, Special Issue II (NRC-EHWM).
- Wattayakorn, G. 2012. Petroleum pollution in the Gulf of Thailand: A historical review. *Coastal Marine Science*, 35(1): 234-245.

- Yamashita, Y., Akiyama, K.-I., Kouno, E., Tsutsumi, S. and Takada, H., 2000. Biomonitoring of organic micropollutants in coastal zones using mussels Characteristics of accumulated pollutants and the application to Tokyo Bay, *Chikyukagaku (Geochemistry)*: 34:1, 41-57.
- Yan, W., Chi, J., Wang, Z., Huang, W. and Zhang, G., 2009. Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Daya Bay, South China, *Environmental Pollution*, 157: 1823–1830.
- Yang, G.P, 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the South China Sea, *Environmental Pollution*, 108: 163-171.
- Yim, U.H., Hong, S.H., Shim, W.J., Oh, J.R., and Chang, M., 2005. Spatio-temporal distribution and characteristics of PAHs in sediments from Masan Bay, Korea, *Marine Pollution Bulletin*, 50: 319–326.
- Yim, U.H., Hong, S.H. and Shim, W.J., 2007. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea, *Chemosphere*, 68: 85–92.
- 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. *Organic Geochemistry* 33, 489–515.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 พิกัดทางภูมิศาสตร์ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินในทะเล

สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความลึก (ม.)
1	13°11'26.05"N	100°54'53.68"E	6.0
2	13°11'27.59"N	100°52'56.44"E	10.0
3	13°11'24.54"N	100°51'32.75"E	15.4
4	13°11'27.59"N	100°50'10.41"E	18.6
5	13°11'20.03"N	100°48'42.87"E	24.6
6	13°10'1.07"N	100°48'44.40"E	8.0
7	13°9'20.10"N	100°50'10.42"E	30.5
8	13°10'4.26"N	100°50'10.42"E	31.6
9	13°10'4.26"N	100°51'36.32"E	16.8
10	13°10'4.26"N	100°52'56.44"E	10.0
11	13°10'12.50"N	100°54'53.41"E	6.7
12	13° 9'20.7"N	100°55'33.72"E	4.5
13	13° 8'42.00"N	100°54'1.00"E	7.9
14	13° 8'1.50"N	100°53'47.00"E	8.4
15	13° 8'1.50"N	100°52'56.44"E	19.5
16	13° 8'42.00"N	100°52'56.44"E	18.3
17	13° 8'42.00"N	100°51'36.32"E	26.5
18	13° 8'42.00"N	100°50'10.42"E	17.4
19	13° 8'42.00"N	100°49'10.00"E	5.7
20	13° 7'21.00"N	100°49'10.00"E	17.4
21	13° 7'21.00"N	100°50'10.42"E	28.2
22	13° 7'21.00"N	100°51'36.32"E	25.9
23	13° 7'21.00"N	100°52'56.44"E	14.5
24	13° 7'21.00"N	100°53'39.00"E	6.2
25	13°10'28.00"N	100°48'33.91"E	3.0
26	13° 8'16.65"N	100°49'15.09"E	2.5

ตารางที่ ก.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า

สถานี	ขนาดตะกอน			% น้ำ	%OC	pH	Eh (mV)
	% sand	% silt	% clay				
1	65.0	17.6	17.5	21.7	0.57	7.71	-25
2	7.1	65.5	27.4	56.0	2.10	7.87	-132
3	20.6	55.2	24.2	56.8	1.96	7.61	-118
4	29.3	47.5	23.2	56.4	1.91	7.74	-107
5	24.4	51.1	24.5	59.4	2.10	7.64	-131
6	68.4	11.9	19.7	22.6	0.36	7.85	-65
7	11.2	64.0	24.8	57.9	2.24	7.44	-135
8	16.1	59.5	24.4	57.9	2.02	8.01	-187
9	14.1	63.1	22.8	49.0	1.57	7.51	-57
10	13.7	64.2	22.1	48.1	1.60	7.87	-118
11	22.1	55.9	22.0	47.7	1.31	7.27	-100
12	41.6	42.9	15.5	42.5	0.90	7.28	-64
13	7.9	64.9	27.2	41.5	0.86	7.36	-99
14	11.6	54.5	33.9	60.5	1.58	7.46	-59
15	8.6	63.2	28.3	61.2	1.57	7.55	-80
16	21.2	51.3	27.5	59.8	1.65	7.52	55
17	9.1	62.6	28.3	56.7	1.52	7.53	-20
18	32.9	30.1	37.0	60.9	1.92	7.4	34
19	80.8	1.9	17.4	34.7	0.78	7.43	-76
20	33.9	38.6	27.5	25.8	0.52	7.33	-62
21	32.8	37.0	30.2	44.5	1.00	7.38	-100
22	17.5	54.1	28.4	58.1	1.56	7.3	-35
23	4.3	56.5	39.2	51.8	1.56	7.42	-131
24	32.1	47.8	20.1	65.3	1.75	7.21	-87
25	38.5	35.3	26.2	30.3	2.30	-	-
26	33.9	45.0	21.1	31.0	2.50	-	-

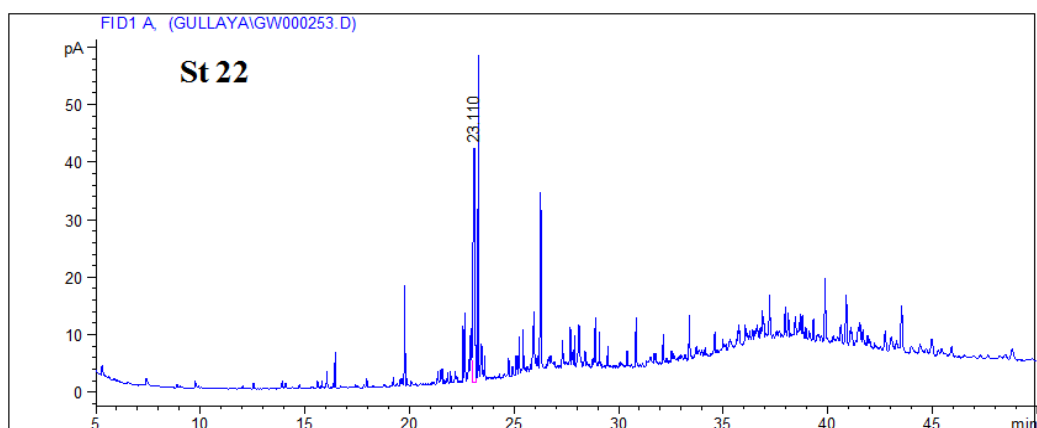
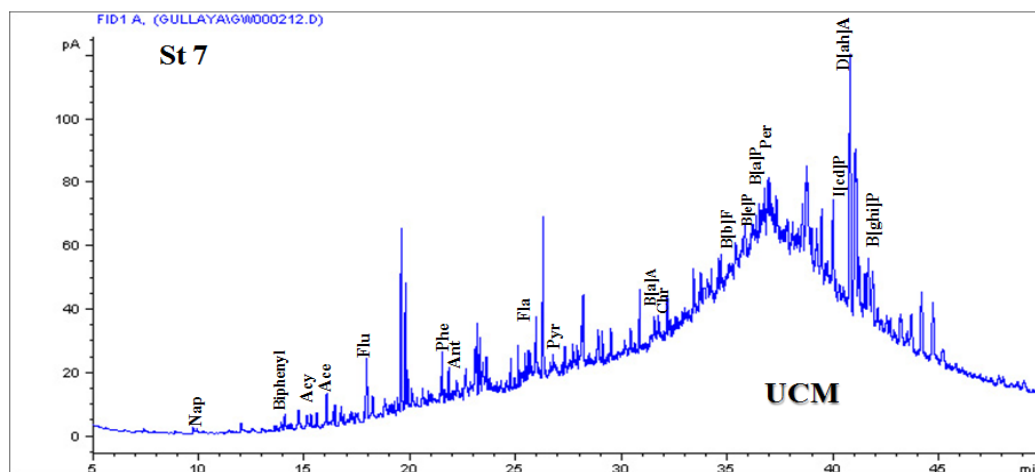
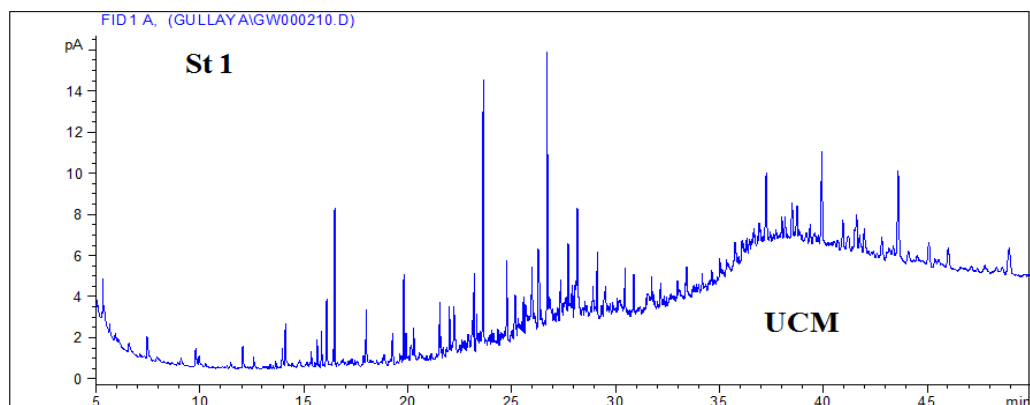
ตารางที่ ก.3 Limit of Detection (LOD) และ Limit of Quantitation (LOQ) ของ PAHs (n=10)

No	Name	Retention Time (min)		LOD (µg/L)	LOQ (ng/g dw)
		Mean	SD		
1	Nap	9.88	0.04	11.0	0.25
2	Acy	15.36	0.01	7.0	0.27
3	Ace	16.06	0.02	16.0	0.24
4	Flu	17.93	0.02	9.0	0.10
5	Phe	21.48	0.02	14.0	0.11
6	Ant	21.65	0.02	10.0	0.08
7	Fla	26.00	0.02	6.0	0.11
8	Pyr	26.80	0.02	13.0	0.31
9	BaA	31.45	0.02	14.0	0.13
10	Chr	31.60	0.03	14.0	0.15
11	BbF	35.34	0.03	9.0	0.11
12	BkF	35.47	0.07	16.0	0.59
13	BaP	36.37	0.03	19.0	0.47
14	IcdP	40.50	0.05	28.0	0.35
15	DahA	40.67	0.05	14.0	0.55
16	BghiP	41.59	0.07	14.0	0.98

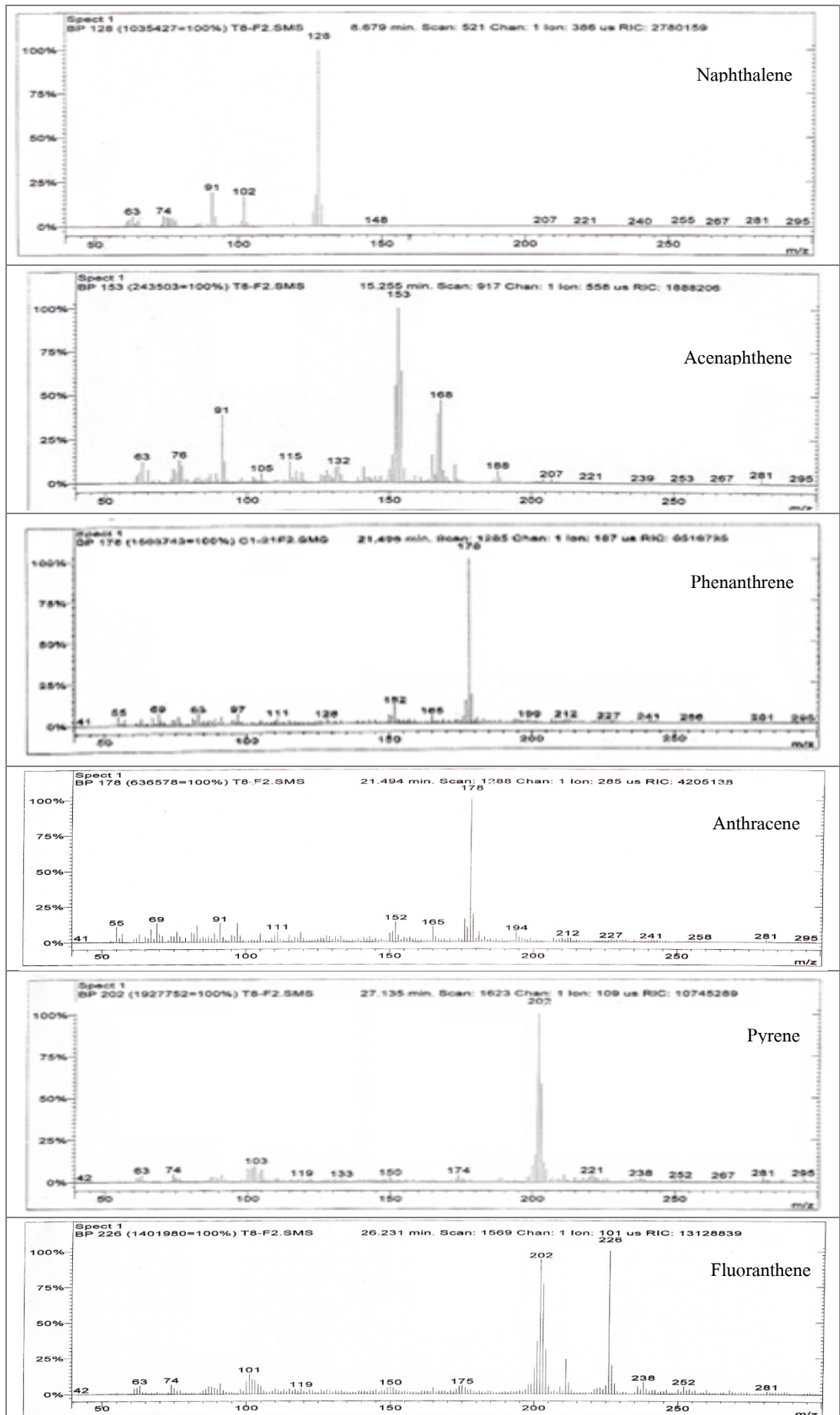
ตารางที่ ก.4 อัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างไอโซเมอร์ของ PAHs (Source diagnostic ratios) ในตัวอย่างตะกอน

