



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการสำรวจเอกสาร

ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

“น้ำมันดิบหรือปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน” เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติต่อเนื่องกันนับหลายร้อยล้านปีของสารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในชั้นของดินตะกอนใต้พื้นดิน ใต้ทะเลและมหาสมุทร มนุษย์เริ่มรู้จักน้ำมันได้ก็จากการรั่วซึมออกมาตามธรรมชาติ (Natural Seepage) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และแรงดัน ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก

น้ำมันดิบดังกล่าว เป็นสารผสมที่ซับซ้อน ประกอบด้วยสารเคมีจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่รู้จักกันในชื่อว่า “ไฮโดรคาร์บอน” องค์ประกอบของน้ำมันดิบแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

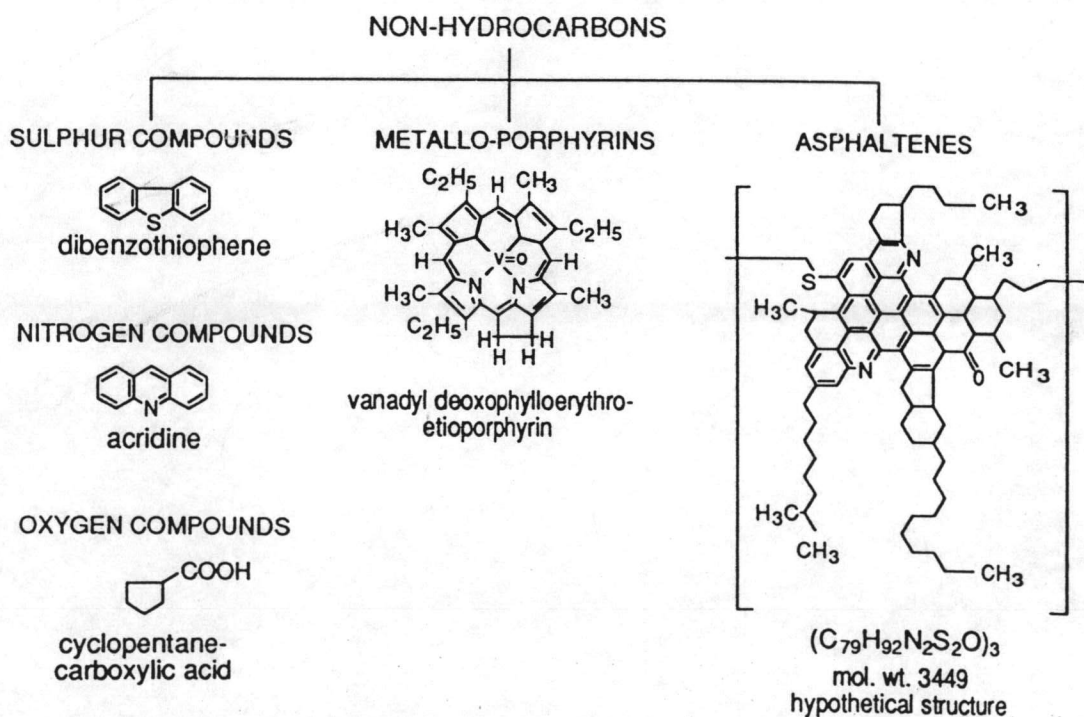
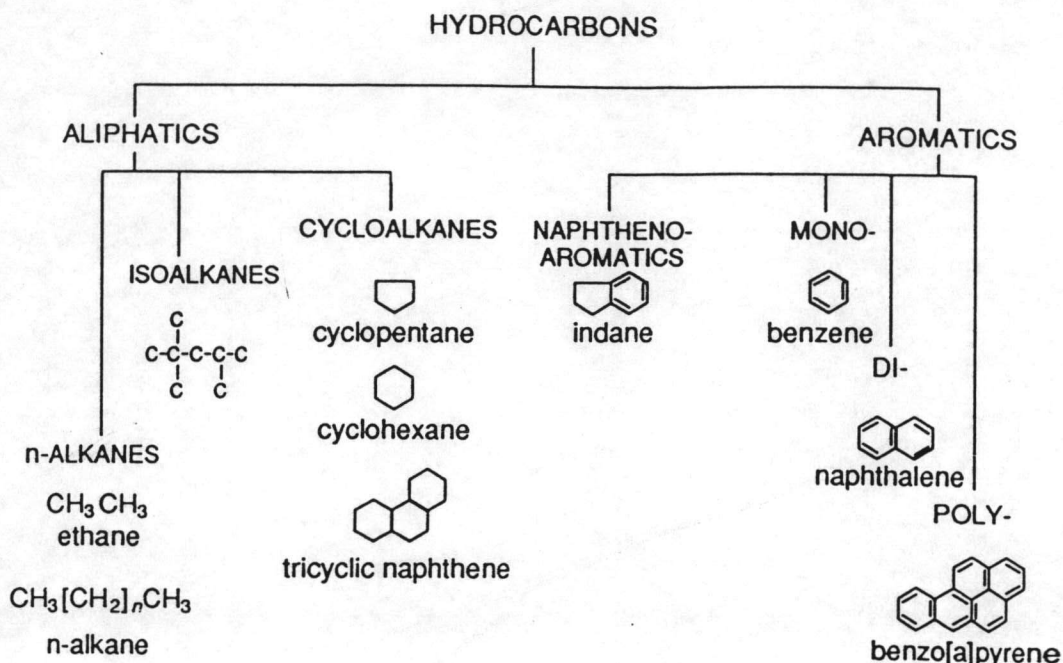
1. ไฮโดรคาร์บอน ได้แก่สารที่ประกอบด้วยธาตุ 2 ตัวเท่านั้น คือ คาร์บอน (C) กับ ไฮโดรเจน (H) โดยคาร์บอนอะตอมสามารถเกาะเกิดพันธะกับอะตอมอื่นได้สูงสุดถึง 4 อะตอม ดังนั้นไฮโดรคาร์บอนตัวแรกสุดก็คือ CH_4 (Methane) นั่นเอง นอกจากนี้คาร์บอนอะตอมยังมีคุณสมบัติในการเกิดพันธะกับคาร์บอนอะตอมอื่น เพื่อให้เกิดโครงสร้างต่างๆขึ้นมา เป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆกัน ดังนี้

1.1 อัลเคน หรือ พาราฟิน (Alkanes or Paraffins) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่ไม่มีโครงสร้างเกาะกันเป็นลูกโซ่ ซึ่งอาจเป็นเส้นตรงหรือแตกกิ่งก้านก็ได้ เรียกว่า อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) สารกลุ่มนี้ได้แก่พวก นอร์มัลอัลเคน (n-alkanes) มีสูตรทั่วไปคือ $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของสารกลุ่มนี้มากจะเรียกว่า Paraffin-based crude oil สารประกอบอัลเคนที่มีโครงสร้างแตกกิ่งก้านออกไป (branched or isoalkane) นั้นมักพบร่วมกับนอร์มัลอัลเคน หรือสารประกอบอัลเคนที่มีโครงสร้างเกาะกันเป็นเส้นตรง และไอโซพรีนอยด์ อัลเคนเป็นสารประกอบไอโซอัลเคนกลุ่มหนึ่ง จึงมักพบไอโซพรีนอยด์โดยเฉพาะพวกพริสเทน (Pristane) และ ไฟเทน (Phytane) อยู่ร่วมกับพวกนอร์มัลอัลเคนด้วยเสมอ

1.2 ไฮโคลอัลเคน หรือ แนพทีน (Cyclo-alkane or Naphthene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่ไฮโดรคาร์บอนเข้ามาอยู่ใกล้กันจนจับตัวเป็นวง มีสูตรทั่วไปคือ C_nH_{2n} เรียกว่า อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Alicyclic Hydrocarbon) น้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มนี้มากเรียกว่า Naphthene-based crude oil

ทั้ง Alkanes และ Cyclo-alkanes มีคาร์บอนอะตอมทั้งหมดเกาะเกี่ยวกับอะตอมอื่น 4 อะตอม จึงเรียกรวมกันว่า ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon)



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ที่มา : Miller and Connell, 1982 อ้างใน Wells และคณะ, 1993

1.3 อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbon) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) เนื่องจากคาร์บอนอะตอมเกาะเกี่ยวกับไฮโดรเจนอะตอมเพียง 3 อะตอมเท่านั้น แทนที่จะเป็น 4 อะตอม พันธะที่เหลือนี้จึงเกิดเป็นพันธะคู่ (Double bond) หรือ พันธะสาม (Triple bond) แทน Unsaturated Hydrocarbon ตัวแรกสุด ก็คือ สารประกอบเบนซีนที่เป็นวงแหวน (benzene ring) นอกจากนี้ก็เป็นสารพวก Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) ซึ่งมีมากกว่า 1 วงแหวนมาประกอบกัน สาร PAHs นี้จัดเป็นกลุ่มที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากที่สุด เพราะเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) (Bishop, 1985)

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ที่คาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นห่วงโซ่เปิด เรียกว่า โอลิฟินิก ไฮโดรคาร์บอน (Olefinic Hydrocarbon) สารกลุ่มนี้ไม่พบในน้ำมันดิบ แต่พบในผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมัน

2. สารประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ซัลเฟอร์ มากกว่า 7 % โดยน้ำหนัก และ ไนโตรเจน มากกว่า 1 % โดยน้ำหนัก บางสารประกอบก็มีออกซิเจน ด้วยซึ่งก็มักเป็นสารประกอบจำพวก กรด และ ฟีนอล ส่วนโลหะก็พบในปริมาณเล็กน้อยซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น นิเกิล และ วานาเดียม (Kornberg, 1981)

น้ำมันดิบจากแหล่งกำเนิดต่างกัน ก็จะมีส่วนประกอบของสารเหล่านี้ แตกต่างกันด้วย

ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการกลั่น

การกลั่นลำดับส่วนเป็นกระบวนการแยกสารประกอบผสมของไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในน้ำมันดิบ เพื่อนำไปใช้โดยตรง หรือนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับการปิโตรเคมีอื่นๆ ต่อไป ทั้งนี้โดยใช้หลักความแตกต่างของจุดเดือดของสารประกอบแต่ละส่วนในสารผสมนั้นๆ

ปิโตรเลียมก๊าซ เป็นส่วนผสมระหว่าง propane (C_3H_8) กับ butane (C_4H_{10}) ปกติจะอยู่ในรูปของ ของเหลว ภายใต้แรงดันที่เหมาะสม ใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม

แก๊สโซลีน ชนิดเบา (gasoline)	(0 - 70° C)	เป็นน้ำมันรถยนต์ (เบนซิน)
แนพธา (Naptha)	(70 - 140° C)	เป็นวัตถุดิบให้โรงงานปิโตรเคมี
เคโรซีน (Kerosene)	(140 - 250° C)	ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน
ดีเซล (Deisel fuel)	(250 - 350° C)	เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก ใช้สำหรับเรือพลังไอน้ำ สถานีไฟฟ้า
สารคงเหลือ (Residue)	(>350° C)	ใช้เป็นน้ำมันเครื่อง (Lubricating oil) ไขปิโตรเลียม (Petroleum waxes) และสุดท้ายจะได้เป็น bitumen (ยางมะตอย) ออกมา

(Kornberg, 1981)

แหล่งกำเนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

แบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ ดังนี้คือ

1. จากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

1.1 จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Biogenic Hydrocarbon) เกิดจากการสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ เช่น ไฟโตแพลงตอนบางชนิด ซึ่งสามารถสังเคราะห์อัลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน C_{16} , C_{17} , C_{19} , และ C_{21} ได้ (Farrington และ Meyer, 1975; Risebrough และคณะ, 1983) หรือการสังเคราะห์อัลเคนในกลุ่ม C_{26} , C_{27} , C_{29} , และ C_{31} ของพืชชั้นสูงบนบกบางจำพวก (Jones และคณะ, 1983; Risebrough และคณะ, 1983; Readman, 1987; Ajayi และ Poxton, 1987) เป็นต้น นอกจากนี้ แบคทีเรียบางจำพวกยังสามารถสังเคราะห์สารนอร์มัลอัลเคนในช่วงอะตอมของคาร์บอน C_{26} - C_{32} ได้ โดยมีจำนวนคาร์บอนเลขคู่และเลขคี่เท่าๆกัน (Carlberg, 1980) และกิจกรรมของแบคทีเรียบางชนิดก็สามารถผลิตนอร์มัลอัลเคนในช่วงคาร์บอนอะตอม C_{20} - C_{28} ได้โดยไม่มีคาร์บอนอะตอมใดเด่นออกมา นอกจากนี้จะมีปริมาณของนอร์มัลอัลเคนค่อนข้างสูงในช่วงใกล้เคียง C_{23} (Grimalt และคณะ, 1985 อ้างใน Al-saad และ Al-Timari, 1993)

1.2 จากกระบวนการทางธรณีวิทยา (Geochemical Process) ได้แก่การซึมผ่านตามธรรมชาติของน้ำมัน, การถูกทำลายหรือกัดเซาะของตะกอนดินโบราณ (Farrington และคณะ, 1980)

2. จากกิจกรรมหรือการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic Hydrocarbons) แบ่งออกได้ เป็น 2 ลักษณะ เช่นกัน คือ

2.1 จากน้ำมันดิบ (ปิโตรเลียม) และ ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ ชนิดต่างๆ (petrogenic sources) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจาก

- การคมนาคมขนส่งทางเรือ ได้แก่ การขนส่งน้ำมัน การเกิดอุบัติเหตุของเรือบรรทุกน้ำมัน หรือ เรือสินค้าธรรมดาที่เป็นผลให้น้ำมันรั่วไหล ออกสู่ท้องทะเล ตลอดจนการปล่อยน้ำอับเฉาใต้ท้องเรือ (bilge) ที่งอกมา เป็นต้น

- น้ำทิ้งจากชุมชนและอุตสาหกรรม, น้ำจากแม่น้ำ และน้ำที่ไหลผ่านตัวเมืองลงสู่ทะเล

2.2 จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion process) หรือเรียกว่า pyrogenic sources ได้แก่การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ เครื่องยนต์ เครื่องจักรต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น รวมทั้งน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วทั้งหลาย (น้ำมันเครื่องเก่า) เพราะได้ถูกเผาไหม้ไปแล้วแต่ไม่หมด สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์นี้ ปนเปื้อนลงสู่ท้องทะเล ทั้งโดยผ่านมาทางชั้นบรรยากาศ และโดยการชะล้างน้ำมันเครื่องเก่าทั้งหลายมากับน้ำทิ้งจากชุมชน และอุตสาหกรรม น้ำจากแม่น้ำ และน้ำที่ไหลผ่านตัวเมืองลงสู่ทะเล

เมื่อไรก็ตามที่สารหรือวัตถุที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล ถูกเผาไหม้ จะเกิดสารผสมของไฮโดรคาร์บอนขึ้นมา โดยมีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นองค์



ประกอบที่สำคัญ วัตถุประสงค์กล่าวนั้นได้แก่ น้ำมัน ผลิตภัณฑ์ของน้ำมัน ตลอดจน ไม้ ชยะ ถ่านและ
กระดาษ ในขณะที่กระบวนการเกิดน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ต่อเนื่องกันตลอด
มา สารอินทรีย์ทั้งหลายค่อยๆเกิดการเปลี่ยนแปลงทีละน้อย เป็นผลให้เกิดสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
ที่มีหมู่ อัลคิลมาแทนที่อยู่ด้วยเป็นส่วนใหญ่ (alkyl - substituted aromatic hydrocarbons) นั้น กระบวน
การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง กลับทำให้เกิดสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่ง นั่นคือ เป็นสารอะโร
มาติกไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่เลย (non - alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs))
และด้วยลักษณะสมบัติขององค์ประกอบที่แตกต่างกันเช่นนี้เอง ที่ทำให้สามารถจำแนกความ
แตกต่างของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในทะเลได้ว่า ก่อเกิดมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันโดยตรง
หรือมาจากขบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทั้งหลาย แล้วตกลงสู่ท้องทะเล โดยผ่านมาทางชั้นบรรยากาศ
(Wells และคณะ, 1993)

การจำแนกความแตกต่างของสารไฮโดรคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

ได้มีการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้ในการบ่งชี้ หรือจำแนกความแตกต่าง
ระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดต่างๆอย่างต่อเนื่อง โดยใช้รูปแบบของการกระจายหรือองค์
ประกอบของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นหลักสำคัญในการพิจารณาความแตกต่าง
จนกระทั่งสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่าง สารไฮโดรคาร์บอนจากธรรมชาติและจากปิโตรเลียม
(น้ำมัน) ได้ค่อนข้างชัดเจน ส่วนสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ระหว่าง petrogenic
sources และ pyrogenic sources นั้น ก็ได้มีการศึกษากันมาตลอด จนสามารถพบความแตกต่าง แม้ว่
การจำแนกความแตกต่างของแหล่งกำเนิดทั้ง 2 นี้จะทำได้ค่อนข้างยากก็ตาม

1. ความแตกต่างระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนจากปิโตรเลียมและการสังเคราะห์ตาม
ธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต

1.1 ปิโตรเลียม ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วงกว้างและ
โครงสร้างโมเลกุลที่ยู่ยากซับซ้อนกว่า สารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการสังเคราะห์โดยสิ่งมีชีวิต ซึ่ง
อาจสังเกตได้จากการมี hump ปรากฏในโครมาโตแกรม ซึ่งเป็นลักษณะของสารประกอบพวก
Unresolved Complex Mixture (UCM)

1.2 สารไฮโดรคาร์บอนจากปิโตรเลียมประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมที่เรียงติดต่อกันไป
เป็น homologous series โดยมีความเข้มข้นหรือปริมาณของนอร์มัลอัลเคนแต่ละตัวใกล้เคียงกัน ทำให้
อัตราส่วนของคาร์บอนเลขคู่และเลขคี่มีค่าเป็นหนึ่งหรือใกล้เคียงหนึ่ง ส่วนไฮโดรคาร์บอนจากธรรมชาติ
จะแสดงคาร์บอนเลขคี่มีปริมาณสูงกว่าคาร์บอนเลขคู่มาก

1.3 ปิโตรเลียม ประกอบด้วย ไฮโคอัลเคนและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมากกว่าที่
พบในธรรมชาติ โดยเฉพาะสารประกอบพวก alkyl - substituted ring เช่น พวก mono - และ poly -
alkylated benzenes และ naphthalene ซึ่งจะไม่พบจากการสังเคราะห์โดยสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติเลย

1.4 บีโตรเลียม ประกอบด้วยสารพวก naphtheno aromatic hydrocarbon ซึ่งจะไม่พบไฮโดรคาร์บอนพวกนี้จากการสังเคราะห์โดยสิ่งมีชีวิต (Farrington, 1980)

นอกจากนี้ยังสามารถใช้อัตราส่วนของ isoprenoid พริสเทนต่อไฟเทน เป็นตัวบ่งชี้แหล่งกำเนิดของไฮโดรคาร์บอนได้ เนื่องจากพริสเทนเป็นไอโซพรีนอยด์ ที่พบทั้งในน้ำมัน และสามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยสิ่งมีชีวิต ส่วนไฟเทนมันพบเฉพาะในน้ำมัน ดังนั้นการปรากฏของไฟเทนจึงอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของน้ำมันได้ (Voudrias และ Smith, 1986)

2 ความแตกต่างระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนจาก petrogenic sources และจาก pyrogenic sources

ความแตกต่างที่พบและสามารถนำมาใช้ในการจำแนกก็คือ pyrogenic sources จะประกอบด้วย Unsubstituted aromatic hydrocarbons เป็นส่วนใหญ่ รวมทั้งพวก heterocyclic aromatic ด้วย และพบว่ามี แนพทาซีน จำนวนน้อยมาก แต่มี ฟลูออแรนทีน และ ไพรีน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ส่วน petrogenic sources จะประกอบด้วย alkyl - substituted aromatics เป็นจำนวนมากกว่า (Wells และ คณะ, 1993)

น้ำมันเครื่องเก่า (Used lubricating oils)

ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 แล้วว่า น้ำมันที่ปนเปื้อนลงสู่ท้องทะเลจากแหล่งกำเนิดบนพื้นดินนั้นส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำมันเครื่องเก่านั่นเอง โดยถูกปล่อยออกมาทั้งทางท่อระบายน้ำทิ้ง น้ำที่ไหลผ่านบ้านเรือน ชุมชน ถนนหนทางต่างๆ น้ำมันเครื่องเก่าจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสนใจ และเฝ้าระวังติดตาม เพราะนอกจากจะมีแนวโน้มถูกปล่อยออกมาในปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเจริญของชุมชนแล้ว น้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้วเหล่านี้ยังประกอบด้วยสาร Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) ที่เกิดจากการเผาไหม้ในปริมาณสูง และสาร PAHs เหล่านี้นับเป็นสารก่อมะเร็งที่สำคัญกลุ่มหนึ่ง (Wells และคณะ, 1993)

อาจกล่าวได้ว่า สารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่ปนเปื้อนมาจากแหล่งกำเนิดบนพื้นดิน ล้วนมีกำเนิดมาจากน้ำมันเครื่องยนต์ทั้งสิ้น และเป็นการยากมากที่จะจำแนกปริมาณการปนเปื้อนระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ และที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้แล้วจริงๆ แต่สำหรับในแง่ของความเป็นพิษแล้ว อันตรายของการปนเปื้อนที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้แล้วและที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันนั้นล้วนมีได้แตกต่างกันเลยน้ำมันเครื่องส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลนั้น มักเป็นน้ำมันหล่อลื่นต่างๆ และน้ำมันเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมอีกจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอุตสาหกรรมโลหะและการขนส่ง ซึ่งใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดต่างๆ ในการตัดแต่งโลหะ น้ำมันไฮดรอลิกและ

ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

Parameter	Measured value
Gravity API at 16 °C	24.0
Viscosity (cm ² /s)	0.99
Pour point (°C)	37
Flashpoint (°C)	140
Heating value (kJ/kg)	38,000
BS&W*, Vol. (%)	11.0
Sulphur (wt %)	0.43
Ash (wt %)	1.01
Arsenic (ppm)	5
Barium (ppm)	48
Cadmium (ppm)	3
Calcium (ppm)	1,850
Chromium (ppm)	7
Copper (ppm)	177
Iron (ppm)	1,025
Lead (ppm)	240
Magnesium (ppm)	559
Phosphorus (ppm)	1,250
Silver (ppm)	1
Tin (ppm)	58
Zinc (ppm)	480
Chlorinated solvents (ppm)	
dichlorodifluoromethane	20
trichlorotrifluoroethane	160
1,1,1-trichloroethane	200
trichloroethylene	100
tetrachloroethylene	105
Total chlorine (ppm)	1,600
Other organics (ppm)	
benzene	20
toluene	380
xylene	550
benzo[a]anthracene	12
benzo[a]pyrene	10
naphthalene	330
PCBs	5

* BS&W – bottom sediment and water

ที่มา : Franklin Associates Ltd. (1985) ; Rudolph (1978) ; PEDCo. Environment Inc. (1984)

อ้างใน Well และคณะ, 1993.



ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

Compound	Concentration ($\mu\text{g/g}$, ppm)
<i>LPAHs (lower-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>	
Naphthalene	52.0
Acenaphthalene	1.5
Acenaphthene	3.7
Fluorene	67.0
Phenanthrene	200.0
Anthracene	22.0
<i>HPAHs (higher-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>	
Fluoranthene	55.0
Pyrene	120.0
Benzo[a]anthracene	38.0
Chrysene	45.0
Benzo[fluoranthene]	46.0
Benzo[e]pyrene	32.0
Benzo[a]pyrene	15.0
Perylene	1.1
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	14.0
Dibenz[a,h]anthracene	1.5
Benzo[ghi]perylene	72.0
Dibenzothiophene	1.9
<i>Naphthalenes</i>	
C ₁ naphthalene	31.0
C ₂ naphthalene	60.0
C ₃ naphthalene	80.0
C ₄ naphthalene	52.0
<i>Phenanthrenes</i>	
C ₁ phenanthrene	300.0
C ₂ phenanthrene	300.0
C ₃ phenanthrene	140.0
C ₄ phenanthrene	35.0

ที่มา : Payne, 1990 อ้างใน Well และคณะ, 1993

น้ำมันอื่นๆที่ใช้ในอุตสาหกรรม และมีโอกาสสูงที่จะปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำมันเครื่องเก่าและปริมาณของ PAHs ในน้ำมันเครื่องเก่า ตามลำดับ

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ ไปพร้อมๆกัน จากนั้นก็จะเกิดกระบวนการทางชีววิทยาตามมา กระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดพฤติกรรมต่างๆ ของน้ำมันในทะเล ได้แก่ เกิดการแพร่กระจาย การระเหย การเคลื่อนที่ตามลมพัดพา การละลาย การเกิดอิมัลชันไฟต์ การตกตะกอน การย่อยสลายทางเคมี และการย่อยสลายทางชีววิทยาในที่สุด น้ำมันจะมีพฤติกรรมอย่างไร ก็ขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วลม กระแสน้ำ อุณหภูมิ สภาพทางธรณีวิทยาของชายฝั่ง หรือ พื้นที่ของทะเลบริเวณนั้น และลักษณะของทะเลว่าเป็นทะเลเปิดหรือเป็นเว้าอ่าว เป็นช่องแคบ และที่สำคัญก็คือขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันเองด้วย ว่ามีจุดเดือดเท่าไร ง่ายต่อการระเหยมากน้อยเพียงใด

พฤติกรรมของน้ำมันในทะเล (Kornberg, 1981)

1. การแพร่กระจาย น้ำมันที่รั่วลงสู่ท้องทะเลที่สงบ จะแพร่กระจายอย่างรวดเร็วไปในลักษณะวงกลม ขอบเขตของการแพร่กระจาย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบตามธรรมชาติของน้ำมันเอง ความหนาแน่นและปริมาณที่รั่วออกมา นอกจากนี้ยังถูกจำกัดด้วยอัตราการระเหย เมื่อมีการระเหยไปในอากาศความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้น และแพร่กระจายน้อยลง หากมีคลื่นแรงพอก็อาจเกิดเป็นอิมัลชัน
2. การระเหย น้ำมันเป็นสารผสมที่ประกอบด้วยสารที่มีความสามารถในการระเหยต่างกัน สารที่กลายเป็นไอได้ง่ายที่สุด คือ อัลเคน และสารอะโรมาติก น้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งจะระเหยไปได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง สารที่ระเหยช้า ก็จะคงตัวอยู่นาน ในที่สุดก็จะเหลือเพียงสารที่ไม่ระเหย ณ อุณหภูมิในขณะนั้น และสารเหล่านี้ก็จะถูกพัดพามาสู่ฝั่งกลายเป็นน้ำมันดิน
3. การเคลื่อนที่ตามลมพัดพา คราบน้ำมันจะไม่คงอยู่ ณ จุดที่ถูกปล่อยออกมา แต่จะเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ ภายใต้อิทธิพลของกระแสน้ำ กระแสลม และน้ำขึ้นน้ำลง
4. การละลาย การละลายของไฮโดรคาร์บอนไฮโดรคาร์บอนแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล พวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ จะละลายได้มากกว่าพวกที่น้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อน้ำมันรั่วออกมา จะไม่อยู่เฉพาะบนผิวน้ำเท่านั้น แต่จะละลายลงไปอยู่ในชั้นน้ำข้างล่างตามแนวดิ่งด้วย สารอะโรมาติกและสารไฮโดรคาร์บอนอิมิตัวน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีพิษสูง จะกระจายและเจือจางในน้ำได้เร็ว ความสามารถในการละลายน้ำของไฮโดรคาร์บอนบางชนิดแสดงในตารางที่ โดยค่าความสามารถในการละลายที่แสดงในตารางเป็นค่าที่ได้จากการละลายในน้ำกลั่น ส่วนความสามารถในการละลายในน้ำทะเลนั้นน้อยกว่าในน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 12 - 30 %
5. การเกิดอิมัลชันไฟต์ กระแสคลื่นที่รุนแรง ทำให้เกิดการผสมกันของน้ำกับน้ำมันกลายเป็นอิมัลชัน ซึ่งอาจเป็นน้ำมันในน้ำ (oil in water) หรือ น้ำในน้ำมันก็ได้ (water in oil) น้ำมันในน้ำประกอบด้วยหยดเล็กๆ ของน้ำมันลอยอยู่ในน้ำ ส่วนน้ำในน้ำมันเป็นการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันหนัก (น้ำหนัก

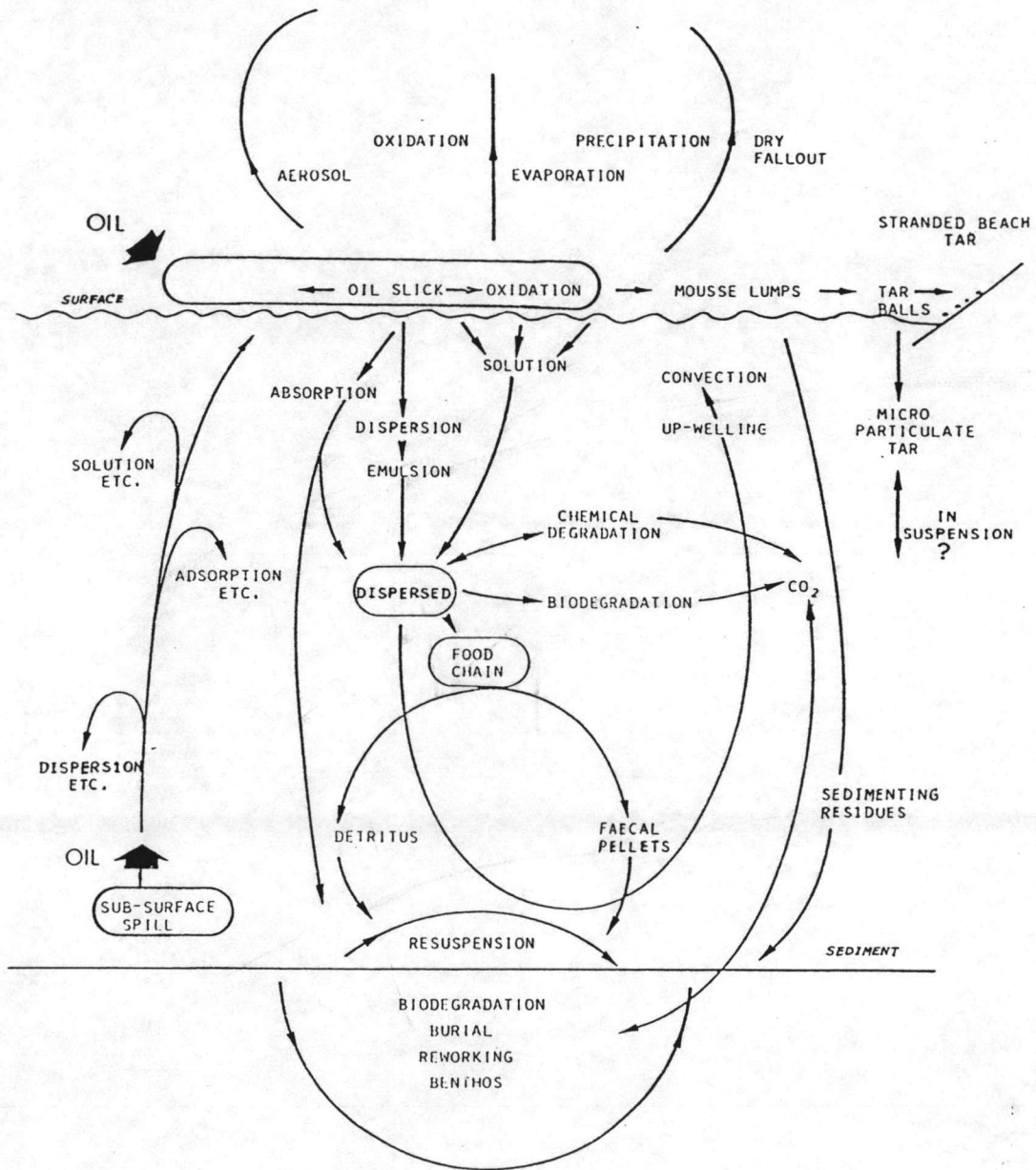
โมเลกุลสูง) เพราะส่วนที่เบาระเหยไปหมดแล้ว การผสมกันลักษณะนี้ทำให้เกิดสารกึ่งของแข็งเป็นแผ่นลอย เรียกกันว่า ซอคโกแลตมูส ซึ่งสามารถคงอยู่ได้เป็นเดือนๆ และกลายเป็นก้อนน้ำมันดินมาเกาะติดชายฝั่งในที่สุด

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความสามารถในการละลายน้ำของไฮโดรคาร์บอนบางชนิด

ชนิดของไฮโดรคาร์บอน	ความสามารถในการละลายน้ำ (ppm.)
อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน	
นอร์มัล-เพนเทน (n-C ₅)	40
นอร์มัล-เฮกเซน (n-C ₆)	10
นอร์มัล-เฮปเทน (n-C ₇)	3
นอร์มัล-ออกเทน (n-C ₈)	1
นอร์มัล-โดเดคเคน (n-C ₁₂)	0.01
นอร์มัล-ไตรอะคอนเทน (n-C ₃₀)	0.002
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	
เบนซีน	1,800
โทลูอีน	500
ไซลีน	175
อัลคิลเบนซีน	50
แอนทราซีน	0.075
ไครซีน	0.002