Station	Ant/(Ant+Phe)	Flt/(Flt+Pyr)	BaA/Chr	BaA/(BaA+Chr)	InP/(InP+BgP)	Phe/Ant	Flt/Pyr
1	0.03	0.32	0.37	0.27	-	28.52	0.47
2	0.60	0.77	0.38	0.27	0.26	0.66	3.42
3	0.40	0.72	-	-	-	1.51	2.59
4	0.73	0.68	0.68	0.40	0.66	0.37	2.13
5	0.63	0.64	0.04	0.04	-	0.60	1.75
6	0.16	0.61	0.59	0.37	0.44	5.38	1.58
7	0.53	0.56	0.69	0.41	0.28	0.87	1.26
8	0.67	0.68	0.40	0.28	0.40	0.49	2.17
9	0.52	0.67	1.55	0.61	0.47	0.93	1.99
10	0.49	0.63	0.19	0.16	0.40	1.02	1.73
11	0.39	0.78	0.38	0.27	0.31	1.59	3.47
12	0.71	0.90	0.82	0.45	0.17	0.40	8.86
13	0.53	0.60	0.69	0.41	0.53	0.88	1.53
14	0.82	0.48	0.65	0.39	0.56	0.22	0.94
15	0.64	0.64	0.69	0.41	0.30	0.57	1.75
16	0.73	0.68	-	0.00	0.30	0.37	2.14
17	0.51	0.57	0.52	0.34	0.27	0.97	1.32
18	0.32	0.22	0.62	0.38	0.57	2.08	0.28
19	0.67	0.59	0.50	0.33	0.57	0.50	1.42
20	0.27	0.63	0.59	0.37	0.64	2.76	1.68
21	0.51	0.57	0.76	0.43	0.43	0.96	1.34
22	0.49	0.60	0.26	0.21	0.47	1.06	1.49
23	0.57	0.59	0.43	0.30	0.32	0.75	1.43
24	0.27	0.61	0.76	0.43	0.77	2.74	1.57
25	0.67	0.46	0.66	0.40	0.27	0.49	0.85
26	0.31	0.33	1.22	0.55	0.47	2.20	0.49

ภาคผนวก ข.



ภาพที่ ข.1 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของ PAHs ที่สกัดจากตัวอย่างตะกอนผิวหน้าสถานีต่างๆ บริเวณชายฝั่งศรีราชา-เกาะสีชัง

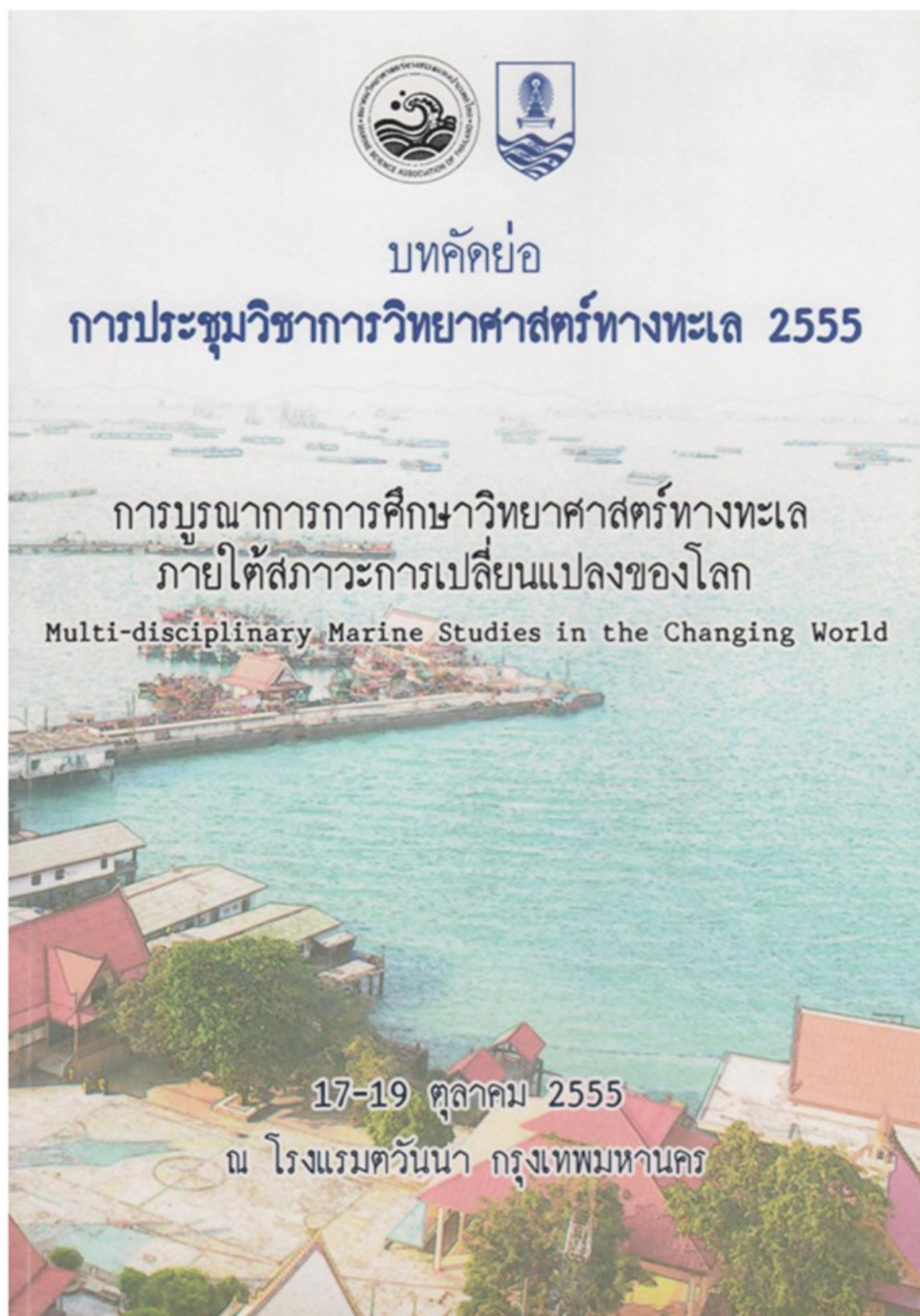


ภาพที่ ข.2 ตัวอย่างแมสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำจากการวิเคราะห์โดยเทคนิค GC-MS

ภาคผนวก ค.

ผลงานทางวิชาการของโครงการที่เผยแพร่แล้ว

1. เรื่อง การศึกษาอัตราทั้บถมของตะกอนดินบริเวณพื้นที่จ่อคเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 นำเสนอในรูปแบบ oral presentation ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2555: การบูรณาการการศึกษาวิทยาศาสตร์ทางทะเลภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของโลก, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมตวันนา กรุงเทพมหานคร



การศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนดินบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี
โดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210

Study on Sediment Accumulation Rate at Koh Sichang Anchorage Area, Chonburi Province
by Using Pb-210 Method

รัตนศิรินทร์ ทรัพย์เจริญ^{1,*} กัลยา วัฒนการ¹ และชนินฐา ศรีสุขสวัสดิ์²

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

² สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ต.ทรายมูล อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

* Corresponding Author, E-mail: ratsirins@gmail.com

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนดินโดยวิธีวัดกัมมันตภาพรังสีของตะกั่ว-210 ในแท่งตะกอนดินบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง โดยเก็บแท่งตะกอนดิน 4 แท่ง (ความยาว 50-80 เซนติเมตร) ในเดือนสิงหาคม 2554 จากด้านเหนือ ด้านตะวันออก ด้านใต้และตรงกลางของพื้นที่จอดเรือ ทุกความถี่ของชั้นตะกอนดินในช่วง 5 เซนติเมตรได้วิเคราะห์หา ^{210}Pb โดยการวัดกัมมันตภาพรังสี ^{210}Po และสารติดตาม ^{209}Po ด้วยเครื่อง Alpha spectrometry ปริมาณ $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ที่วัดได้ถูกนำไปคำนวณหาอัตราการทับถมของตะกอนโดยใช้แบบจำลอง Constant Initial Concentration model (CIC model) และ Constant Rate of Supply model (CRS model) ผลจาก CIC model พบอัตราการทับถมของตะกอนมากที่สุดด้านเหนือของพื้นที่จอดเรือด้วยอัตรา $0.403 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ ในขณะที่อัตราการทับถมของตะกอนด้านใต้และตะวันออกมีค่าใกล้เคียงกันที่ 0.212 และ $0.243 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ ตามลำดับ อัตราการทับถมของตะกอนตรงกลางของพื้นที่จอดเรือไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากค่า $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ใกล้เคียงกันทุกระดับความลึกซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรบกวนของชั้นตะกอน ส่วนผลของอัตราการทับถมของตะกอนจาก CRS model นั้นมีค่าบางช่วงที่เหลื่อมและซ้อนทับกันระหว่างสามบริเวณจึงไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน อัตราการทับถมของตะกอนมากที่สุดด้านเหนือของพื้นที่จอดเรือเป็นไปตามที่คาดไว้เนื่องจากแหล่งของตะกอนมาจากแม่น้ำบางปะกงซึ่งอยู่ทางด้านเหนือของพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง

คำสำคัญ: อัตราการทับถมของตะกอน, เกาะสีชัง, ตะกั่ว-210

Abstract

Sediment accumulation rates were studied in sediment cores from Koh Sichang anchorage area by using ^{210}Pb method. Total of 4 sediment cores (50-80 cm long) were collected in August 2011 from the north, the east, the south, and the middle of the anchorage area. For every 5 cm interval depth of sediments, ^{210}Pb were analyzed via the measurement of ^{210}Po and the internal tracer ^{209}Po by Alpha spectrometry. Sediment accumulation rates were estimated from excess ^{210}Pb profiles by applying two models: Constant Initial Concentration model (CIC model) and Constant Rate of Supply model (CRS model). Based on the CIC model, sediment accumulation rate was highest at the north of the anchorage area with the value of $0.403 \text{ g/cm}^2/\text{y}$ whereas the east and the south areas has similar sediment accumulation rate with the values of 0.212 and $0.243 \text{ g/cm}^2/\text{y}$, respectively. Sediment accumulation rate at the middle anchorage area cannot be estimated because the $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ values were nearly constant at all sediment depths. The constant $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ profile possibly results from the sediment disturbance in the middle anchorage area. Based on the CRS model, the ranges of sediment accumulation rates were overlapped between the three calculated sediment cores, showing no significant difference. The higher sediment accumulation rate in the north of anchorage area could be explained by the major source of sediment from Bangpakong River, which is located in the north of Koh Sichang anchorage area.

Keywords: sediment accumulation rate, Koh Sichang, ^{210}Pb

2. นำเสนอผลงานทางวิชาการ เรื่อง การสะสมพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12 และ 2nd International Conference on Environmental Science & Engineering and Management ระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่นราชาออร์คิด จังหวัดขอนแก่น



สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
Est. 1984 Environmental Engineering Association of Thailand

ที่ ศวสท. ว 054/2556

15 กุมภาพันธ์ 2556

เรื่อง คอรับบทความเพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12

เรียน จักร บุญเพิ่ม และ กัลยา วัฒนากร

สิ่งที่ส่งมาด้วย ข้อเสนอแนะ

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (ศวสท.) มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการร่วมเฉลิมฉลองโอกาสครบรอบ 50 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และครบรอบ 30 ปี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีหน่วยงานร่วมจัด คือ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับ ศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงอุตสาหกรรม และ กระทรวงพลังงาน จะจัดงานการจัดประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 12 และ 2nd International Conference on Environmental Science & Engineering and Management ขึ้นระหว่างวันที่ 27-29 มีนาคม 2556 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออร์คิด จังหวัดขอนแก่น และท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้ารับการพิจารณาให้นำเสนอบทความในการประชุมวิชาการฯ นั้น

สมาคมฯ ขอแจ้งให้ท่านทราบว่าบทความของท่าน เรื่อง “การสะสมพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี” ได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาบทความให้นำเสนอในรูปแบบ **oral presentation** โดยขอให้ท่านดำเนินการดังนี้

1. ปรับปรุงแก้ไขบทความย่อแบบยาว (Extended abstract) ในกรณีที่มีข้อเสนอแนะของผู้ประเมิน โดยปรับแก้แล้วต้องไม่เกิน 2 หน้ากระดาษ A4 ภายในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2556 เพื่อจัดทำรูปเล่ม proceeding ต่อไป
2. จัดทำบทความฉบับเต็ม (Full paper) ตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด ไม่เกิน 8 หน้ากระดาษ A4 เพื่อจัดทำ CD proceeding โดยสมาคมฯ จะพิจารณาเฉพาะบทความที่เขียนตามรูปแบบที่กำหนด ภายในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2556
3. จัดส่งแบบลงทะเบียนสำหรับวิทยากร และทำเนียบวิทยากร ภายในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2556

ทั้งนี้ จึงขอให้ท่านใช้โปรแกรม Microsoft Word 2003 แล้วส่งกลับทางอีเมล confer@eeat.or.th มายังสมาคมฯ ภายในเวลาที่กำหนด วันและเวลาในการนำเสนอบทความจะแจ้งให้ทราบอีกครั้ง อนึ่ง ผู้ที่มีความประสงค์จะให้คณะกรรมการ peer review บทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย (TEET) บทความดังกล่าวเอกสารอ้างอิงจะต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น

ในการนี้ การเข้าร่วมนำเสนอบทความ ผู้นำเสนอบทความที่ได้รับอนุญาตจากต้นสังกัด สามารถเข้าร่วมการนำเสนอ บทความและเข้าร่วมประชุมฯ ได้โดยไม่ถือเป็นวันลา และมีสิทธิ์เบิกค่าลงทะเบียนและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ได้ตามระเบียบฯ ของทางราชการ ทั้งนี้ ในการประชุมฯ ดังกล่าว มีผู้เข้าร่วมการประชุมฯ จากภาคเอกชนและราชการ โดยมีภาคเอกชนเข้าร่วมไม่น้อยกว่าจำนวน 3 ใน 4 ของผู้เข้าร่วมการประชุมฯ ทั้งหมด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ วิโรจนัญญ)

อุปนายกสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

การสะสมพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณ พื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment around Koh Sichang Anchorage Area, Chonburi Province

จิตร บุญเพิ่ม¹ และ กัลยา วัฒยากร²

Chatt Boonperm¹ and Gallaya Wattayakorn²

¹นิสิตบัณฑิตศึกษา หลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ : 0-2218-5409, โทรสาร : 0-2255-0780, E-mail : Gallaya.W@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ รูปแบบองค์ประกอบ การกระจาย และแหล่งกำเนิดของพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(PAHs) ที่ปนเปื้อนในตะกอนดินบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอ เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 24 ตัวอย่างนำมาตรวจวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชัน(GC-FID) พบว่าความเข้มข้นรวมของ PAHs 16 ชนิดตามรายชื่อของ US EPA อยู่ในช่วงตั้งแต่ 65.2 นาโนกรัม/กรัม ถึง 1,794.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 403.7 นาโนกรัม/กรัม) ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของไทยที่เคยรายงานว่ามีปริมาณ PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4 - 6 วง มีสัดส่วนสูงถึง 90 % ของ PAHs รวม โดยทั่วไปพบ fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene และ benzo[ghi]perylene ในปริมาณสูงกว่า PAHs ตัวอื่นเกือบทุกตัวอย่าง การวิเคราะห์อัตราส่วนองค์ประกอบระหว่าง PAHs ที่ได้รับชี้แหล่งกำเนิด พบว่าตะกอนดินผิวหน้าบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาหลักมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยมีบางสถานี (สถานี 4 และ 18) ที่พบว่า PAHs มีแหล่งที่มาทั้งจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และจากการเผาไหม้

คำสำคัญ : พอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน; ตะกอนดิน; พื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

Abstract

The objectives of this study were to determine the concentration and types, characteristic distribution and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments collected from Koh Sichang anchorage area, Chonburi province, as measured by GC-FID. The results showed that the total concentrations of 16 PAH priority pollutant listed by US EPA varied from 65.2 to 1,794.1 ng/g dry weight (average concentration was 403.7 ng/g), which indicated that the total PAHs concentrations were relatively high compared to other coastal areas of Thailand. The PAHs profiles were dominated by four to six ring compounds which accounted for 90 % of total PAHs. Fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene,



dibenzo[a,h]anthracene and benzo[ghi]perylene represented the highest fractions in most surface sediment samples. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated that composition of PAHs in most sediment samples were characterized by pyrogenic PAH compositions. However, surface sediments from some stations (eg, station 14 and 18) exhibited a mixed petrogenic and pyrogenic sources.

Keywords : polycyclic aromatic hydrocarbons; sediment; Koh Sichang anchorage area, Chonburi province

บทนำ

พอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) เป็นสารพิษที่มีความสำคัญทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ โดยสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) ได้กำหนดให้ PAHs 16 ชนิด เป็นสารพิษอันตรายที่ควรได้รับความสำคัญศึกษาเป็นอันดับต้นๆ (priority PAHs) เนื่องจาก PAHs มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั่วไป รวมถึงสัตว์ทะเลเลี้ยงลูกด้วยนม และมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ในการได้รับสาร PAHs จากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร

PAHs จัดอยู่ในกลุ่มสารเคมีที่พบกระจายทั่วไปในสิ่งแวดล้อม โดยเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป นับว่าเป็นสารพิษปนเปื้อนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์ ซึ่งมีหลายบทความรายงานการเพิ่มขึ้นของการเกิดมะเร็งในสัตว์ทะเลจากบริเวณที่มีอุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลของน้ำมัน โดยความเป็นห่วงเกี่ยวกับ PAHs ในสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นจากข้อมูลที่ว่า PAHs เป็นสารพิษที่สามารถสะสมได้ดีในไขมัน และมีความคงทนในธรรมชาติ จึงทำให้มีการสะสมในตะกอนดินของสิ่งแวดล้อมทางทะเลและชายฝั่ง การทับถมของตะกอนดินที่ปนเปื้อน PAHs เป็นที่มาของการสัมผัส PAHs โดยตรงไปสู่สิ่งมีชีวิตบริเวณพื้นที่ท้องน้ำ และการสัมผัสทางอ้อม (เช่น จากสารแขวนลอย) ไปยังสิ่งมีชีวิตบริเวณน้ำชั้นบนของทะเล [1]

ด้วยลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของ PAHs ที่มีความแข็งแรงเป็นอย่างมาก PAHs จึงคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงและการสลายตัวในระหว่างการตกตะกอนสู่พื้นท้องน้ำ ทำให้พบแหล่งที่มาของ PAHs ในปัจจุบันมักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งในอดีตมีการบันทึกว่าการปนเปื้อนในตะกอนดินมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล มีบ้างที่พบว่าสัตว์ตั้งต้นที่เป็นสารอันตรายเนื่องมาจากการใช้ในกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งขนาดและผลกระทบอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์มักจะเพิ่มขึ้นตามกาลเวลา ดังนั้นความเข้มข้นของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจะมีค่าสูงกว่าตะกอนดินเก่าที่ถูกทับถมอยู่ในที่ลึก [2]

PAHs เป็นสารพิษที่กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งตรวจพบทั้งบริเวณผิวน้ำน้ำ ตะกอนดิน ดิน และพืช รวมทั้งในอากาศของทั้งพื้นที่ชนบทและในตัวเมือง PAHs ส่วนใหญ่เกิดขึ้นขณะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แหล่งที่มาของ PAHs ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการปล่อยของเสียจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ การเผาไหม้ในครัวเรือน และจากของเสียอุตสาหกรรม PAHs เป็นสารพิษหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการเกิดมะเร็งในอวัยวะหลายชนิด โรคเกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดหัวใจ อัตราการเกิดที่ลดลง และมีผลต่อการยับยั้งภูมิคุ้มกันโรค [3]

แหล่งที่มาของ PAHs ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ทั้ง PAHs ที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาไหม้ (petrogenic PAHs) และสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงจากการกระทำของมนุษย์ (อุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลของน้ำมัน) และกระบวนการทางธรรมชาติ (การไหลซึมของน้ำมัน) PAHs ที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรรมชาติ (diagenetic PAHs) (เช่น perylene) ที่มาจากตัวตั้งต้นที่กำเนิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต และ PAHs ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic PAHs) ของชีวมวลในปัจจุบัน เช่น การเผาป่า เผาหญ้า และเชื้อเพลิงฟอสซิล (ปิโตรเลียมและถ่านหิน) [4]

PAHs ที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นสารประกอบที่มีระยะเวลาในการเกิดอย่างช้าๆ ใช้เวลานาน อุณหภูมิปานกลาง และเป็นสารที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นปิโตรเลียมและถ่านหิน ส่วน PAHs ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของอินทรีย์สารเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการเผาไหม้ภายใต้อุณหภูมิสูงของเครื่องยนต์ในรถยนต์ เครื่องยนต์เรือขนส่งสินค้าต่างๆ และในระบบการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินและน้ำมัน เป็นต้น [5] PAHs ที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางธรรมชาติ เป็นสารที่เกิดขึ้นเมื่อสารประกอบอินทรีย์ถูกทับถมกันตามธรรมชาติทั้งในดินและตะกอนดิน ที่เรียกว่ากระบวนการ *diagenesis* โดยเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายใต้อุณหภูมิต่ำหลังจากที่ปริมาณออกซิเจนลดลง และเชื่อว่ามิจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียเข้ามาเกี่ยวข้องรวมทั้งกระบวนการอื่นที่ไม่มีสิ่งมีชีวิตเข้ามาเกี่ยวข้องที่เกิดต่อเนื่องกัน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาทั่วไปของการเกิดสารแอโรมาติกในธรรมชาติ [6]

PAHs มีการปนเปื้อนอยู่ทั่วไปในตะกอนพื้นท้องทะเล บริเวณที่มีปริมาณสูงมักเนื่องมาจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมมนุษย์ โดยอิทธิพลโดยตรงของแหล่งที่มาเหล่านี้มีผลต่อการกระจายของสารพิษ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำทะเล การเกิดขึ้นของ PAHs ซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ จึงมีแนวโน้มเกาะติดอยู่กับอนุภาคของสารแขวนลอยที่มีการเคลื่อนที่และสะสมในตะกอนดินในที่สุด [7]

สำหรับพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะลิขัง จังหวัดชลบุรี ที่มีการจอดเรือสินค้าขนาดใหญ่และเรือบรรทุกน้ำมันเป็นระยะเวลานาน มีการขนถ่ายสินค้าเกษตร ปูนซีเมนต์ และถ่านหินแบบเทกองจากเรือใหญ่เพื่อนำต่อไปยังแหล่งใช้ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลโดยรอบบริเวณจอดเรือ โดย PAHs ในถ่านหินที่ทิ้งกระจายและน้ำมันที่รั่วไหลจากกิจกรรมต่างๆ ในทะเลจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและสัตว์น้ำ ตลอดจนคุณภาพชีวิตของชุมชนเกาะลิขัง เนื่องจากเมื่อ PAHs เข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมทางทะเลและจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งเป็นผู้บริโภคอันดับสุดท้าย

แหล่งที่มาของ PAHs สามารถระบุได้จากอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs แต่ละชนิดหรือที่เรียกว่า "Diagnostic ratios" ตัวอย่างเช่น อัตราส่วน PAHs ที่มีเสถียรภาพน้อยกว่าคือ PAHs ที่มีเสถียรภาพมากกว่า สำหรับแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์พบว่ามีอัตราส่วน Pb/An (MW 178) น้อยกว่า 10 ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พบว่ามีอัตราส่วน Pb/An มากกว่า 10 สำหรับอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs คู่อื่นในการจำแนกประเภทการเผาไหม้ เช่น Fl/Py (MW 202) ใช้ในการจำแนกการเผาไหม้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมออกจากการเผาไหม้อินทรีย์สารประเภทอื่น นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs คู่อื่นๆ เช่น IP/Chy และ BaA/Chr ที่ใช้เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของการเผาไหม้และความแตกต่างของแหล่งที่มา PAHs [8]

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า บริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะลิขัง อำเภอกวีนาราช จังหวัดชลบุรี ซึ่งอยู่ระหว่างละติจูด $13^{\circ}11'29''N$ ถึง $13^{\circ}17'21''N$ และลองจิจูด $100^{\circ}49'10''E$ ถึง $100^{\circ}53'39''E$ (ครอบคลุมพื้นที่ในทะเลประมาณ 100 ตารางกิโลเมตร) ทั้งหมด 24 สถานี ดังรูปที่ 1 โดยเก็บในภาชนะอะลูมิเนียม และทำให้แห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาตะกอนดินบริเวณพื้นที่ออกเรือทอดสมอ เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

สารเคมีและสารมาตรฐาน

สารเคมี: อะซีโคน AR grade, ไคคลอโรมีเทน AR/pesticide grade, เอ็กซีเทน pesticide grade (Fisher และ Merck)

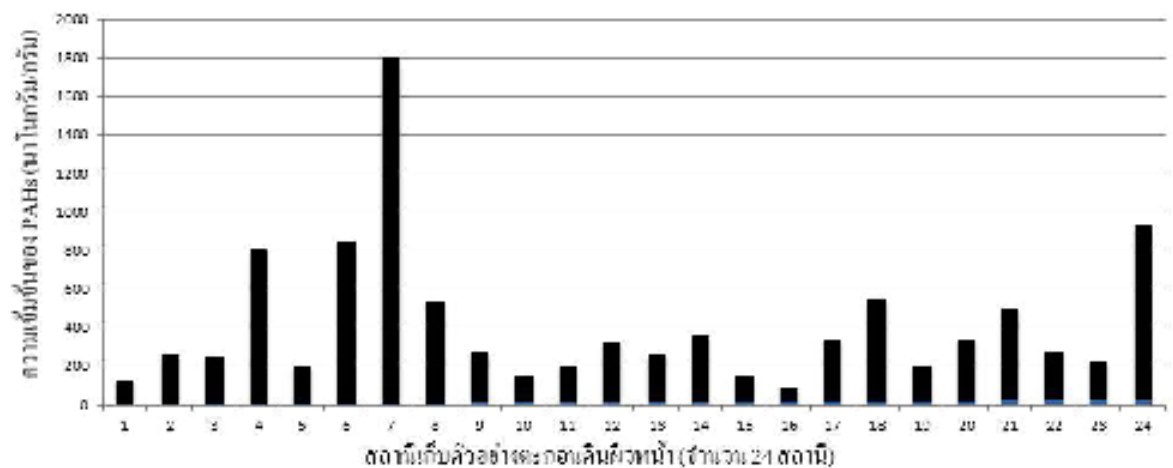
สารมาตรฐาน PAHs ผสม (18 ชนิด) อันประกอบด้วย Naphthalene (Naph), 2-Methylnaphthalene, 1-Methylnaphthalene, Acenaphthene, Acenaphthylene, Fluorene (Fl), Phenanthrene (Phen), Anthracene (Anth), Fluoranthene (Fla), Pyrene (Py), Benz[a]anthracene (BaA), Chrysene (Chry), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP), Indeno[1,2,3-c,d]pyrene (IP), Dibenzo[a,h]anthracene (DBA) และ Benzo[g,h,i]perylene (BghiP) ซึ่งละลายอยู่ในไคคลอโรมีเทน (2,000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) จากบริษัท Supelco (4743U LB57094)

วิธีการวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินตามวิธีการอ้างอิงสำหรับการศึกษามลพิษในสิ่งแวดล้อมทางทะเลหมายเลข 20 การหาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนของ IAEA/TOC/UNEP [11] โดยนำตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าที่ทำให้แห้งและผ่านการร่อนแล้วไปสกัดอย่างต่อเนื่องโดย Soxhlet Extractor ด้วยไคคลอโรมีเทน 12 ชั่วโมง แล้วทำการแยกส่วนที่เป็น PAHs ออกจากสารละลายที่สกัดได้ด้วยซิลิกาเจล-อะลูมินาคอลัมน์ที่ดัดแปลงมาจาก Ravanbakhsh, S., et al. [12] เพื่อให้เหมาะสมในการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของ PAHs ต่อไปด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Agilent Hewlett Packard (HP) 6890 โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดฟเลมไอออไนเซชัน (Flame Ionization Detector, FID)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลจากการศึกษา PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าจำนวน 24 ตัวอย่าง พบว่ามีความเข้มข้นของ PAHs รวม 16 ชนิด อยู่ในช่วงตั้งแต่ 65.2 นาโนกรัม/กรัม (สถานีที่ 16) ถึง 1,794.1 นาโนกรัม/กรัม (สถานีที่ 7 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการขนถ่ายอับหินจากเรือใหญ่สู่เรือลากจูง) ดังรูปที่ 2 โดยสามารถแยกแหล่งที่มาของ PAHs ด้วยอัตราส่วนวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งที่มา (source diagnostic ratios) อันมีพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์ทางองค์ประกอบที่แตกต่างกันของการเกิด PAHs และความคงทนของ PAHs แต่ละชนิด โดยอัตราส่วนวิเคราะห์มีประโยชน์อย่างมากในการแยกแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และแหล่งที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม



รูปที่ 2 แสดงความเข้มข้นของ PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

ความเข้มข้นรวมของ PAHs 16 ชนิดตามรายชื่อของ US EPA อยู่ในช่วงตั้งแต่ 65.2 นาโนกรัม/กรัม ถึง 1,794.1 นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 403.7 นาโนกรัม/กรัม) ซึ่งเป็นปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของไทยที่เคยรายงาน [13] PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 4-6 วงมีสัดส่วนสูงถึง 92 % ของปริมาณ PAHs รวม โดยพบ fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene และ benzo[ghi]perylene ในปริมาณสูงกว่า PAHs ตัวอื่นเกือบทุกตัวอย่าง

สำหรับการระบุแหล่งที่มาของ PAHs สามารถจำแนกได้จากอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs แต่ละชนิด หรือที่เรียกว่า "Diagnostic ratios" เพื่อระบุแหล่งที่มา อันมีพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์ทางความคงทนของ PAHs แต่ละชนิด โดยอัตราส่วนวิเคราะห์มีประโยชน์อย่างมากในการแยกแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Pyrogenic origins) และแหล่งที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petrogenic origins) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งที่มาของ PAHs จากการเผาไหม้ในสภาวะที่ไม่สมบูรณ์หรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

อัตราส่วนวิเคราะห์ระบุแหล่งที่มา (source apportionment, source diagnostic ratios) ของ PAHs				
อัตราส่วน	การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	การเผาล้างแร่	เอกสารอ้างอิง
Ph/An	< 10	> 10	0.22 – 28.52	Fang et al. (2007)[8], Mostafa et al. (2009)[9]
Fl/Py	> 1.0	< 1.0	0.28 – 8.86	Mostafa et al. (2009)[9]
An/(An+Ph)	> 0.1	< 0.1	0.03 – 0.82	Fan et al. (2010)[10]
Fl/(Fl+Py)	> 0.5	< 0.5	0.32 – 0.90	Fang et al. (2007)[8], Mostafa et al. (2009)[9]
IP/(IP+BghiP)	> 0.5	< 0.2	0.17 – 0.79	Fang et al. (2007)[8], Fan et al. (2010)[10]
BaA/Chr	> 0.35	< 0.2	0.04 – 1.55	Fang et al. (2007)[8]

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของ PAHs รวม (ng/g dry wt.) และอัตราส่วนวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งที่มาของ PAHs ที่ตรวจพบ

สถานีเก็บตัวอย่าง	PAHs รวม (16 ชนิด) (priority PAHs) (ng/g)	อัตราส่วนวิเคราะห์ระบุแหล่งที่มา (source apportionment, source diagnostic ratios)						แหล่งที่มาหลักของ PAHs
		Ph/An	Fl/Py	An/(An+Ph)	Fl/(Fl+Py)	IP/(IP+BghiP)	BaA/Chr	
1	125.1	28.52	0.47	0.03	0.32	0.00	0.37	Petrogenic
2	253.4	0.66	3.42	0.60	0.77	0.26	0.38	Pyrogenic
3	242.5	1.51	2.59	0.40	0.72	0.00	0.00	Pyrogenic
4	801.1	0.37	2.13	0.73	0.68	0.66	0.68	Pyrogenic
5	189.3	0.60	1.75	0.63	0.64	0.00	0.02	Pyrogenic
6	843.0	5.38	1.58	0.16	0.61	0.44	0.59	Pyrogenic
7	1794.7	0.88	1.28	0.53	0.56	0.28	0.75	Pyrogenic
8	525.5	0.49	2.17	0.67	0.68	0.40	0.40	Pyrogenic
9	266.6	0.93	1.99	0.52	0.67	0.47	1.55	Pyrogenic
10	129.9	1.02	1.73	0.49	0.63	0.40	0.19	Pyrogenic
11	185.9	1.59	3.47	0.39	0.78	0.31	0.38	Pyrogenic
12	312.8	0.40	8.86	0.71	0.90	0.17	0.82	Pyrogenic
13	249.8	0.88	1.53	0.53	0.60	0.45	0.69	Pyrogenic
14	342.2	0.22	0.94	0.82	0.48	0.53	0.65	Pyro + Petro
15	126.9	0.57	1.75	0.64	0.64	0.56	0.69	Pyrogenic
16	65.2	0.37	2.14	0.73	0.68	0.30	0.00	Pyrogenic
17	311.6	1.00	1.22	0.51	0.57	0.27	0.51	Pyrogenic
18	522.7	2.08	0.03	0.32	0.22	0.57	0.62	Pyro + Petro
19	225.6	0.86	1.59	0.56	0.61	0.54	0.50	Pyrogenic
20	315.0	3.53	1.85	0.27	0.63	0.64	0.59	Pyrogenic
21	479.3	0.92	1.35	0.55	0.57	0.43	0.76	Pyrogenic
22	252.4	4.61	0.00	0.18	0.00	0.48	1.49	Pyrogenic
23	220.8	0.75	1.43	0.57	0.59	0.32	0.43	Pyrogenic
24	907.6	4.45	1.57	0.24	0.61	0.77	0.76	Pyrogenic

การสะสม PAHs ในตะกอนดินบริเวณน้ำบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ส่วนใหญ่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน คือ มีอัตราผลจากการเผาไหม้ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยแสดงให้เห็นด้วยอัตราส่วนของ phenanthrene(Pb)/anthracene(An) < 10 อัตราส่วนของ fluoranthene(FI)/fluoranthene+pyrene(Py) > 0.5 และอัตราส่วนของ fluoranthene(FI)/pyrene(Py) > 1.0 แสดงว่า PAHs มีแหล่งที่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ยกเว้นในสถานีที่ 1 ที่พบว่าอัตราส่วนของ fluoranthene(FI)/fluoranthene+pyrene(Py) < 0.5 รวมทั้งพบอัตราส่วนของ phenanthrene(Pb)/anthracene(An) > 10 ในสถานีที่ 1 ซึ่งแสดงว่า PAHs มีที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นหลัก ส่วนในสถานีที่ 14 และ 18 พบว่า PAHs มีแหล่งที่มาทั้งจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและจากการเผาไหม้ ดังตารางที่ 2

สรุป

ผลจากการศึกษา PAHs ในตะกอนดินบริเวณน้ำจำนวน 24 ตัวอย่าง พบว่ามีความเข้มข้นของ PAHs รวม (ทั้งหมด 16 ชนิด) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 65.2 นาโนกรัม/กรัม (สถานีที่ 16) ถึง 1,794.1 นาโนกรัม/กรัม (สถานีที่ 7) โดยจากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนวิเคราะห์เพื่อระบุแหล่งที่มาของ PAHs แสดงให้เห็นว่าแหล่งที่มาของ PAHs ส่วนใหญ่ในตะกอนดินบริเวณน้ำบริเวณพื้นที่จอดเรือทอดสมอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี มีอัตราผลจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจากเรือประมง เรือข้ามฟาก ตลอดจนเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ที่มีอยู่อย่างหนาแน่นในบริเวณศึกษา และจากผืนดินในระหว่างกระบวนการขนถ่ายลงเรือเล็ก มากกว่าจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาไหม้ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงจากอุบัติเหตุการหกรั่วไหลของน้ำมัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช งบประมาณบางส่วนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาองค์ความรู้เพื่อการจัดการปัญหามลภาวะในทะเลและอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพบริเวณหมู่เกาะสีชัง (ปีที่ 2)” และขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไว้ ณ ที่นี้

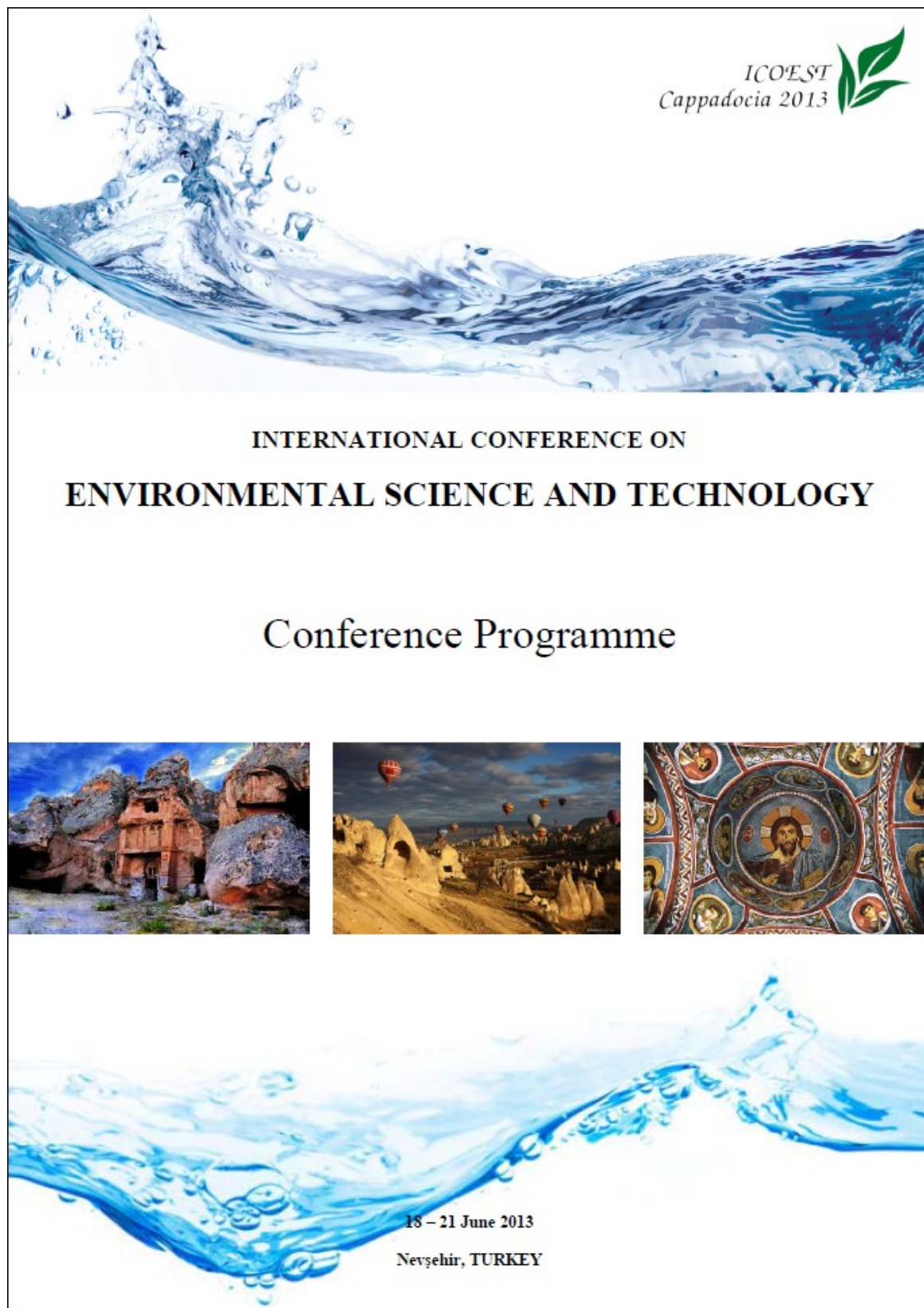
เอกสารอ้างอิง

- [1] 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. Marine Pollution Bulletin. 52: 942-256.
- [2] Siliman, J.E., Meyers, P.A., Eadie, B.J. and Klump, J.V. 2001. A hypothesis for the origin of perylene based on its low abundance in sediments of green Bay, Wisconsin. Chemical Geology. 177: 309-322.
- [3] Toyooka, T. and Ibuki, Y. 2007. DNA damage induce by coexposure to PAHs and light. Environmental Toxicology and Pharmacology. 23: 256-263.
- [4] Lima, A.L.C., Farrington, J.W. and Reddy, C.M. 2005. Combustion-Derived Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Environment-A Review. Environmental Forensics. 6(2): 109-131.
- [5] Boehm, P.D. and Saba, T. 2008. Identification and Allocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Environmental Forensics Notes. 4: 1-4.
- [6] Boehm, P.D. 2006. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Chapter 15. In Merrison, R.D. and Murphy, B.L. (eds.) Environmental Forensics, Contaminant Specific Guide, pp.313-337. Elsevier Academic Press publications.
- [7] Nikolaou, A., Kostopoulou, M., Lofrano, G. and Meric, S. 2009. Determination of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns. Global NEST Journal. 11(4): 391-405.



- [8] Fang, M.D., Hsieh, P.C., Ko, F.C., Baker, J.E. and Lee, C.L. 2007. Source and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Keelung river and submarine canyon system, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*. 54: 1179-1189.
- [9] Mostafa, A.R., Wade, T.W., Sweet, S.T., Al-Alimi, A.K.A. and Baraket, A.O. 2009. Distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen. *Journal of Marine Systems*. 78: 1-8.
- [10] Fan, C.W., Shiu, J., Wu, C.Y. and Wu, C.Y. 2010. Perylene dominance in sediments from a subtropical high mountain lake. *Organic Geochemistry*. XXX: XXX-XXX.
- [11] IAEA/IOC/UNEP. 1992. Determination of Petroleum Hydrocarbons in sediments. *Reference Methods for Marine Pollution Studies* No. 20, 75 pp.
- [12] Ravanbakhsh, S., Abolfasl, F., Farzad, K. and Parvin, B. 2007. The comparison of silica gel-alumina sorbents for separation of PAHs and PCBs, Iran. *J. Chem. Chem. Eng.* 26(2): 27-33.
- [13] Wattayakorn, G. 2012. Petroleum pollution in the Gulf of Thailand: A historical review. *Coastal Marine Science*, 35(1): 234-245.

3. เสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์เรื่อง **Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment of Ko Sichang-Siracha, Thailand** ในการประชุม International Conference on Environmental Science and Technology, ICOEST'2013 – CAPPADOCIA Urgup, Turkey, June 18-21, 2013



Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment of Ko Sichang-Siracha, Thailand

Gullaya WATTAYAKORN*, Chatt BOONPERM** and Ratsirin SUPCHAROEN*

*Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND

*(E-mail: gullaya.w@chula.ac.th)

**Inter-Department of Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University,
Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND



Introduction



Figure 1. The study area

Ko Sichang is a small island located along the eastern coast of the inner Gulf of Thailand, twelve kilometres offshore from the town of Siracha, Chonburi Province. Due to its proximity to shipping lane the marine area between Ko Sichang and Siracha has made a convenient anchorage spot for barges, which transship their cargoes to lighter boats for the trip up the Chaophraya River to the Bangkok Port. Coal transshipment as well as other human activities along Siracha coast are seen as possible point sources of PAHs in the area.

In this study, levels and distribution of EPA's 16 priority pollutant PAHs, a group of widespread environmentally toxic and persistent chemicals, were determined in surface sediments of Ko Sichang and Siracha coastal marine area, using gas chromatography with flame-ionization detection (GC/FID). Recovery of internal spikes added prior to extraction ranged from 80-105%. Concentrations of PAH compounds were not corrected for surrogate recoveries. The ratio of diagnostic PAH congeners was applied to assess potential sources of PAHs in this coastal area.

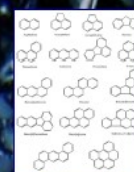


Figure 2. 16 parent PAHs prioritized by the USEPA

Results & Discussion

The total concentrations of 16 PAHs ranged from 65.2 to 18,970 ng/g dry wt (Fig. 3), with a median concentration of 282 ng/g dry wt. The highest concentration was observed at site 26, which is close to a ferry terminal and ship repairing facilities. The second highest concentration was at site 7, which is the coal transshipment area. The level of total PAHs concentrations were at moderate level compared to those observed in other international sites.



Figure 3. Concentration of Σ16PAHs in sediment samples collected from different locations between Ko Sichang and Siracha in February 2011.

Low molecular weight (LMW) PAHs and their alkyl derivatives are mostly of petrogenic origin, while high molecular weight (HMW) PAHs are produced due to pyrolytic activities. Thus the LMW/HMW PAH ratio is normally used to determine the petrogenic source and pyrolytic source. In this study, the relative contribution of LMW PAHs with 2-3 rings was lower, while HMW PAHs with 4-6 rings were dominant (except sites 1 and 26), suggesting that most stations appeared to be contaminated by pyrolytic PAHs.

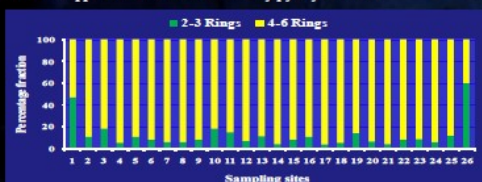


Figure 4. Composition of PAH components in the study area

Ratios of specific PAH compounds (Table 1) were also used to differentiate PAHs from pyrogenic and petrogenic origins. Diagnostic PAH source ratios indicated that pyrolytic sources (i.e. derived from combustion of petroleum and other organic materials) were the primary sources of sedimentary PAHs in the study area.

Table 1. The diagnostic PAH source ratio guidelines* and those obtained for sediments in the study area. *Modified from Yunker et al. (2002)

Diagnostic ratios	Petrogenic source	Pyrolytic source	This study	
			Mean ± sd	Range
Ant/(Ant+Phe)	<0.1	>0.1	0.51±0.19	0.03–0.82
Phe/Ant	>15	<10	2.27±5.47	0.22–28.52
Flt/Pyr	<1.0	>1.0	1.91±1.61	0.28–8.86
Flt/(Flt+Pyr)	<0.4	>0.4	0.6±0.15	0.22–0.90
BaA/Chr	<0.4	>0.9	0.60±0.31	0.04–1.55
BaA/(BaA+Chr)	<0.2(0.2-0.35)	>0.35	0.35±0.12	0.04–0.61
InP/(InP+BgP)	<0.2	>0.2	0.43±0.15	0.17–0.77

Binary cross plots between the ratios of Flt/(Flt+Pyr) vs. Ant/(Ant+Phe) and InP/(InP+BgP) vs. BaA/(BaA+Chr) were applied to further identify the potential sources of PAHs contamination in the study area (Fig. 5). The cross plots indicated that most sediment samples have mixed combustion sources (i.e. originated from grass/wood combustion as well as petroleum combustion).

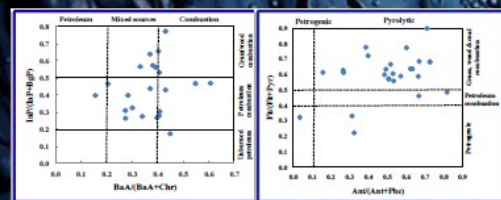


Figure 5. PAH cross plots for the ratios of Flt/(Flt+Pyr) vs. Ant/(Ant+Phe) and InP/(InP+BgP) vs. BaA/(BaA+Chr) in sediments of the study area.

Conclusions

Analysis of 26 surface sediment samples from Ko Sichang-Siracha marine area has provided very useful information for the evaluation of PAH contamination and probable sources. The PAH distribution profiles indicated potential source dependence, as the levels were generally higher in the vicinity of known inputs such as coal transshipment area, ferry terminals and ports. The results of diagnostic ratios showed that pyrogenic sources were the major source of PAHs in Ko Sichang-Siracha surface sediments. These could derived from combustion of petroleum, ship/boat emissions and other combustion processes. The presence of almost all human carcinogenic PAHs in the study area suggesting that future monitoring programs together with an effective coastal management program must be implemented to protect environmental and human health.

Acknowledgements: This work was financially supported by the National Research Council of Thailand, via the project "Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation around Sichang and Siracha, Chonburi Province". The authors wish to thank the research assistants and field personnel of the Institute of Aquatic Resources, Chulalongkorn University for their help in sampling the sediments.

The ICOEST'2013 - Cappadocia

Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment of Ko Sichang-Siracha, Thailand

G. Wattayakorn^{*1}, C. Boonperm² and R. Supcharoen¹

¹Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND

²Inter-Department of Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND

*Corresponding Author E- mail: gullaya@gmail.com

ABSTRACT

The levels and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were investigated in surface sediments of Ko Sichang and Siracha coastal marine area, Thailand using gas chromatography with flame-ionization detection (GC/FID). The total concentrations of 16 PAHs US EPA priority pollutants ranged from 65.2 to 18,970 ng/g dry weight (median concentration was 282.5 ng/g), which indicated that the level of total PAHs concentrations were at moderate level compared to those observed in other regions. PAH compositional signatures among Ko Sichang-Siracha coastal marine sediments are remarkably similar, with a prevalence of high-molecular weight PAHs (>3rings) comprising about 87 per cent of total PAH concentrations. Dibenzo[a,h]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[g,h,i]perylene, benzo[a]pyrene, fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, and pyrene represented the highest fractions in most surface sediment samples. Source identification using diagnostic PAH ratios indicated that composition of PAHs in most sediment samples originated mainly from incomplete combustion of organic matter (pyrolytic origin), with a mixture of pyrolytic and petrogenic PAHs were observed in some of the study sites. The presence of almost all human carcinogenic PAHs in the analysed area indicate that these sediments can be considered contaminated sites, suggesting that future monitoring programs together with an effective coastal management program must be implemented to ensure health and safety for all.

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); Petrogenic; Pyrolytic; Sichang-Siracha; Source apportionment; Thailand.

1. INTRODUCTION

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a diverse class of persistent organic chemicals that are widespread in marine, river and lake sediments and tend to be elevated in areas of human settlement. PAHs enter the environment by a variety of pathways. These compounds are present in unburned petroleum (petrogenic PAHs) and can be released directly to the environment both by human activities (oil spill) and natural processes (oil seepage). Diagenetic processes are also suspected to generate certain PAHs (e.g. perylene) from biogenic precursors. In general, biosynthesis is considered a localized source, with little

impact on global concentrations. The most prominent and ubiquitous source of PAHs to the environment is the incomplete combustion of modern (wood) and fossil (petroleum and coal) biomass [1, 2]. High-molecular-weight PAHs from anthropogenic sources can reach toxic concentrations that are detrimental to the environment and human health. Several PAHs are known to be carcinogens and/or mutagens or precursors to carcinogenic daughter compounds [3, 4]. Accordingly, they had been included in the USEPA and the EU priority monitoring pollutants list. PAH compounds persist in the environment and, due to their hydrophobicity, become associated with particulate matter, such as clay, silt and detritus, and preferentially concentrate on sediment or soil particles. Owing to their aromatic structure, PAHs are inherently stable in the environment, particularly under reducing conditions, such as encountered in sediments [5]. Even under favourable conditions, the sorbed PAHs will be released to the water as an extended source to threaten the aquatic ecosystem through bioaccumulation in food chains [6]. Thus, understanding the contributions of the various sources is essential and important for appropriately managing PAHs levels in the environment.

The presence of PAHs in the marine environment has attracted the attention of the scientific community as these compounds are frequently detected in sediments at increasing levels and many of these compounds are potential or proven carcinogens, hence finding the sources of PAH contamination are commonly of environmental concerns. The major sources of PAHs may be either natural or anthropogenic. There are two anthropogenic PAHs sources: pyrolytic hydrocarbons from combustion sources and petrogenic hydrocarbons from petroleum sources. Pyrolytic PAHs, characterized by a predominance of parent compounds with four or more aromatic rings, can be emitted from the incomplete combustion of modern biomass (such as wood) and fossil fuels (petroleum and coal) [1, 2, 7]. Combustion sources of PAHs in the industrialized countries include power plants, refineries, and automobiles (via gasoline and diesel vehicle exhaust [8]. Petrogenic PAHs, compounds with two to three aromatic rings, are produced by the slow maturation of organic matter under geochemical gradient conditions, such as oil spills and the leakage of refined products (e.g., gasoline, diesel fuel and fuel oil vehicle traffics or gas stations) [9,10]. In this respect, the molecular indices based on the ratio of selected PAHs concentrations in sediments can be used to elucidate the possible sources. The ratios between low and high molecular weight PAHs [9] and those of specific compounds, such as Flt/(Flt+Pyr), BaA/(BaA+Chr), Flt/Pyr and BaA/Chr have been proposed as valuable source indicators [10]. In addition, diagnostic ratios of BaA/Chr, BbF/BkF, BaP/BeP and InP/BgP have been applied to identify specific types of combustion, such as vehicle exhaust, coal/coke combustion, forest fires, and smelters [11, 12, 13].

Ko Sichang is a small island located along the eastern coast of the inner Gulf of Thailand, twelve kilometres offshore from the town of Siracha, Chonburi Province (Figure 1). Due to its proximity to shipping lane, the marine area between Ko Sichang and Siracha has made a convenient anchorage spot for dozens of barges which tranship their cargoes to lighter boats for the trip up the Chaophraya River to the Bangkok Port. The transshipment activities of coal in the area has resulted in an increase of fine coal dust and particles which will eventually settle down and act as a likely source of PAHs into the ambient environment. In addition, human activity along Siracha coast has resulted in a number of possible point sources of contamination; including a variety of industry activities, an oil refinery, ports, ferry terminals and fishing piers, being discharged into the receiving environment. Accordingly, data from a previous study [14] demonstrated elevated levels of organic matter and petroleum hydrocarbons in surface sediments of this area; hence it is essential to investigate the pollution sources and their environmental impacts on this coastal marine environment.

The objective of the present work was to quantify and determine the distribution of the 16 US

EPA priority pollutant PAHs in sediments from Ko Sichang and Siracha coastal marine area. In addition, the possible sources of PAH contamination were studied using diagnostic PAH ratios. This study provides valuable information to be referenced by engineers, planners and officials for future management strategies on PAHs in this area.