ที่มา : Ocean Affairs Board, 1975

6. การตกตะกอน ในทะเลมีคลื่นจัด น้ำมันอาจถูกดูดซับผสมกับสารแขวนลอยต่างๆ แล้วถูกพาลงสู่ก้นทะเล น้ำมันที่ยังคงอยู่หลังจากมีบางส่วนระเหยไปบ้างแล้วก็อาจหนาแน่นพอจะจมตัวลงสู่ก้นทะเลได้เอง แล้วน้ำมันเหล่านี้ก็จะรวมตัวเป็นส่วนหนึ่งของตะกอนก้นทะเล สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพของตะกอนนั้น เกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก



รูปที่ 2.2 แสดงพฤติกรรมของน้ำมันเมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ
ที่มา : Hardy และคณะ, 1990



7. การย่อยสลายทางเคมี สารไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่ไวต่อการถูกออกซิเดชันด้วยออกซิเจน และรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงอาทิตย์ แผ่นคราบน้ำมันที่แผ่ออกเป็นวงกว้าง มีพื้นที่ผิวของน้ำมันสัมผัสกับอากาศและแสงอาทิตย์มาก ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะสามารถละลายในน้ำได้สูง และแยกตัวออกไปจากคราบน้ำมัน ส่วนที่เหลือซึ่งมีน้ำหนักก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง สารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะสามารถละลายในน้ำได้สูง และแยกตัวออกไปจากคราบน้ำมัน ส่วนที่เหลือซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ก็จะเกิดเป็นยางเหนียวๆ และเกิดอิมัลชันในที่สุด แผ่นฟิล์มบางๆ ของคราบน้ำมันจะถูกออกซิไดส์ได้เร็วกว่าคราบน้ำมัน เหนียว ในขณะที่เดียวกันถ้าน้ำมันตกลงไปและรวมตัวอยู่ในตะกอนก้นทะเลลึกกว่า 2-3 ซม. ลงไป ปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะไม่เกิดขึ้นเลย สารที่เกิดจากการย่อยสลายทางเคมี ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากสารอะโรมาติก และสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่น้ำหนักโมเลกุลสูงๆ ส่วนใหญ่ได้แก่ สารประกอบฟีนอลและกรดต่างๆ ซึ่งสามารถละลายและเจือจางในน้ำทะเลได้อย่างรวดเร็ว ส่วนที่เหลือก็จะเป็นสารประกอบที่เหนียวข้นคล้ายยางมะตอยและกลายเป็นน้ำมันดินในที่สุด

8. การสลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ แบคทีเรีย และยีสต์จำนวนมากสามารถย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอนได้ แต่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก็ต้องการสารอาหารอื่นๆ ในการเจริญเติบโตด้วย ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ส่วนแบคทีเรียก็เป็นชนิดที่ต้องการออกซิเจนเป็นหลัก ซึ่งพบแบคทีเรียพวกนี้ได้ทั้งในน้ำตั้งแต่ก้นทะเลถึงผิวน้ำ ข้อจำกัดของการย่อยสลายโดยสิ่งมีชีวิตก็คือ การขาดแคลนสารอาหารพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของสิ่งมีชีวิต

ผลกระทบของสารไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเล

น้ำมันดิบมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด การควบคุมอุณหภูมิของการกลั่นน้ำมันดิบ ก็ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดต่างๆ กัน ความเป็นพิษของน้ำมันแต่ละชนิดจึงขึ้นกับชนิดและสัดส่วนของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และอัลเคนที่มีอยู่นั่นเอง ตลอดจนรวมถึงความคงทนของน้ำมันที่จะมีอยู่ในสิ่งแวดล้อม หรือความไวต่อการระเหย ระดับของความเป็นพิษอาจลดลงจากการระเหย การแพร่กระจาย และการเจือจางในน้ำทะเล ขณะเดียวกันน้ำมันที่ระเหยได้ง่ายที่สุด ก็มีพิษสูง โดยมีผลต่อการยับยั้งการหายใจ ส่วนน้ำมันที่ระเหยได้ยาก พวก PAHs ก็เป็นสารก่อมะเร็งอย่างแรงในปริมาณเพียงเล็กน้อย และอาจมีผลต่อการกลายพันธุ์ด้วย นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันก็มีปฏิกิริยาต่อมลภาวะทางน้ำมันต่างกัน น้ำมันชนิดที่ฆ่าทำลายสิ่งมีชีวิตหนึ่ง อาจมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ สำหรับภายในชนิดเดียวกัน ระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิต เช่น เป็นไข่ ตัวอ่อน หรือภาวะกำลังสร้างขนใหม่ ก็จะมีผลต่างกันต่อมลภาวะที่ระดับเดียวกัน

ผลกระทบจากความเป็นพิษของน้ำมัน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ

ระดับแรก เป็นพิษจากการมาเคลือบคลุมสิ่งมีชีวิตให้หายใจไม่ออก เคลื่อนไหว หากินไม่ได้ ซึ่งมีผลกระทบสูงมากต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่กับที่ซึ่งอาศัยอยู่ในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง เช่น เพรียง หอยบางชนิด ตลอดจนสัตว์อื่นๆ ที่มีพื้นผิวหนังง่ายต่อการถูกเคลือบคลุม เช่น การเคลือบคลุมเกาะติดขนนกของน้ำมันและน้ำมันดิบ เป็นต้น

ระดับที่สอง ผลกระทบของความเป็นพิษระดับรบกวนเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิต เนื่องมาจากการได้รับสารไฮโดรคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเยื่อ ในความเข้มข้นที่สูงพอ ทั้งโดยการกิน การย่อยสลายคราบน้ำมัน ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ตามปกติของสิ่งมีชีวิต โดยสารไฮโดรคาร์บอนจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ถูกรบกวน สูญเสียการควบคุมการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ที่เหมาะสม ในกรณีรุนแรงผนังเซลล์อาจแตก ทำให้สารต่างๆ ภายในเซลล์ไหลออกมา เป็นการทำลายเซลล์อย่างรุนแรง

แนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนจะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนนั้นๆ สูงขึ้น ดังนั้นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพิษมากที่สุดก็คือ อะโรมาติกน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ เช่น เบนซีน และโทลูอีน ตามมาด้วย ไฮโคอัลเคน โอลิฟิน และอัลเคน สารไฮโดรคาร์บอนที่มีพิษน้อยที่สุดก็คือ อัลเคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ นั่นเอง ซึ่งแม้ว่าจะมีอันตรายน้อยต่อสัตว์ แต่ในปัจจุบันก็เป็นที่ยอมรับกันว่า สามารถเป็นเหตุให้เกิดอาการมะเร็ง หดความรู้สึกได้ในสัตว์ชั้นต่ำหลายชนิด (Kornberg, 1981)

ผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ และการใช้ประโยชน์จากทะเล

การคงอยู่หรือการตกค้างของน้ำมันในท้องทะเล มีผลกระทบทางลบต่อการใช้ประโยชน์จากทะเล เลขของมนุษย์อย่างยิ่ง ได้แก่ การทำลายระบบนิเวศน์ทางทะเล โดยการไปกำจัดหรือลดปริมาณประชากรของสัตว์น้ำบางชนิดลง ทำลายการประมง ทำลายชายหาดและแหล่งพักผ่อนหย่อนใจต่างๆ และเป็นอันตรายต่อมนุษย์จากการกินอาหารที่ปนเปื้อน ผลกระทบระยะยาวของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีต่อกลุ่มสิ่งมีชีวิตในน้ำ การสะสมในห่วงโซ่อาหาร ตลอดจนความคงทนอยู่ในท้องทะเลของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิด ยังคงต้องการข้อมูลสนับสนุนเพิ่มเติมอีกมาก

ผลกระทบของสาร PAHs ต่อสุขภาพของมนุษย์

ได้มีการทดลองจนทราบกันดีว่า สาร PAHs หลายชนิดก่อให้เกิดมะเร็ง ทั้งนี้โดยการทดสอบกับผิวหนังของสัตว์กัดแทะ เบนโซ(เอ)ไพรีน เป็นสาร PAHs ก่อมะเร็งชนิดเดียวที่องค์การป้องกัน

สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (EPA) ได้กำหนดค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ออกมา ดังในตารางที่ 2.3 โดยมีค่าของกรรกอ่มาเร่งเป็นฐานในการกำหนด ส่วนค่า PAHs อื่นๆ ก็ได้มีการคำนวณโดยเทียบความสัมพันธ์กับ เบนโซ(เอ)ไพรีน จนได้ออกมาเป็นระดับความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำดื่มของสาร PAHs บางตัว (Rugen และคณะ, 1989 อ้างใน Wells และคณะ, 1993)

ตารางที่ 2.4 ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำดื่มของสาร PAHs บางชนิด

PAHs	AET * ($\mu\text{g/l}$)
Benzo[a]pyrene	0.028
Dibenzanthracene	0.047
Benzo [j] fluoranthene	0.37
Benzo[b]fluoranthene	1.4
Indenopyrene	4.7
Benzanthracene	6.2

* AET = Apparent Effects Threshold

ที่มา : Wells และคณะ, 1993

PAHs บางตัวถูกควบคุมด้วยระดับที่ยอมรับให้มีได้ในอาหาร ระดับที่ยอมรับได้ของเบนโซ(เอ)ไพรีน คือ 1 ไมโครกรัม / กิโลกรัม และระดับที่ยอมรับได้ของ PAHs ทั้งหมด คือ 100 ไมโครกรัม / กิโลกรัมน้ำหนักเปียก ในเนื้อเยื่อปลาที่กินได้ (Wells และคณะ, 1993) เนื่องจากมีองค์ประกอบมากมายที่มีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ อัตราการใช้ และการขับถ่ายหรือกำจัดของเสีย (depuration) สาร PAHs ของสิ่งมีชีวิต ทำให้ยากต่อการเชื่อมโยงระหว่าง ความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอน กับ ขนาดร่างกายของสัตว์น้ำที่กินได้ทั้งหลาย กล่าวได้ว่ามนุษย์จะมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง จากการบริโภคปลาบางชนิดอย่างต่อเนื่อง จากบริเวณที่ตะกอนปนเปื้อนด้วยสาร PAHs ในระดับสูง สาร PAHs ส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนในบางพื้นที่ เช่น บริเวณท่าเรือ ปากแม่น้ำและคลองที่มีน้ำนิ่งไม่ค่อยมีการไหลถ่ายเท ล้วนกำเนิดมาจากน้ำป่าจากชุมชน น้ำทิ้งที่ล้นเป็นแหล่งปนเปื้อนของน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ผลพลอยได้จากการเผาไหม้ น้ำมัน ตลอดจนน้ำทิ้งจากโรงกลั่น จึงควรมีการทดลองในสิ่งมีชีวิตทางทะเลแต่ละชนิด เพื่อพยายามเชื่อมโยงความเข้มข้นของสาร PAHs ในตะกอนกับระดับเนื้อเยื่อในผลผลิตของทะเลที่เป็นอาหาร