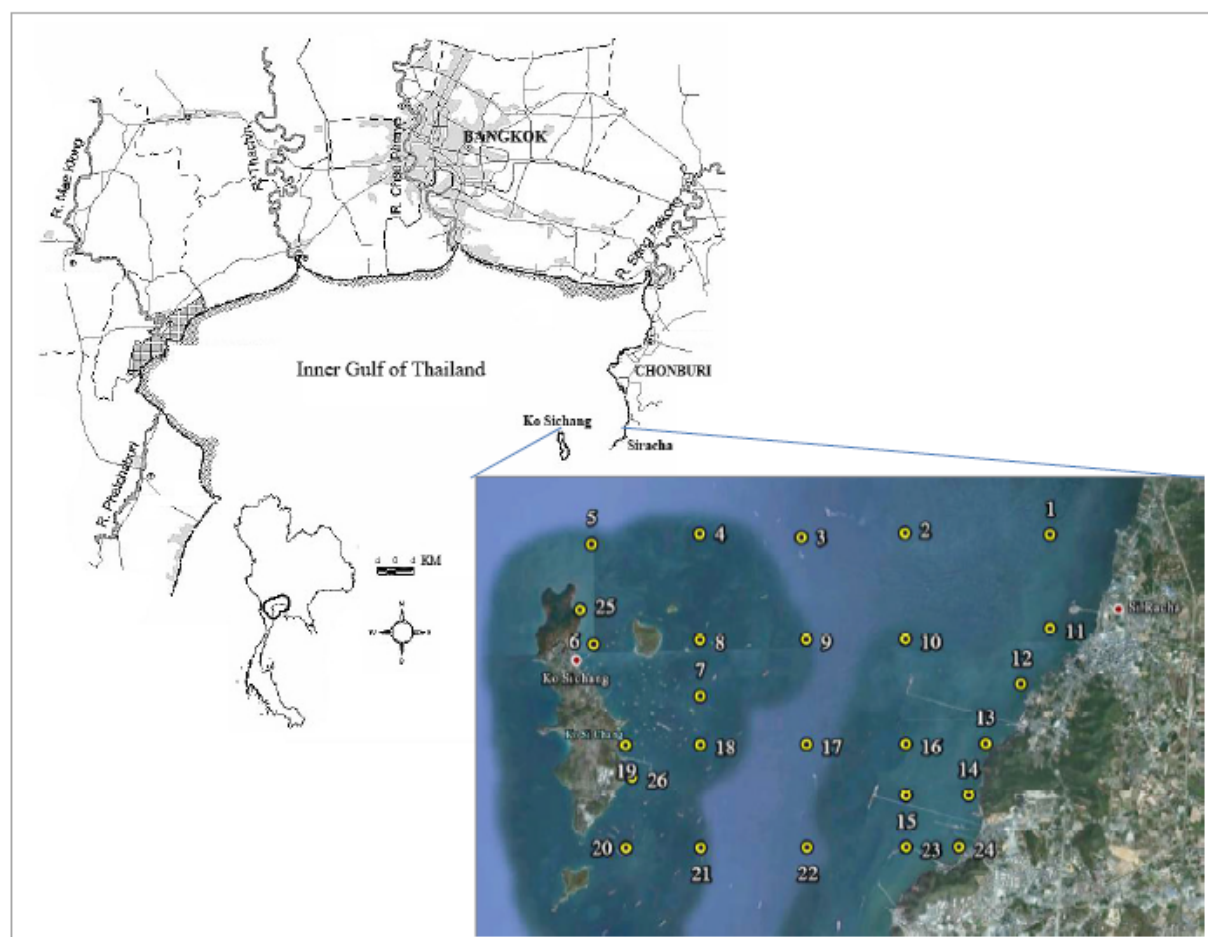


Figure 1. Study area showing sediment sample collection sites (1-26) between Ko Sichang and Siracha marine area.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sample collection and pre-treatment

The sediment samples were collected by a modified Van Veen grab sampler in February 2012; from 26 sites distributed along four transect lines in the marine area of about 100 square kilometres between Ko Sichang and Siracha (Figure 1). The top 0-3 cm of sediment samples were scooped from two replicate grabs and homogenized in a bucket to provide a single composite sample for each site. Homogenized samples were placed in pre-cleaned aluminium boxes and immediately stored in a cooler (4°C) on site, avoiding exposure to light, and then rapidly transported to the laboratory, where they were divided for physico-chemical assessment and for further PAHs evaluation. The considered physico-chemical parameters included the analysis of percentage water content, percentage organic carbon, and sediment characterization. Sediments for PAHs analysis were kept frozen until further processing.

Before extraction sediments were thawed at room temperature and mixed thoroughly, freeze dried and then sieved through the 250 μm screen to remove gravel and detritus.

2.2. Soxhlet extraction and fractionation of the extracts

Samples were analysed using the procedure of IAEA/IOC/UNEP [15], with slight modification. About 50g of the dried sediment sample was carefully transferred into the extraction thimble and placed in the extraction chamber of the Soxhlet extraction unit. An internal standard (9,10 dihydroanthracene) was added, and the sample was Soxhlet extracted with methylenechloride for 12h. The extract was reduced in volume, cleaned up and fractionated on a silica gel-alumina column [16], reduced in volume again with a gentle stream of ultra-pure nitrogen until 0.5mL, and finally the extract was analysed by using capillary gas chromatography.

2.3. Gas chromatographic analysis and quality control

PAHs were analyzed by a Hewlett Packed 6890 gas chromatograph (GC), coupled with flame ionization detector (FID) system equipped with a fused silica capillary column coated with HP-5 5% Phenyl methyl siloxane (30 m length and 0.32 mm ID 0.25 μm film thickness). A 1.0 μL aliquot of the extract was injected while the injector port was held at 250°C and operated in splitless mode. The oven temperature program started at 70°C covered a range from 70°C to 290°C at 6°C/min with 15 min hold. Helium was used as carrier gas with flow rate at 1.0mL/min constant flow and detector temperature was 300°C. Hydrogen and air ratios were optimized and their values were chosen as 30mL·min⁻¹ and 300mL·min⁻¹ respectively.

The following 16 PAHs (with three letter abbreviations) were quantified: naphthalene (Nap), acenaphthylene (Acy), acenaphthene (Acn), fluorene (Flu), phenanthrene (Phe), anthracene (Ant), fluoranthene (Flt), pyrene (Pyr), benzo[a]anthracene (BaA), chrysene (Chr), benzo[b]fluoranthene (BbF), benzo[k]fluoranthene (BkF), benzo[a]pyrene (BaP), indeno[1,2,3-cd]pyrene (InP), dibenzo[a,h]anthracene (DBA), and benzo[g,h,i]perylene (BgP). Total PAHs (ΣPAHs) was the sum of the 16 target PAHs. Compound concentrations below detection limits were assumed to be zero for the summation of ΣPAHs in each sample. The identification of PAHs was based on comparison of the retention times of the peaks with those obtained from standard mixture of PAHs (Supelco Ltd.) and from spiked samples analysed under the same conditions. Quantification was based on external calibrations curves prepared from the standard solution of each of the PAHs. The coefficients of determination (r^2) for the PAH standard calibration plots were Nap (0.994), Acy (0.997), Acn (0.993), Flu (0.994), Phe (0.996), Ant (0.996), Flt (0.992), Pyr (0.998), BaA (0.992), Chr (0.995), BbF (0.991), BkF (0.990), BaP (0.990), InP (0.991), DBA (0.994), and BgP (0.991). All the analysis was carried out in three times. The relative standard deviations ranged from 0.07 to 0.45%.

Analysis of procedural blanks and spiked samples with each set of analysed samples was used to assess quality control measurements. Four deuterated PAH surrogates (d_8 -naphthalene, d_{10} -fluorene, d_{10} -fluoranthene, d_{12} -perylene) were added to the samples and matrix blank prior to extraction. Recoveries of surrogates generally ranged from 80% to 105% of the spike concentration, with the overall mean of recovery $85 \pm 8.2\%$. Concentrations of PAH compounds were not corrected for surrogate recoveries.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Sediments characteristics

The results of sediment characteristics are presented in Table 1. The grain size was utilized to analyse the types of sediments. Sieve analysis and fine grain analysis show the majority of the sediments consisted of a silt mixture. The average mean grain size of surface sediments for most of the studied sites was silty clay. The organic carbon (OC) content ranged from 0.4% to 2.5%, with the average value of $1.5 \pm 0.6\%$. Site 7, 8, 25 and 26 had the highest OC contents, which is expected since these sites are either close to the coal transshipment area (7 and 8) or located near the ferry terminals (25 and 26). Site 1 and 6, had the lowest OC contents due to more sand-sized material (>65%) in the sediments.

Table 1. Mean($\pm$ sd) and range of the measured physico-chemical parameters of sediments of Ko Sichang-Siracha area.

	% sand	% silt	% clay	Texture
Mean $\pm$ s.d.	26.9 $\pm$ 19.7	47.7 $\pm$ 17.1	25.4 $\pm$ 5.7	silty clay
Range	4.3–80.8	1.9–65.5	15.5–39.2	
	%water	%OC	pH	Eh (mV)
Mean $\pm$ s.d.	48.4 $\pm$ 13.2	1.5 $\pm$ 0.6	7.5 $\pm$ 0.2	-79 $\pm$ 55
Range	21.7–65.3	0.4–2.5	7.2–8.0	55– (-187)

3.2. Concentration and distribution of PAHs

The Σ PAHs concentrations in sediment ranged from 65.2 ng/g to 18,970 ng/g, with a median concentration of 282.5 ng/g dry wt. The highest concentration was observed at site 26, which is close to a ferry terminal and ship repairing facilities. The second highest concentration was at site 7, which is the coal transshipment area. The Σ PAHs concentration detected in sediment sample of site 26 is around 290 times higher than the levels detected at site 16 (Figure 2).

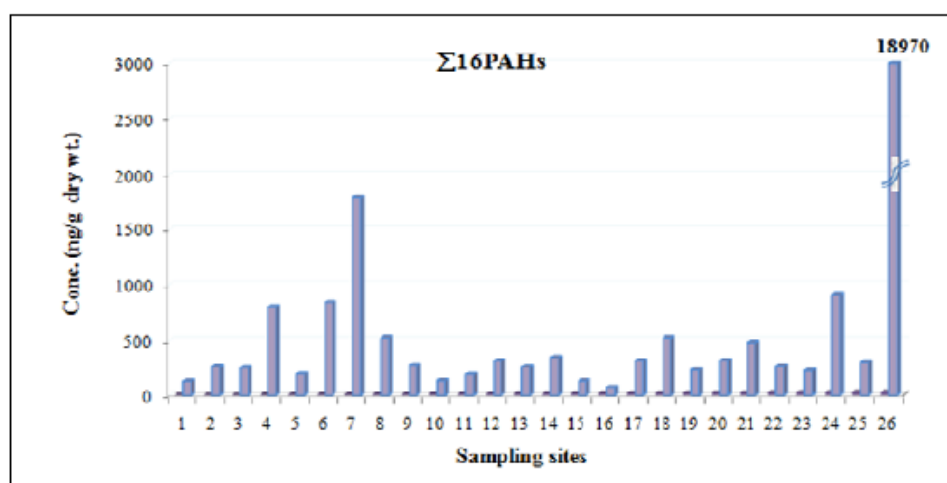


Figure 2. Concentration and comparison of Σ PAH in sediment samples collected from different locations between Ko Sichang and Siracha coastal marine area.

The distribution characteristics of 16 PAHs all through the study area were similar in such a way that the relative contribution of low molecular weight (LMW) components with 2~3 rings was lower (from 4% to 19%), while components with high molecular weight (HMW) with 4~6 rings were dominant (from 81% to 96%), except that of site 1 and 26 (Figure 3). Many of the PAH compounds were present at low concentration range. The individual PAH median concentrations were in the order: DBA(45.5) > BbF(33.3) > BgP(30.9) > BaP(28.8) > Flt(28.0) > InP(21.2) > Pyr(19.6) > Chr(16.9) > BkF(13.0) > BaA(9.9) > Ant(7.8) > Phe(6.7) > Acn(4.7) > Nap(2.5) > Flu(1.4) > Acy(1.1). Four to six ring PAHs are primary bound to particles like soot and engine exhaust and substituted PAHs are of minor significance. LMW compounds originate from petroleum products, burning activities at low to moderate temperature, while HMW PAHs are mainly formed by incomplete combustion processes of organic materials. Therefore pyrolytic and petrogenic sources contribute PAHs to the surface sediments of Ko Sichang-Siracha marine area, however the pyrolytic processes could be the main sources [1, 2].

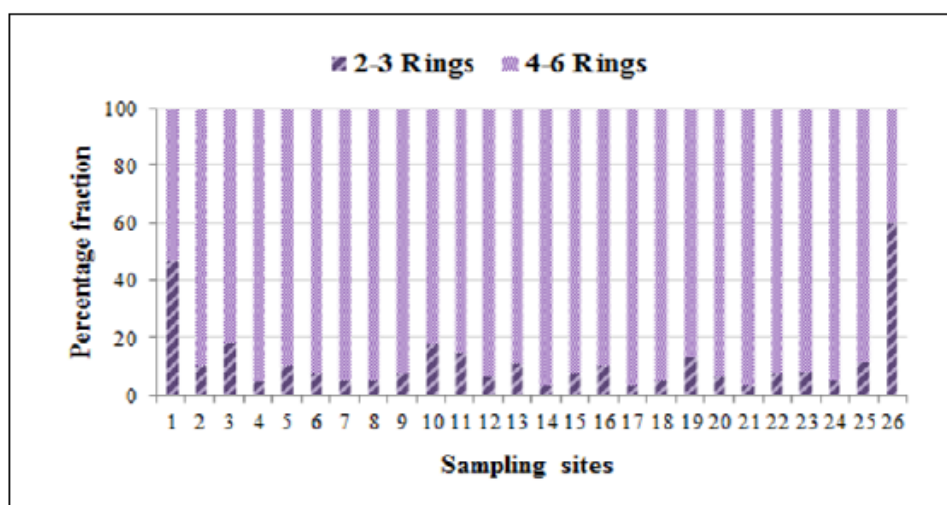


Figure 3. Composition of PAH components in surface sediments from Ko Sichang-Siracha coastal area.

3.3. Diagnostic ratios

The source of PAHs detected in a sample can further be determined by molecular ratios of some PAHs. PAHs of equal mass tend to behave similarly during transport and deposition and the ratios are preserved, hence these ratios are useful indicators of PAH sources, and have been widely used to infer the source of PAHs found in sediments [10-13, 17]. As such, several PAH isomer ratios i.e. Ant/(Ant+Phe), Flt/(Flt+Pyr), BaA/Chr, BaA/(BaA+Chr), InP/(InP+BgP), Phe/Ant and Flt/Pyr were calculated for the sediment samples in order to determine probable PAH sources (Table 2). The Ant/Ant+Phe ratio reveals that ratios <0.1 indicate PAHs source to be of petroleum origin while ratios >0.1 indicate PAHs source to be from pyrolytic activities [17]. When the Flt/Flt+Pyr ratio of sediment is higher than 0.5, combustion of grass, wood, and coal causes an increase of PAHs in the sediment. However, if the Flt/Flt+Pyr ratio is between 0.4 and 0.5, PAHs are mainly from combustion of petroleum; a ratio <0.4 indicates that typical petroleum contamination is usually the cause of PAHs in sediments. BaA/BaA+Chr reveals that ratios <0.2 are of petroleum origin, ratios in the range ≥ 0.2 and ≤ 0.35 as mixed sources and >0.35 as combustion sources. InP/InP+BgP presumes that PAHs ratios <0.2 indicate petroleum sources, ratios in the range ≥ 0.2 and ≤ 0.5 as petroleum combustion sources and >0.5 as grass, wood and coal combustion sources [17-22].

The Phe/Ant lower than 10 or Flt/Pyr ratio higher than 1 are characteristic of a pyrolytic origin whereas Flt/Pyr value lower than 1 or Phe/Ant higher than 15 are typical of a petrogenic origin. Cross plots of some ratios and their cut-off values for the various predicted sources are shown in Figure 4.

Table 2. The diagnostic PAH source ratio guidelines* and those obtained for sediments in the studied sites.

Diagnostic ratios	Petrogenic source	Pyrolytic source	This study	
			Mean $\pm$ sd	Range
Ant/(Ant+Phe)	<0.1	>0.1	0.51 $\pm$ 0.19	0.03 – 0.82
Flt/(Flt+Pyr)	<0.4	>0.4	0.6 $\pm$ 0.15	0.22 – 0.90
BaA/Chr	<0.4	>0.9	0.60 $\pm$ 0.31	0.04 – 1.55
BaA/(BaA+Chr)	<0.2(0.2-0.35)	>0.35	0.35 $\pm$ 0.12	0.04 – 0.61
InP/(InP+BgP)	<0.2	>0.2	0.43 $\pm$ 0.15	0.17 – 0.77
Phe/Ant	>15	<10	2.27 $\pm$ 5.47	0.22 – 28.52
Flt/Pyr	<1.0	>1.0	1.91 $\pm$ 1.61	0.28 – 8.86

*Modified from Yunker *et al.* [12, 23]

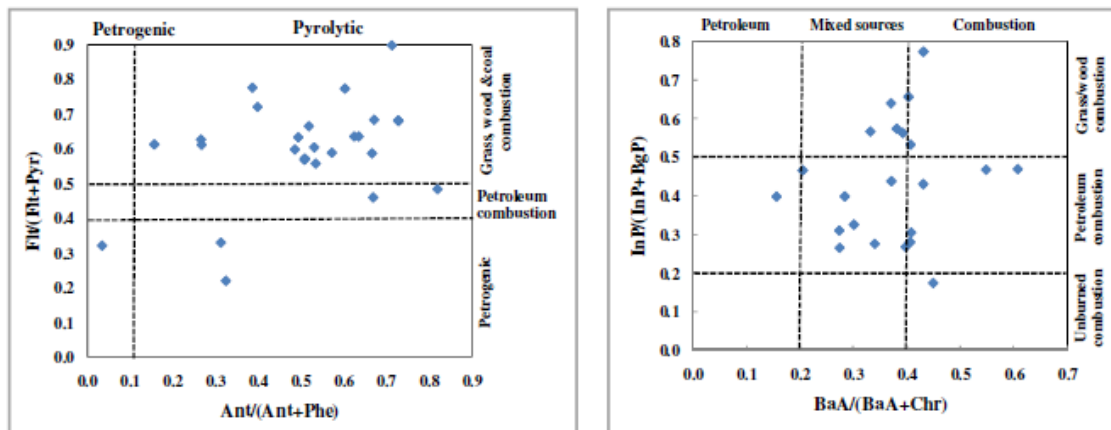


Figure 4. PAH cross plots for the ratios of Flt/(Flt+Pyr) vs. Ant/(Ant+Phe) and InP/(InP+BgP) vs. BaA/(BaA+Chr) in sediments of Ko Sichang-Siracha marine area.

At most of the sites investigated in this study, the Ant/(Ant+Phe) ratios were generally >0.1, ratios of Flt/(Flt+Pyr) were >0.4, ratios of InP/(InP+BgP) >0.2, ratios of Phe/Ant >10, ratios of Flt/Pyr >1.0. These indicate that pyrolytic sources were the primary sources of sedimentary PAHs in the study area. However, the BaA/Chr and BaA/(BaA+Chr) ratios indicated the mixed petrogenic and pyrolytic sources of the sedimentary PAHs. Figure 4 shows the cross plots for the ratios of Flt/(Flt+Pyr) vs. Ant/(Ant+Phe) and InP/(InP+BgP) vs. BaA/(BaA+Chr) in sediments, which indicated that most sediment samples have mixed combustion sources. Several of the Ko Sichang-Siracha sediment samples have InP/(InP+BgP) ratios indicate that the main sources of PAHs were combustion of petroleum, while several sediment samples have InP/(InP+BgP) ratios indicated that of grass or wood combustion source.

4. CONCLUSION

This study provides important data set on PAH levels in surface sediments of Ko Sichang-Siracha marine area. The PAH concentration levels of 16 PAH priority pollutants ranged from 65.2 to 18,970 ng/g dry weight with a median concentration was 282.5 ng/g. The overall levels of PAHs were moderate compared to coastal areas in other regions. The PAH distribution profile indicated potential source dependence, as the levels were generally higher in the vicinity of known inputs such as coal transshipment area, ferry terminals and ports. PAH diagnostic ratios indicated that PAHs in surface sediments mainly from pyrolytic sources (i.e. derived from combustion of petroleum and other organic materials) and very similar to PAH signatures of many coastal marine sediments elsewhere. The pyrolytic part of the pattern could arise from atmospheric transported coal derived particles from coal transshipment area, ship/boat emissions and other combustion processes. At most of the sites investigated in this study, the sedimentary PAH concentrations were dominated by BbF, BaP, DBA, BgP and InP, which are IARC probable and possible human carcinogens [3]. Hence, high contaminated sediment samples in the study area are expected to have a high toxic potential. A detailed assessment of ecological and human health risks associated with these compounds should be carried out as a matter of priority.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was financially supported by the National Research Council of Thailand, via the project "Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation around Sichang and Siracha, Chonburi Province (2nd Year)". The authors wish to thank the research assistants and field personnel of the Institute of Aquatic Resources, Chulalongkorn University and those of Kasetsart University for their help in sampling the sediments.

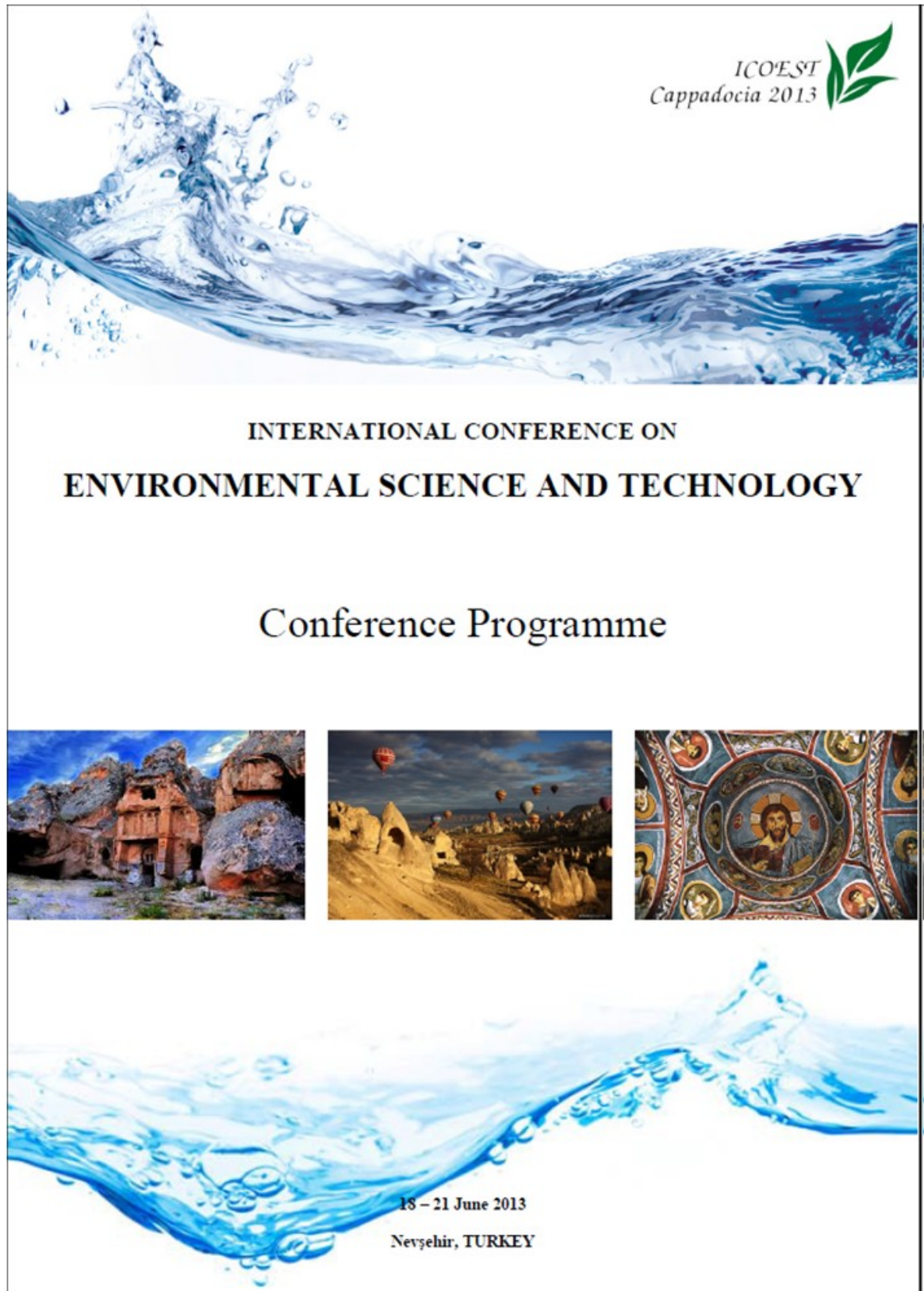
REFERENCES

- [1] R.M. Burgess, M.J. Ahrens, C.W. Hickey, 2003. Geochemistry of PAHs in Aquatic Environments: Source, Persistence and Distribution. In: Douben, P. (ed.). PAHs: An ecotoxicological perspective, pp. 35-45. Wiley, Chichester.
- [2] J.M. Neff, 1979. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Applied Science Publishers, Ltd., Essex.
- [3] IARC (International Agency for Research on Cancer), 2010. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. Vol. 92, p.773. [Online]. Available : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/index.php> [2013, March 11].
- [4] R. Schoeny, and K. Poirier, 1993. Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/600/R-93/089 (NTIS PB94116571).
- [5] F. Volkering, A.M. Breure, 2003. Biodegradation and General Aspects of Bioavailability. In: Douben, P. (ed.). PAHs: An Ecotoxicological Perspective, 81-96. Wiley, Chichester.

- [6] C. Zhang and G. Zheng, 2003. Characterization and desorption kinetics of PAHs from contaminated sediment in Houston Ship Channel. *Environmental Institute of Houston 2003 Annual Report*, 39–41.
- [7] C. Venkataraman, and S.K. Friedlander, 1994. Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons and elemental carbon. 2. Ambient measurements and effects of atmospheric processes. *Environmental Science and Technology*, 28, 563–572.
- [8] H.H. Yang, L.T. Hsieh, H.C. Liu and H.H. Mi, 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from motorcycles. *Atmospheric Environment*, 39, 17–25.
- [9] M.P. Zakaria, H. Takada, S. Tsutsumi, K. Ohno, J. Yamada, E. Kouno and H. Kumata, 2002. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of petrogenic hydrocarbons. *Environmental Science and Technology* 36, 1907–1918.
- [10] S.A. Stout, A.D. Uhler and S.D. Emsbo-Mattingly, 2004. Comparative evaluation of background anthropogenic hydrocarbons in surficial sediments from nine urban waterways. *Environmental Science and Technology* 38, 2987–2994.
- [11] L. Xiang, Y.X. Li, Z.F. Yang and N.H. Shi, 2010. Influence of traffic conditions on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon abundance in street dust, *Journal of Environmental Science and Health Part A* 45(3), 339–347.
- [12] M.B. Yunker, R.W. Macdonald, R. Vingarzan and R. H. Mitchell, 2002. PAHs in the Fraser River Basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition, *Organic Geochemistry* 33(4), 489–515.
- [13] H.H. Soclo, P. Garrigues and M. Ewald, 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Marine Pollution Bulletin* 40, 387–396.
- [14] G. Wattayakorn and S. Rungsupa, 2012. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Koh Sichang-Sriracha, Thailand, *Coastal Marine Science*, 35(1):122–128.
- [15] IAEA/IOC/UNEP, 1992. Determination of Petroleum Hydrocarbons in sediments. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 20, 75 pp.
- [16] S. Ravanbakhsh, F. Abolfasl, K. Farzad and B. Parvin, 2007. The comparison of silica gel-alumina sorbents for separation of PAHs and PCBs, *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 26(2): 27–33.
- [17] H. Budzinski, I. Jones, J. Bellocq, C. Pie'rard and P. Garrigues, 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde Estuary. *Marine Chemistry* 58, 85–97.
- [18] A.A. Olajire, R. Altenburger, E. Kuster and W. Brack, 2005. Chemical and Ecotoxicological Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-Contaminated Sediments of the Niger Delta, Southern Nigeria. *Science Total Environment* 340(1–3), 123–136.
- [19] M.D. Fang, P.C. Hsieh, F.C. Ko, J.E. Baker and C.L. Lee, 2007. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of Kaoping River and submarine canyon system, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1179–1189.
- [20] E. Morillo, A.S. Romero, L. Madrid, J. Villaverde and C. Maqueda, 2008. Characterization and Sources of PAHs and Potentially Toxic Metals in Urban Environments of Sevilla (Southern Spain). *Water Air Soil Pollution* 187(1–4), 41–51.
- [21] J.J. Jiang, C.L. Lee, M.D. Fang and J.T. Liu, 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments of southwest Taiwan: An appraisal of diagnostic ratios in source recognition. *Marine Pollution Bulletin* 58, 752–760.
- [22] A.K. Inengite, N.C. Oforka and L.C. Osuji, 2010. Evaluation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment of Kolo Creek in the Niger Delta. *International Journal of Applied Environmental Science* 5(1), 127–143.

- [23] M. B. Yunker, A. Perreault and C.J. Lowe, 2012. Source apportionment of elevated PAH concentrations in sediments near deep marine outfalls in Esquimalt and Victoria, BC, Canada: Is coal from an 1891 shipwreck the source? *Organic Geochemistry* 46, 12-37.

4. นำเสนอผลงานทางวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์ เรื่อง **Sediment Accumulation Rates and Total Carbon Content in Coastal Area of Ko Sichang-Siracha, Thailand** ในการประชุม International Conference on Environmental Science and Technology, ICOEST'2013 – CAPPADOCIA Urgup, Turkey, June 18-21, 2013





Sediment Accumulation Rates and Total Carbon Content in Coastal Area of Ko Sichang-Siracha, Thailand

Ratsirin SUPCHAROEN*, Gullaya WATTAYAKORN* and Kanidtha SRISUKSAWAD**

*Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND
(E-mail: ratsirins@gmail.com)

** Thailand Institute of Nuclear Technology, 9/9 Mu 7, Sai Mun, Ongkharak, Nakhon Nayok 26120, THAILAND



Abstract

Ko Sichang-Siracha area at the Gulf of Thailand has been recognized as a polluted coastal area since it is one of the important shipping transportation industries. In this study, we selected two coring sites in Ko Sichang-Siracha area to determine the recent sediment accumulation rates by using ^{210}Pb method, and the historical record of total carbon content in this region. ^{210}Pb were analyzed via the measurement of ^{210}Po and the internal tracer ^{209}Po by Alpha spectrometry. Sediment accumulation rates were estimated from excess ^{210}Pb profiles by applying constant initial concentration (c.i.c) model. Sediment accumulation rates were found to be 0.21 and 0.18 $\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ for the Ko Sichang (core 7) and Siracha (core 10) station, respectively. The percentage total carbon content of the two sediment cores slightly differs. Total carbon content of core 7 is uniform with depth, with an average carbon value of 3.39 ± 0.07 percent; whereas that of core 10 is uniform from the surface to 40 cm depth, with an average carbon value of 2.98 ± 0.18 percent. The greater percentage of total carbon of core 7 reflects the more intense shipping activities around Ko Sichang than Siracha area.

Introduction

Ko Sichang-Siracha area at the northeastern corner of the Gulf of Thailand has been recognized as a polluted coastal area since it is one of the important shipping transportation industries. We studied sediment accumulation rate by ^{210}Pb method and history of total carbon content from two sediment cores. In addition, spatial distribution of total carbon content was investigated to see human activity impact in this area.

Sediment accumulation rate by ^{210}Pb method is one of the classical dating methods. Principle of ^{210}Pb dating method is based on the pathway of ^{210}Pb (Fig. 2), where ^{210}Pb separates into supported and unsupported ^{210}Pb .

Total carbon content includes inorganic (e.g. CaCO_3 in shell) and organic (e.g. carbon from organic matter) parts. Coal fragments from the shipping activity in this area are considered to be one of the components in the total carbon content component here.

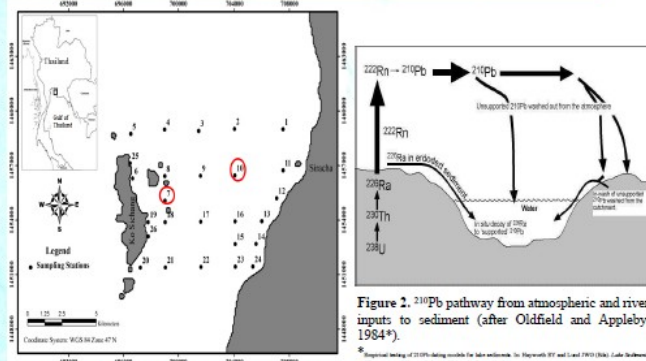


Figure 1. Sampling stations at Ko Sichang-Siracha area. Two sediment core stations are highlighted in red circles. Numbers indicate 26 sampling stations of surface sediment.

Materials and methodology

Sediment accumulation rate by ^{210}Pb

Sediment core 7 and core 10 were collected from the Ko Sichang-Siracha area in August, 2011 by using gravity corer. Core 7 (74cm long) and core 10 (90cm long) were sub-sectioned into 1cm interval and analyzed for ^{210}Pb for every 5 cm interval depth for the top 20 cm and every 10 cm interval depth for the 20–50 cm of sediment cores. The selected 1cm sediment layers were oven dried in the oven at 60°C to obtain water content for the porosity calculation. Dry sediments were ground using the ball mill grinder and sieved through $125\ \mu\text{m}$ size. ^{210}Pb analysis was performed indirectly via the measurement of ^{210}Po the internal tracer ^{209}Po by alpha spectrometry. Sediment accumulation rates were estimated from excess ^{210}Pb profiles by applying c.i.c. model (Eq.1), which assumes that constant initial concentration equals to constant sedimentation rate.

$$C_{ex}(z) = C_{ex}(z=0) \cdot e^{-(\lambda + s)z} \quad \text{Eq.1}$$

The concentrations of excess ^{210}Pb ($C_{ex}(z)$) are constant initially and decay exponentially with depth z . λ = decay constant of ^{210}Pb (yr^{-1}) and s = sediment accumulation rate ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$)

Total carbon content

Sediment core samples for every 5 cm interval and surface sediments from 26 stations were analyzed for total carbon content via the CHN/S/O Elemental analyzer, using 1.5 – 2.5 mg of dried and homogenized sediment samples in tin capsules.

Results & Discussion

Sediment accumulation rate of Core 7 and Core 10 are $0.21\ \text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ and $0.18\ \text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$, respectively. The slightly greater accumulation rate near Ko Sichang than Siracha may result from the current transport of sediment from the Bangpakong River from the north.

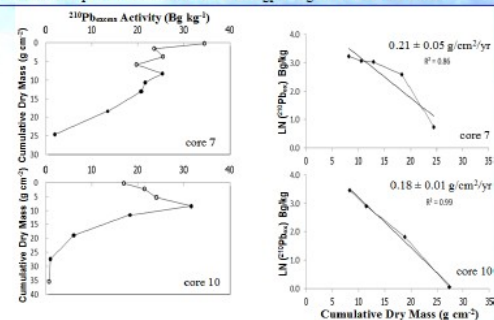


Figure 3. Profiles of excess ^{210}Pb activity from core 7 and core 10 (left column). Sediment core depth is expressed as cumulative dry mass (g/cm^2) to account for the sediment compaction. Filled symbols indicate data points used to calculate accumulation rate. Open symbols at the top sediment core indicate the mixed layer depth and the open symbols at the bottom indicate the depth of supported ^{210}Pb activity. Natural logarithm of $^{210}\text{Pb}_{ex}$ as a function of cumulative dry mass from core 7 and 10 (right column); the filled symbols in the left column were the data points used to fit the slopes and calculate the sediment accumulation rate in $\text{g}/\text{cm}^2/\text{yr}$ unit.

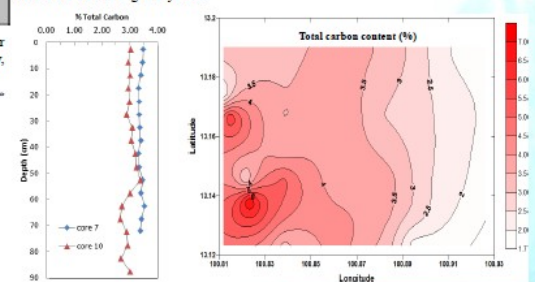


Figure 4. Total carbon content (%wt) from sediment core 7 and core 10.

- Average carbon content of core 7 ($3.39 \pm 0.07\%$) is greater than core 10 ($2.98 \pm 0.18\%$)
- total carbon content spatial distribution is greater on Ko Sichang side than Siracha
- carbon content data reflects more intense shipping activities on Ko Sichang side

Conclusions

Study on sediment accumulation rate by ^{210}Pb method provides useful history information on human activity impact at Ko Sichang-Siracha area. Records of total carbon content from the sediment cores and the spatial distribution of recently deposited surface sediment have shown in this study as evidence of human activity impact on the environment, especially from the shipping industries at Ko Sichang-Siracha region.

Acknowledgements

This research is part of the project entitled "Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation around Sichang and Siracha, Chonburi Province (2nd Year)" funded by The National Research Council of Thailand (NRCT). The authors also thank Graduate School of Chulalongkorn University for partially supporting this project and Thailand Institute of Nuclear Technology for providing research facilities on ^{210}Pb analysis.

Sediment Accumulation Rates and Total Carbon Content in Coastal Area of Ko Sichang-Siracha, Thailand

R. Supcharoen and G. Wattayakorn*

Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330, THAILAND

*Corresponding Author E- mail: gullaya.w@chula.ac.th

ABSTRACT

Ko Sichang-Siracha area at the northeastern corner of the Gulf of Thailand has been recognized as a polluted coastal area since it is one of the important shipping transportation industries on the east coast of Thailand. Oil spill accidents, tapioca flour and coal spills during barge transport, as well as ballast water discharges by ships have been occurring in Ko Sichang Anchorage area. In this study, we selected two coring sites in Ko Sichang-Siracha area to determine the recent sediment accumulation rates by using ^{210}Pb method, and the historical record of total carbon content in this region. For every 5 cm interval depth of the sediment cores, ^{210}Pb were analyzed via the measurement of ^{210}Po and the internal tracer ^{209}Po by Alpha spectrometry. Sediment accumulation rates were estimated from excess ^{210}Pb profiles by applying Constant Initial Concentration (CIC) model. Based on the CIC model, sediment accumulation rates were found to be 0.21 and 0.18 $\text{g/cm}^2/\text{yr}$ for the Ko Sichang (core 7) and Siracha (core 10) station, respectively (Fig. 1). The percentage total carbon content of the two sediment cores slightly differs. Total carbon content of core 7 is uniform with depth, with an average carbon value of 3.39 ± 0.07 percent; whereas that of core 10 is uniform from the surface to 40 cm depth, with an average carbon value of 2.98 ± 0.18 percent. The greater percentage of total carbon of core 7 reflects the more intense shipping activities around Ko Sichang than Siracha area. Further investigation on sedimentary organic matter in sediment core samples such as C/N ratio might reveal contaminant record from shipping activities at Ko Sichang-Siracha area.

Keywords: Sediment accumulation rate, ^{210}Pb , Total carbon content, Ko Sichang-Siracha, Thailand

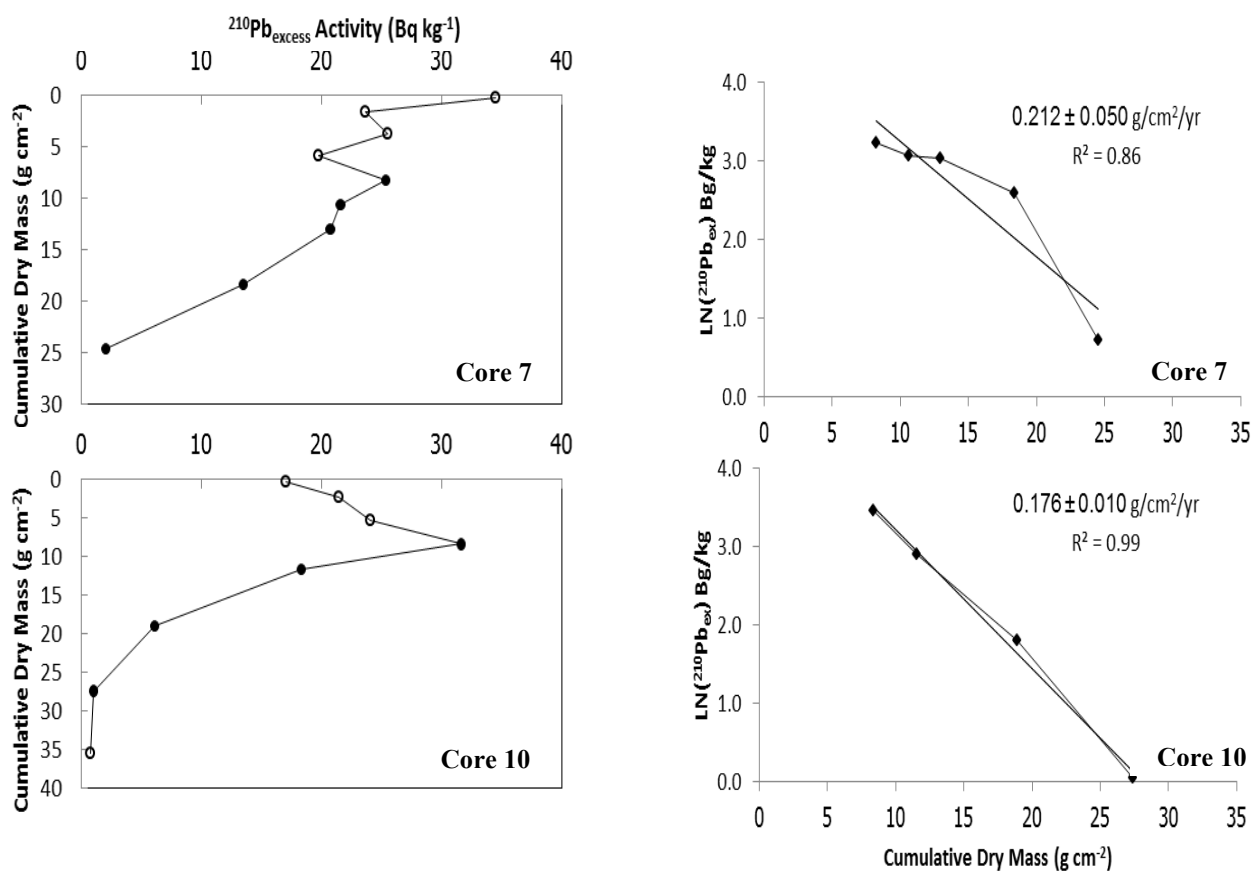


Figure. 1 Profiles of excess ^{210}Pb activity from Sichang (core 7) and Siracha (core 10). Sediment core depth is expressed as cumulative dry mass (g cm $^{-2}$) to account for the sediment compaction. Filled symbols indicate data points used to calculate accumulation rate. Open symbols at the top sediment core indicate the mixed layer depth and the open symbols at the bottom indicate the depth of supported ^{210}Pb activity. Natural logarithm of $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ as a function of cumulative dry mass from core 7 and 10 (right column); the filled symbols in the left column were the data points used to fit the slopes and calculate the sediment accumulation rate (in g/cm 2 /yr unit).

Acknowledgment: This research is part of the project entitled “Knowledge Management for Marine Pollution Abatement and Biodiversity Conservation around Sichang and Siracha, Chonburi Province (2nd Year)” funded by The National Research Council of Thailand (NRCT). The authors also thank Graduate School of Chulalongkorn University for partially supporting this project.