การหาอายุของตะกอนในทะเล

ตะกอนที่ทับถมกันภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกจะเรียงตัวกันเป็นชั้นในแนวขนานกับผิวน้ำของทะเล ถ้าการตกตะกอนเป็นไปโดยมีระเบียบ ไม่มีการเลื่อนหลุดเป็นกะบิ (slumping) ตะกอนที่สะสมอยู่ชั้นล่างจะแสดงถึงตะกอนยุคก่อนๆ

ในทางธรณีวิทยามีการใช้สารกัมมันตรังสีที่เกิดในธรรมชาติ 3 ชนิด ในการหาอายุทางธรณีวิทยา หรือ geochronometry ได้แก่ (มนูวดี หังสพฤกษ์, 2532)

1) นิวไคลด์ปฐมภูมิ (primary nuclides) คือนิวไคลด์ประเภทที่มีกำเนิดมาพร้อมกับโลก แต่มีครึ่งชีวิตยืนยาวมาก จึงยังคงมีกัมมันตรังสีสูงพอที่จะวัดได้จนถึงปัจจุบันนี้ นิวไคลด์ประเภทนี้ที่ใช้ในทางสมุทรศาสตร์ได้แก่ K-40, Rb-87, Th-232, U-235 และ U-238

2) นิวไคลด์ทุติยภูมิ (secondary nuclides) คือนิวไคลด์ที่เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ประเภทแรก เช่นที่ได้จากการสลายตัวของยูเรเนียม (U) และธอเรียม (Th)

นิวไคลด์ลูกหลายตัวมีช่วงเวลาที่ครึ่งชีวิตยาวนานเป็นแสนปี ก็สามารถนำมาใช้ในการหาอายุตะกอนทะเลเล็กได้ เช่น Th-230, Pa-131 และ U-234 ส่วนพวกที่มีครึ่งชีวิตสั้นเพียงสิบปี เช่น Pb-210 (21.4 ปี) สามารถนำมาใช้ในการหาอัตราการตกตะกอนในทะเลชายฝั่งหรือทะเลสาบได้

3) นิวไคลด์ที่เกิดจากรังสีคอสมิก (cosmic ray) นิวไคลด์ประเภทนี้เกิดขึ้นตลอดเวลาในยุคปัจจุบัน โดยปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกที่กระทำต่อโมเลกุลในอากาศพวกนี้จะมีช่วงครึ่งชีวิตค่อนข้างสั้น และมีปริมาณคงที่ในบรรยากาศและมหาสมุทร เพราะมีการสร้างขึ้นใหม่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น C-14, H-3, Be-10 และ Si-32

การกำหนดอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสี

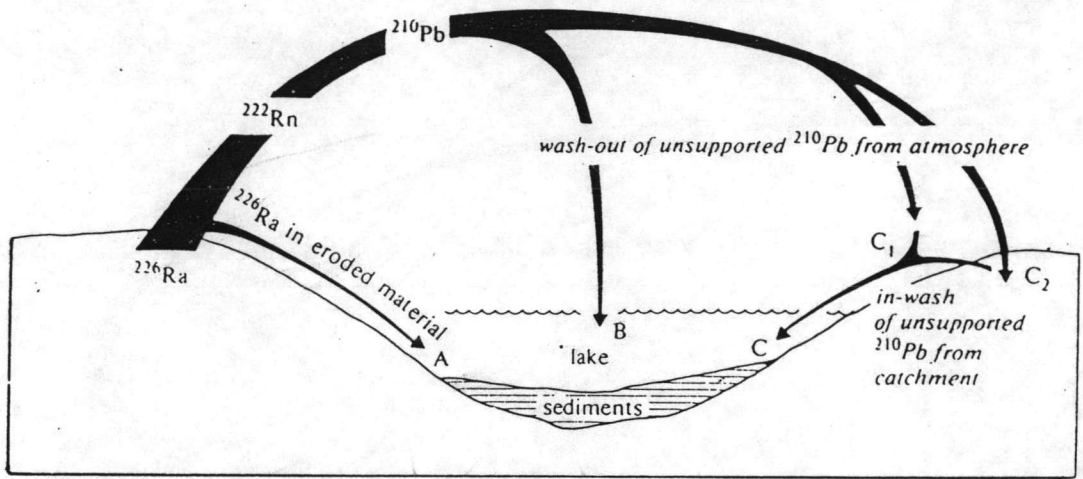
ในอดีตนักธรณีวิทยาทางทะเลไม่สามารถหาอัตราการตกตะกอนของตะกอนอายุน้อย (ไม่เกิน 100 ปี) บนไหล่ทวีป (continental shelf) ได้ แต่เมื่อไม่นานมานี้การพัฒนาวิธีหาอายุตะกอนโดยใช้ Pb^{210} กัมมันตรังสี ทำให้สามารถทำงานดังกล่าวได้ (ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ และคณะ, 2537)

ตามทฤษฎี Pb^{210} เป็นสมาชิกของการสลายตัวในอนุกรมชุด U^{238} มีมีอยู่ในธรรมชาติ แล้วลงสู่ทะเลโดยการชะล้างจากพื้นทวีป นอกจากนี้แล้ว Pb^{210} ยังได้จากการสลายตัวของ Ra^{226} ในน้ำทะเล และจากการสลายตัวของแก๊ส Rn^{222} ในบรรยากาศ ไอโซโทปนี้มีช่วงเวลาที่อยู่ในน้ำทะเลสั้นมาก คืออยู่ในน้ำใกล้ชายฝั่งไม่ถึง 1 ปีก็จะตกตะกอนไป เข้าใจกันว่ากระบวนการที่พามันลงสู่ตะกอนน่าจะได้รับการนำพาโดยสิ่งมีชีวิต การดูดซับโดยสารแขวนลอย และการตกตะกอนร่วมโดยออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส การที่ Pb^{210} ตกตะกอนอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้มันมีอยู่ในตะกอนในระดับที่สูงกว่า Ra^{226} Pb^{210} เมื่ออยู่ในตะกอนแล้วมันจะไม่เคลื่อนที่เข้าหรือออกจากตะกอน และเมื่อสลายตัวจะให้รังสีเบตา และ Bi^{210} ครึ่งชีวิตของ Pb^{210} เป็น 21.4 ปี ซึ่งก็เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่การสลายตัวของ Pb^{210} เป็น

การสลายตัวที่ให้พลังงานต่ำมาก ทำให้การวัด Pb^{210} โดยตรงทำได้ยาก ดังนั้นโดยทั่วไปจึงนิยมวัดกัมมันตรังสีของ Pb^{210} ในตะกอนโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

- 1) วัดกัมมันตภาพรังสีของ Bi^{210} ซึ่งมีครึ่งชีวิต 5.01 วัน และสลายตัวดังต่อไปเป็น Po^{210} และ
- 2) วัดกัมมันตภาพรังสีของ Po^{210} (ครึ่งชีวิต 138 วัน) ซึ่งสลายตัวแบบอัลฟา กลายเป็นไอโซโทป Pb^{206} ซึ่งเสถียร

ทั้งสองวิธีตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า มี "secular equilibrium" ระหว่าง Pb^{210} และไอโซโทปที่เราวัด กล่าวคือ Bi^{210} และ Po^{210} ที่มีอยู่ในตะกอนเป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของ Pb^{210} เท่านั้น ซึ่งก็น่าจะเป็นเช่นนั้นเพราะ Bi^{210} และ Po^{210} มีครึ่งชีวิตที่สั้นเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่มันอยู่ในตะกอน



รูปที่ 2.3

แสดงเส้นทางที่ Pb^{210} ลงสู่ตะกอนใต้ทะเล

A เป็น supported Pb^{210} ที่เกิดจากการสลายตัวของ Ra^{226}

B เป็น unsupported Pb^{210} ที่เกิดจากการสลายตัวของ Rn^{222}

แล้วถูกชะจากบรรยากาศลงสู่ทะเลโดยตรง

C เป็น unsupported Pb^{210} ที่ตกลงมาบนชายฝั่ง,

C1 แล้วถูกชะลงสู่ทะเลโดยผ่านเส้นทางระบายน้ำต่างๆ

C2 ถูกดูดซับไว้บนอนุภาคดินเหนียวและสารอินทรีย์ในดินแล้วอาจลงสู่ทะเลได้หลังจากที่ระยะเวลาผ่านไป

$$A+B+C = Pb^{210} \text{ ทั้งหมด}$$

$$B+C = \text{unsupported } Pb^{210}$$

การกำหนดอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสีริเริ่มขึ้นโดย Krishnaswami และคณะ, 1971, Koide และคณะ, 1972 และ Robbins & Edgington., 1975 (อ้างถึงใน Clifton & Hamilton, 1979) ปัจจุบันวิธีนี้เป็นวิธีที่แพร่หลายและถูกนำมาใช้ได้รับผลสำเร็จเป็นอย่างดีโดยนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน (Nitrovert และคณะ, 1979, Carpenter และคณะ, 1985 และ Mclean และคณะ, 1991)

การศึกษาอัตราการทับถมของดินตะกอน โดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสีนี้มีประโยชน์มากในการศึกษามลภาวะทางทะเลเนื่องจาก

1. ความเหมาะสมของค่าครึ่งชีวิตของ Pb^{210} (22.4 ปี) ซึ่งทำให้สามารถศึกษาอายุของตะกอนย้อนหลังไปได้ประมาณ 100 - 150 ปี ซึ่งนับเป็นช่วงเวลาที่สภาพแวดล้อมเกิดการปนเปื้อนจากการกระทำของมนุษย์มากที่สุด (Clifton & Hamilton., 1979)

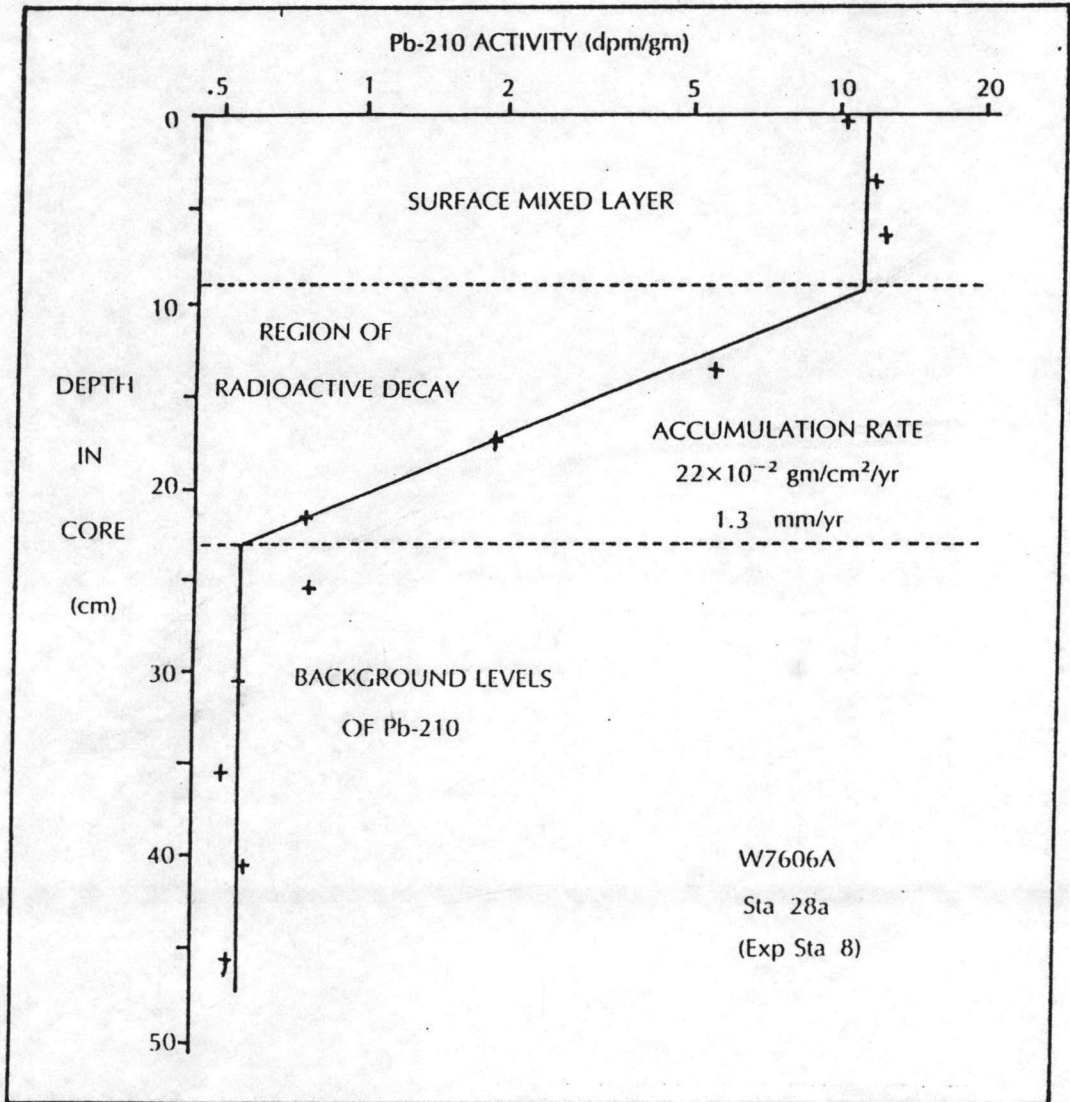
2. Pb^{210} จับติดกับอนุภาคของตะกอนได้อย่างรวดเร็วและจะเคลื่อนไหวไปพร้อมกับอนุภาคของตะกอนดินนั้นๆ

Nitrover และคณะ, 1979 พบว่ารูปแบบของการกระจายตัวของ Pb^{210} กัมมันตรังสี ตามระดับความลึกของชั้นดิน จะแบ่งออกเป็นส่วนๆ 3 ส่วนอย่างชัดเจน (รูปที่ 2.4) คือ

1. Surface mixing layer (SML) คือส่วนผิวหน้าสุด ตะกอนบริเวณนี้จะถูกผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์และชีวะ ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ Pb^{210} ในส่วนนี้จะมีค่าคงที่

2. Region of radioactive decay เมื่อลึกลงไป อิทธิพลของกระบวนการทางฟิสิกส์และชีวะจะไม่มีอีกต่อไป ดังนั้นตะกอนในบริเวณนี้จึงอยู่ในสภาพที่นิ่ง และจัดตัวอยู่กับที่ excess Pb^{210} กัมมันตรังสีจะสลายตัวด้วยค่าครึ่งชีวิตของมัน ถ้าอัตราการทับถมของตะกอนมีค่าคงที่ (Steady state) ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ excess Pb^{210} จะลดลงตามสเกล log ส่วนนี้คือส่วนที่นำมาคำนวณอัตราการทับถมของดินตะกอน

3. Background level เมื่อ excess Pb^{210} กัมมันตรังสีสลายตัวหมดไปในส่วน Region of radioactive decay แล้ว ในเนื้อดินจะยังคงเหลืออยู่เพียง supported Pb^{210} กัมมันตรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของ Ra^{226} เท่านั้นและอยู่ในสภาพ equilibrium ดังนั้น ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ Pb^{210} ในส่วนนี้จึงมีค่าคงที่หรือที่เรียกว่าเป็นค่าพื้นฐาน (background level)



รูปที่ 24 การเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพรังสีของ Pb²¹⁰ ตามความลึกของตะกอนจากไหล่ทวีป
 ที่มา : Nittrouer และคณะ, 1979

การที่ Pb^{210} มีค่าครึ่งชีวิต 21.4 ปี ทำให้สามารถใช้วิธีนี้ในการหาอายุได้ถึงช่วงเวลา 100 - 150 ปี ได้มีการเปรียบเทียบหาอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} เทียบกับการหาอายุโดยวิธีอื่น เช่น ใช้ ไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดอื่น หรือละอองเรณูก็พบว่าวิธีนี้ใช้ได้ทั้งระบบทะเลสาบน้ำจืด ทะเลสาบใกล้ ผัง ปากแม่น้ำ ฟยอร์ด ไหล่ทวีป และทะเลลึก หรือแม้แต่การหาอัตราการทับถมของหิมะแถบขั้วโลกก็ใช้ วิธีนี้ได้ดี ส่วนใหญ่เท่าที่กระทำมาก็ใช้กับการศึกษาการสะสมของโลหะหนักจากการกระทำของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบแร่ธาตุขององค์ประกอบอินทรีย์

เครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บตะกอนมาศึกษาด้วยวิธีนี้ ก็คือท่อเจาะแบบกล่อง (box corer) เพราะทำให้ได้ชั้นตะกอนที่ไม่ถูกรบกวน และได้ตะกอนตัวอย่างในปริมาณที่มากพอที่จะนำมา ศึกษาได้หลายๆแห่ง

งานสำรวจเอกสาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและ ตะกอน มีดังนี้ คือ

วิรัช ศวิตชาติ (2521) ศึกษาชนิดและปริมาณของนอร์มัล-พาราฟิน จากปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลและตะกอนในบริเวณอ่าวไทยตอนบน อ่าวไทยตอนล่างและฝั่งทะเลตะวันออกพบว่า ตัวอย่างน้ำที่ระดับผิวมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนในช่วง 16-614 ไมโครกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างดิน ตะกอนพบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนในช่วง 0.4-11.7 ไมโครกรัม และพบว่าลักษณะการกระจายของ นอร์มัล-พาราฟินลดลงเมื่อมีระยะห่างจากปากแม่น้ำ

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล และ ศุภวัตร แซ่ลิ้ม (2526) ศึกษาปริมาณไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล และตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งตะวันออก ในตัวอย่างน้ำพบว่าฤดูแล้งมีปริมาณในช่วง 0.04-5.65 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.06-6.10 ไมโครกรัมต่อลิตรในฤดูน้ำมาก ในตะกอนพบว่าปริมาณในช่วง 0.01-2.16 ไมโครกรัมต่อกรัมสำหรับดินเปียก และ 0.01-1.82 ไมโครกรัมต่อกรัมในดินแห้ง

กัลยา วัฒนยากร (2529) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล และดิน ตะกอนบริเวณอ่าวไทยระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2529 พบว่าการสะสมในตะกอนดินในอ่าวไทย ตอนบนสูงกว่าอ่าวไทยตอนล่าง โดยมีค่าเฉลี่ยของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำบริเวณอ่าวไทยตอนบนอยู่ในช่วง 0.65-8.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในอ่าวไทยตอนล่างอยู่ในช่วง 0.07-6.5 ไมโครกรัมต่อ ลิตร การสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอน บริเวณอ่าวไทยตอนบนสูงกว่าบริเวณอ่าวไทยตอนล่างมาก มีค่าเฉลี่ยเป็น 11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (พิสัยในช่วง 0.07-62 ไมโครกรัมต่อ กรัม) ในอ่าวไทยตอนบน และในอ่าวไทยตอนล่างมีค่าเฉลี่ยเป็น 1.00 ไมโครกรัมต่อกรัม (พิสัยในช่วง 0.03-8.3 ไมโครกรัมต่อกรัม)

ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ (2531) ศึกษาปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล บริเวณ ชายฝั่งทะเลตั้งแต่พัทยา ถึง ตราด ในเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม 2530 และเดือนเมษายน 2531 พบว่า



ในน้ำทะเลชายฝั่งมีปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าในน้ำทะเลที่อยู่ห่างฝั่ง โดยมีค่าในช่วง 0.02-5.29 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำทะเลชายฝั่ง และ 0.01-0.70 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำทะเลห่างฝั่ง และน้ำทะเลบริเวณท่าเทียบเรือประมงจะมีความปนเปื้อนสูงกว่าบริเวณอื่น โดยมีค่าความเข้มข้นสูงสุดบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยอง

วรัญญา วิรุฬผล (2533) ศึกษาการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกของชั้นดิน บริเวณท่าเรือคลองเตย และปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบไฮโดรคาร์บอนในช่วง 1.2-8.2 ไมโครกรัมต่อกรัม ในบริเวณท่าเรือคลองเตย และ 0.4-45.0 ไมโครกรัมต่อกรัม บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนไฮโดรคาร์บอนในกลุ่มอะโรมาติกของทั้งสองบริเวณ พบในช่วง 2.2-4.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรคาร์บอนกับระดับความลึกตามชั้นดินไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการสะสมได้ชัดเจน

เกศินี สรรวานิช (2534) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ และตะกอนบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่างในเดือนมีนาคม และสิงหาคม 2532 และตัวอย่างหอยแมลงภูบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในเดือนสิงหาคม 2532 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ พบปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีค่าเฉลี่ย 2.53 ไมโครกรัมต่อลิตร ในเดือนมีนาคม และ 1.61 ไมโครกรัมต่อลิตรในเดือนสิงหาคม 2532 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน พบอนุภาคมัลติเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง $C_{15}-C_{32}$ ปริมาณสารอะลิฟาติกรวม มีค่าเฉลี่ย 20-99 และ 15-35 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในเดือนมีนาคมและสิงหาคม ตามลำดับ พบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) มีจำนวน ring ตั้งแต่ 2-3 ring โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 2.71 และ 2.03 ไมโครกรัมต่อกรัมในเดือนมีนาคมและสิงหาคมตามลำดับ ตัวอย่างหอยแมลงภูพบอนุภาคมัลติเคน ในช่วง $C_{15}-C_{26}$ ซึ่งมีปริมาณรวมในช่วง 1.28 -1.87 ไมโครกรัมต่อกรัม สาร PAH ที่พบได้แก่ แนพทาซีนไบเฟนิล 2,6 -ไดเมทิลแนพทาซีน ไดเบนโซฟูราน ฟลูออแรนธินไพรีน และโครซีน โดยมีปริมาณในช่วง 12.5-81.0 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

Suthanaruk (1991) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ระดับน้ำลึก 1 เมตร และระดับผิวน้ำบริเวณอุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง ในเดือนตุลาคม 2532 เดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน 2532 พบว่าช่วงที่มีการตัดเรือทั้ง 2 ครั้ง ในเดือนมิถุนายน และเดือนพฤศจิกายน จะมีสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนปนเปื้อนในน้ำสูงกว่าช่วงก่อนและภายหลังการตัดเรือ ผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างดินและตัวอย่างหอยเสียบ พบว่าในตัวอย่างตะกอนดิน พบอนุภาคมัลติเคน ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในช่วง $C_{15}-C_{30}$ ปริมาณอะลิฟาติกรวมมีค่าเฉลี่ย 0.35 และ 0.36 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งในเดือนตุลาคม และมิถุนายนตามลำดับ พบสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในค่าเฉลี่ย 0.33 และ 0.69 ไมโครกรัมต่อกรัม ในเดือนตุลาคมและมิถุนายนตามลำดับ ในตัวอย่างหอยเสียบพบอนุภาคมัลติเคนในช่วง $C_{15}-C_{27}$ ปริมาณรวมในช่วง 6.18-14.91 ไมโครกรัมต่อกรัมในเดือนตุลาคม และ 10.84-38.94 ไมโครกรัมต่อกรัมในเดือนมิถุนายน สาร PAH ที่พบได้แก่ อะซีแนฟไทลีน และอะซีแนฟทีน ไดเบนโซไธโอพีน พีแนนทริน แอนทรา

ชั้น 1-เมทิลพีแนทราทรีน ฟลูออแรนทีน ไพรีน และเบนโซ(เอ)ไพรีน พบการกระจายของน้ำมันดินในช่วง 0.62-20.83, 0.10-113.89, 0.47-209.11 และ 0.85-69.11 กรัมต่อเมตร ในช่วงก่อนตัดเรือ กำลังตัดเรือทั้งสอง ครั้ง และหลังการตัดเรือตามลำดับ

จตุฎ สวารินทร์ (2537) ทำการวิเคราะห์สารอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามลำดับความลึกของชั้นตะกอนที่เก็บจากบริเวณอ่าวไทย จำนวน 8 สถานี พบนอร์มัลอัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในช่วง C_{15} - C_{34} ปริมาณนอร์มัลอัลเคนมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกในทุกสถานี บริเวณอ่าวไทยตอนบนมีค่าระหว่าง 61.30-2210.32 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ชายฝั่งตะวันตก มีค่าระหว่าง 116.23-672.10 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ชายฝั่งตะวันออก มีค่าระหว่าง 69.80-934.81 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง อ่าวไทยตอนล่าง มีค่าระหว่าง 58.33-171.31 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การกระจายของนอร์มัลอัลเคนและดัชนีต่างๆ บ่งชี้ว่า แหล่งที่มาของไฮโดรคาร์บอนมาจากทั้งธรรมชาติ และน้ำมัน สำหรับสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนกลุ่ม PAHs พบน้อยมากทั้งปริมาณและชนิด

Hurtt และ Quinn (1979) ศึกษาการกระจายของไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าว Naragansett รัฐโรดไอแลนด์ สหรัฐอเมริกา โดยศึกษาการกระจายตามระดับความลึกของชั้นดิน พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ระดับ 0-5 ซม. มีปริมาณลดลงตามระยะห่างจากปากแม่น้ำ และพบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลง ตามระดับความลึกของชั้นตะกอนจนถึงระดับ 20-25 ซม. ปริมาณที่พบในชั้นตะกอนตอนบนนั้นแสดงถึงปริมาณการใช้น้ำมันที่เริ่มเพิ่มมากขึ้นในช่วงปลายศตวรรษที่ 19

Prahl และ Carpenter (1983) จำแนกชนิดและแหล่งกำเนิดของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) และอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ในตะกอนจำนวน 17 ตัวอย่าง ของชายฝั่งบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของวอชิงตัน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำต่างๆสูง พบว่าไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่มาจากแหล่งก่อเกิดบนพื้นดิน และคงตัวเป็นเวลานานในชั้นตะกอน PAHs ส่วนใหญ่ที่พบในตะกอนล้วนมาจากกิจกรรมของมนุษย์ มีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่มาจากธรรมชาติ คือ รีทีน (retene) เพอริลีน (perylene) อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่พบส่วนใหญ่เป็นนอร์มัลอัลเคนจากพืช (Plant wax) นอกจากนี้ยังพบพริสเทน อะไซคลิกไฮโดรคาร์บอน และ C_{26} โพลีโอเลฟินส์ ความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ลดลงอย่างรวดเร็วตามความลึก แสดงถึงการเกิดการย่อยสลาย

Hoffman และคณะ (1984) ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านชุมชน จากท่อระบายน้ำ 4 ท่อจากบริเวณการใช้พื้นที่แตกต่างกัน แล้วนำมาวิเคราะห์แยกชนิด Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) โดย GC ปริมาณของ PAHs แปรผันมากในระหว่างแต่ละช่วงฝนและพบปริมาณสูงสุดในช่วงการระบายน้ำฝนครั้งแรก และครั้งที่สอง ปริมาณของ PAHs ในน้ำที่ระบายผ่านชุมชน บริเวณทางหลวงและบริเวณอุตสาหกรรม จะสูงกว่าบริเวณพาณิชยกรรมและบริเวณที่พักอาศัย องค์ประกอบของ PAHs ในน้ำที่ระบายผ่านชุมชน จะคล้ายคลึงกับ PAHs ที่พบจากบรรยากาศ แต่ไม่เหมือนกับ PAHs ที่พบในน้ำที่มาจากชุมชน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ PAHs จากน้ำที่ระบายผ่านชุมชนกับแหล่งอื่นๆ ที่ปนเปื้อนลงสู่อ่าว Narragansett แล้วพบว่า น้ำที่ระบายผ่านชุมชนนี้ปลดปล่อย PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูง

ถึง 71 % ของการปลดปล่อย PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูงทั้งหมดและคิดเป็น 36 %ของการปลดปล่อย PAHs ทั้งหมดจากแหล่งอื่น ๆ

Mattsson และ Carola (1985) ศึกษาการสะสมของการปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้าบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศสวีเดน ในปี 1974 - 1975 และปี 1982 พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มจาก 199 ไมโครกรัมต่อกรัม เป็น 252 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีอัตราการเพิ่มสูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่ชายฝั่ง ภายในรัศมี 0-20 กม. จากพื้นที่ชุมชน (เป็นชุมชนที่มีประชากรอาศัยอยู่มากกว่า 20,000 คน) ซึ่งเพิ่มจาก 371 เป็น 447 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนในบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ชุมชนออกไป อยู่ในช่วง 20-50 กม. นั้น มีค่าปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน เพิ่มขึ้นจาก 76 ในปี 1974-1975 เป็น 117 ไมโครกรัมต่อกรัม ในปี 1992

Brown และคณะ (1985) ศึกษาชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในตะกอนจากอ่างเก็บน้ำ Hillsborough แม่น้ำ Hillsborough และอ่าว Hillsborough ตอนบน และในน้ำฝนที่ไหลผ่านชุมชน พบว่าน้ำมันเครื่องเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่ของสารไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอน และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารไฮโดรคาร์บอนในตะกอนกับในน้ำที่ไหลระบายผ่านชุมชนมา พบว่า แหล่งที่มาของสารปิโตรเคมีที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันเครื่องมีพบในตะกอน ก็คือจาก น้ำฝนที่ระบายลงมานั่นเอง

Killops และ Howell (1988) ศึกษาการกระจายและแหล่งกำเนิดของไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า บริเวณช่วงน้ำขึ้นน้ำลงของอ่างเก็บน้ำ Bridgewater โดยใช้เครื่อง GC, HPLC และ GC/MS ทำการจำแนกแหล่งกำเนิดไฮโดรคาร์บอน 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) จากการเผาไหม้ และจากน้ำมันที่มีการปลดปล่อยลงมาเป็นเวลานาน ส่วนแหล่งกำเนิดอื่นๆ มาจากสาหร่าย พืชชั้นสูง และยาฆ่าแมลง จำพวก ดีดีที ตัวชี้ทางชีววิทยาที่บ่งถึงการปนเปื้อนจากน้ำมัน มีความคล้ายคลึงกันในแต่ละตัวอย่างตะกอน ซึ่งสะท้อนถึงการผสมปนคละกันของตะกอนในอ่าว Bridgewater พบแนวโน้มว่าการปนเปื้อนจากน้ำมันมากกว่าจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะในตัวอย่างตะกอนที่มีอนุภาคดินละเอียดกว่า กลุ่มสารที่พบประกอบด้วย terphenyls, cyclohexylbiphenyls และ dicyclohexylbenzenes

Kayal และ Connell (1989) ทำการเก็บตัวอย่างตะกอน 23 ตัวอย่าง บริเวณห่างจากปากแม่น้ำ Brisbane ประเทศออสเตรเลีย ขึ้นไป 40 กม. จำแนกชนิดและปริมาณของ PAHs ด้วย GC และ GC/MS พบ PAHs 72 ชนิด โดยมีฟลูออแรนทีน และ ไพรีน ในความเข้มข้นสูงสุด คือ $> 2.34 \pm 1.73$ และ 2.26 ± 1.72 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ รูปแบบการกระจายของ PAHs ทั้งหมดชี้ว่า บริเวณชุมชนมีปริมาณ PAHs ทั้งหมดสูงสุด (16.1 ไมโครกรัมต่อกรัม) พบปริมาณน้อยลง ทั้งในบริเวณที่เหนือขึ้นไปและต่ำลงมา บริเวณเหนือขึ้นไปนั้นไม่มีอะไรปนเปื้อนจริง แต่บริเวณที่ต่ำลงมา เป็นพื้นที่อุตสาหกรรมจำนวนมาก ซึ่งน่าจะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ที่พบความเข้มข้นต่ำ อาจเป็นเพราะการชะพาของกระแสน้ำ และเป็นช่วงน้ำขึ้นน้ำลง

รูปแบบการกระจายของ PAHs ไม่สัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอนุภาคของ ตะกอน และบ่งถึงปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่มาจากแหล่งเผาไหม้มากกว่าจากน้ำมัน

Lipiatou และ Salot (1991) ศึกษาการกระจายและแหล่งกำเนิดของสารประกอบที่ไม่ใช่ ไฮโดรคาร์บอน (NAH) และ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในตะกอนจากปากแม่น้ำ Rhone และจากทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันตก โดยใช้เครื่อง HPLC, GC และ GC/MS ปริมาณ NAH และอินทรีย์ คาร์บอนในตะกอนพบในช่วง 6.5-384.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และจาก 1.7-20.2 มิลลิกรัมต่อ กรัม ตามลำดับ ปริมาณ PAHs และ อินทรีย์คาร์บอนในตะกอน พบในช่วง 179-2427 นาโนกรัมต่อกรัม และ 43.8-237.9 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นที่สูงพบในสถานที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำ ส่วน ความเข้มข้นที่ต่ำมากของสารไฮโดรคาร์บอน พบในตะกอนลึกจากด้านเหนือ และบริเวณตรงกลางของ ทะเลเมดิเตอร์เรเนียนตะวันตก การพิจารณาเกณฑ์ดัชนีที่แตกต่างกัน เช่น CPI ของนอร์มัลอัลเคน พริ สเตน/C17 ฯลฯ และรูปแบบการกระจายของ PAHs นำมาใช้ในการจำแนกความแตกต่างระหว่าง แหล่ง ก่อเกิดจากธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยใช้เกณฑ์ดัชนีหลายๆ แบบมาพิจารณารวมกัน

Al-Saad และ Al-Timari, (1993) ศึกษาการกระจายและการแปรผันตามฤดูกาลของนอร์มัลอัล เคน ในบึงแห่งหนึ่งในประเทศอิรัก โดยวิธีแกสโครมาโตกราฟี พบว่าความเข้มข้นของนอร์มัลอัลเคนใน ฤดูกาลมีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน นอร์มัลอัลเคนมีรูปแบบการกระจายของจำนวนคาร์บอนเลขคู่ และเลขคี่ อย่างปกติในช่วง C_{13} - C_{34} พร้อมทั้งมีลักษณะที่แสดงถึงแหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางชีววิทยา คือ พบ C_{17} , C_{19} ซึ่งสังเคราะห์โดยสาหร่ายบางชนิดในปริมาณสูงรวมทั้ง C_{25} , C_{27} , C_{29} ที่เกิดจากพืชบกด้วย พริสเทน และไฟเทน เป็นไอโซพรีนอยด์ที่พบมากที่สุดในตัวอย่งน้ำ เน้นถึงการเกิดจากกระบวนการทาง ชีววิทยา ในขณะที่เดียวกันพบว่ามี Unresolved Complex Mixture (UCM) ด้วย ซึ่งชี้ถึงการปนเปื้อนจาก กิจกรรมของมนุษย์ (จากแหล่งชุมชนและน้ำมันต่างๆ)

Balci (1993) ศึกษาปริมาณของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่แพร่กระจายและละลายอยู่ใน น้ำทะเลลึก 1 เมตร ของ Eastern Aegean Sea และชายฝั่งประเทศตุรกี โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างในปี 1986-1989 ครอบคลุมทั้ง 4 ฤดูกาล ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน อยู่ ในช่วง 0.09-25.5 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.09-1.92 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีเพียง 2-3 ตัวอย่างเท่านั้น มีค่าสูงกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีข้อสังเกตว่าบริเวณที่พบความเข้มข้นของ ไฮโดรคาร์บอนสูงนั้น เคยเป็นบริเวณที่มีการระบายน้ำอับเฉาจากห้องเรือ น้ำล้างทำความสะอาดเรือ บรรทุกน้ำมัน และเรือสินค้าอื่นๆ มาก่อนในอดีต และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่ที่มีกิจกรรมการล้างเรือเล็กๆ อยู่ ส่วนระดับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณใกล้ๆ Aliaga Sea ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงกลั่น และกลุ่มโรง งานปิโตรเคมีนั้น พบค่าค่อนข้างสูงและผันผวนมาก

Esteves และ Commendatore (1993) ศึกษาปริมาณอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดในน้ำ และตะกอน บริเวณชายฝั่ง Patagonia ประเทศอาร์เจนตินา โดยทำการเก็บตัวอย่างในปี 1989 ตัวอย่าง น้ำทะเลลึก 1 ม. ตัวอย่างตะกอนเก็บเป็น Sediment cores โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ยาว 25 ซม.



และตัด Section ทุกช่วง 3 ซม. ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณปบเปื้อนในน้ำอยู่ในช่วง 0-40.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในตะกอนอยู่ในช่วง 0-125.7 ไมโครกรัมต่อกรัม บริเวณที่มีการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสูง มี 2 บริเวณคือ บริเวณอ่าว San Jorge ซึ่งมีท่าเทียบเรือขนาดใหญ่ กับบริเวณที่มีกิจกรรมการประมงมาก แต่มีการใช้พื้นที่ชายฝั่งน้อย ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนในน้ำและในตะกอน แต่พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำกับค่าความเค็ม ซึ่งค่าความเค็มอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึง Residence Time ของน้ำทะเลตรงจุดนั้น และ Residence Time ก็มีผลต่อการรวมตัวและการคงอยู่ของสารไฮโดรคาร์บอน

Corbin (1993) ศึกษาการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในบริเวณชายฝั่งทะเลของ ST.Lucia โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณทะเลเปิดในระหว่างเดือนกันยายน 1987 และกุมภาพันธ์ 1988 และเก็บตัวอย่างในบริเวณอ่าวในระหว่างเดือน มิถุนายน 1989 และเดือนมิถุนายน 1990 พบว่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณอ่าว มีค่าระหว่าง 1.30-2.70 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในบริเวณทะเลเปิด มีค่าระหว่าง 9.0-30.0 ไมโครกรัมต่อลิตร แสดงถึงภาวะการปนเปื้อนที่ยังน้อยมากในบริเวณอ่าวชายฝั่งทั้งที่มีกิจกรรมบนพื้นดินหลายประเภท ส่วนในบริเวณทะเลเปิดที่ห่างไกลจากแผ่นดินพบการปนเปื้อนที่สูงกว่าซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นบริเวณเส้นทางเดินเรือและการปนเปื้อนก็มาจากกิจกรรมเดินเรือเหล่านั้นนั่นเอง

Madany และคณะ (1994) ศึกษาระดับของอะโรมาติกปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำบริเวณชายฝั่งบาเร็นห์ในอ่าวอารเบียน โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 25 สถานี แบ่งออกเป็นบริเวณอุตสาหกรรม ท่าเรือ อู่จอดเรือ ชายหาดสาธารณะ และที่พักอาศัย จุดปล่อยน้ำทิ้งจากชุมชน และบริเวณควบคุมซึ่งอยู่ห่างไกลออกไป ผลการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างของปริมาณไฮโดรคาร์บอน ทั้งตามพื้นที่ที่ต่างกันและตามระยะเวลา ค่าสูงสุดคือ 88 ไมโครกรัมต่อลิตร (เทียบกับมาตรฐานโคโรซิน) พบบริเวณอุตสาหกรรม และค่าต่ำที่สุดคือ 16.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ในบริเวณควบคุม โดยทั่วไประดับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเฉลี่ยค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งอื่นๆ ในอ่าวแห่งนี้ ซึ่งบ่งชี้ถึงปัญหาการปนเปื้อนของน้ำมันที่มีมาเป็นเวลานาน

Readman และ Mantoura (1987) ศึกษาปริมาณของ PAHs ในตะกอนตามระดับความลึก บริเวณอ่าว Tamar U.K. โดยใช้ Po^{210} เป็นสารกัมมันตรังสีในการหาอายุตะกอน พบว่าปริมาณ PAHs เพิ่มขึ้นแบบ exponential จากปริมาณน้อยกว่า 30 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งในช่วงก่อนปี ค.ศ.1940 แล้วเพิ่มเป็น 500 นาโนกรัมต่อกรัมในปี 1960 จนกระทั่งพบในปริมาณ 4,000 นาโนกรัมต่อกรัมในตะกอนผิวหน้า องค์ประกอบของ PAHs ส่วนใหญ่เป็น unsubstituted PAHs ซึ่งเป็นลักษณะของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) สอดคล้องกับปริมาณยวดยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นพร้อมๆกับน้ำที่ไหลผ่านถนนหนทางต่างๆลงสู่อ่าว Tamar

Cranwell และ Koul (1989) ทำการศึกษาการสะสมของ PAHs ในตะกอนตามความลึก จากทะเลสาบ Windermere และ Priest Pot ในลุ่มน้ำ Windermere ทำการหาอายุตะกอนโดยวัดค่า



unsupported Pb²¹⁰ เพื่อศึกษาระดับของสารไฮโดรคาร์บอนในอดีตและปัจจุบัน พบว่ามีการปนเปื้อนของ PAHs ในตะกอนชั้นบนสูงกว่าในตะกอนชั้นล่าง โดยมีปริมาณในช่วง 0.91 - 175.40 ไมโครกรัมต่อกรัม ในตะกอนจาก Windermere และ 2.60 - 26.08 ไมโครกรัมต่อกรัม ในตะกอนจาก Priest และพบว่าแหล่งของการปนเปื้อนมาจากน้ำมันจากการเดินเรือในทะเลสาบและน้ำทิ้งชุมชน ปริมาณ PAHs มีค่าสูงขึ้นในช่วงปี 1900 - 1920 ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาอุตสาหกรรมในบริเวณใกล้เคียง และมีปริมาณลดลงหลังจากปี 1975 เนื่องจากมีการนำถ่านหินมาใช้แทนน้ำมัน แต่ปริมาณที่พบก็มีค่าสูงเป็นสิบเท่าของค่าที่พบในช่วงก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม

Smith และ Levy (1990) ศึกษาปริมาณของ PAHs เทียบกับอายุตะกอนในตะกอนตามความลึกจากช่องแคบ Saguenay, Quebec. พร้อมทั้งเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสาร PAHs ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงของการพัฒนาอุตสาหกรรมด้วย พบว่า หลังจากมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในปี ค.ศ.1926 ซึ่งเป็นยุคก่อนยุคอุตสาหกรรมและอาจนับได้ว่าเป็นปริมาณพื้นฐาน PAHs ที่พบก็เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงปี 1940 หลังจากการขยายตัวอย่างมากของอุตสาหกรรม รูปแบบขององค์ประกอบของ PAHs ในตะกอนบ่งชี้ว่า แหล่งใหญ่ดั้งเดิมของสาร PAHs นั้นมาจากบรรยากาศ จนกระทั่งในช่วงปี ค.ศ.1964 - 1976 แหล่งใหญ่กลับเป็นการปลดปล่อยออกมาโดยตรงจากน้ำทิ้งต่างๆที่ลงสู่แม่น้ำ Saguenay โดยมีปริมาณสูงกว่าจากที่มาจากบรรยากาศมาก

Zoest และ Eck (1993) ศึกษาประวัติการปนเปื้อนของสาร PAHs และ PCBs ในตะกอนตามความลึกจากอ่าว Scheldt S.W. เนเธอร์แลนด์ จำนวน 2 จุด โดยใช้ขนาดของตะกอนที่น้อยกว่า 63 ไมครอน พบว่าปริมาณของ PAHs และ PCBs ในปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าค่าที่พบสูงสุดในช่วงกลางปี ค.ศ. 1960 สองถึงสามเท่า องค์ประกอบหรือชนิดของสาร PAHs มีลักษณะคล้ายกันของตะกอนตามความลึก core เดียวกัน และในระหว่างทั้ง 2 cores ด้วย โดยสัดส่วนของสาร PAHs บ่งชี้ว่าการเผาไหม้ของถ่านหินเป็นแหล่งก่อเกิดที่สำคัญของสาร PAHs ในอ่าว Scheldt

Wenning และคณะ (1994) ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนตามความลึกในช่วง 1.5 - 6 เมตร จำนวน 13 สถานีจากแม่น้ำ Passaic ตอนล่างใน Newark นิวเจอร์ซีย์ แล้ววิเคราะห์หาปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด, PAHs , PCBs และโลหะหนัก ศึกษาอายุตะกอนและอัตราการตกตะกอนโดยใช้สารกัมมันตรังสี Cs¹³⁷ และ Pb²¹⁰ พบว่าในปริมาณ PAHs และโลหะหนักที่สะสมในตะกอนมีค่าสูงสุดในก่อนช่วงค.ศ. 1960 ความเข้มข้นของ PCBs ที่สูงขึ้นพบว่ายู่ในตะกอนที่มีการสะสมในช่วงระหว่างปี 1950 - 1980 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าแม่น้ำ Passaic ตอนล่าง ได้รับการปนเปื้อนอย่างหนักตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา จากน้ำทิ้งชุมชนและอุตสาหกรรมในบริเวณนั้นและจากบริเวณเหนือน้ำ แหล่งใหญ่ที่ปลดปล่อย PAHs, PCBs และโลหะหนักคือจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรม โดยมีน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นแหล่งสนับสนุน