

การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน
บริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน



นางสาวจิราณีย์ ไชยปรีวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-170-465-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACCUMULATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SEDIMENTS
FROM THA CHIN ESTUARY

Miss Jiranee Chaipuriwong



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic year 2001

ISBN 974-170-465-8

จิราณีย์ ไชยปวิวงศ์ : การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน
บริเวณเอสทูรี แม่น้ำท่าจีน (ACCUMULATION OF POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS IN SEDIMENTS FROM THA CHIN ESTUARY) อ.ที่ปรึกษา :
รศ.ดร.กัลยา วัฒนยากร, หน้า 184. ISBN 974-170-465-8.

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนผิวหน้าและตะกอนตามความลึก จากบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน
ศึกษาการกระจายของสาร PAHs ในดินตะกอนผิวหน้าและการสะสมในตะกอนดินตามความลึก ผลการ
วิเคราะห์พบสาร PAHs ที่มีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2 – 6 วง โดยมีการกระจายของชนิดและปริมาณ
แตกต่างกัน PAHs ที่พบได้มากที่สุดได้แก่ naphthalene, biphenyl ,acenaphthene, fluorene,
phenanthrene, chrysene, benzo(a)anthracene, perylene, anthracene, fluoranthene และ
pyrene โดยมีปริมาณ PAHs รวมของตัวอย่างตะกอนผิวหน้าตามลำน้ำท่าจีน 0.22 – 1.52 ไมโครกรัม
ต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การกระจายของสาร PAHs
รวมในตะกอนดินผิวหน้าพบว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs จะเป็นบริเวณที่พบการสะสม
ได้มากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลแหล่งกำเนิดออกไป การสะสมของสาร PAHs รวมในตะกอนตามความลึก
บริเวณคลองสุนัขหอนแสดงแนวโน้มของ PAHs ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันมี
การสะสมของสาร PAHs มากกว่าในอดีต แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ตามความลึก
ตะกอนในบริเวณปากแม่น้ำมีแนวโน้มไม่ชัดเจน อาจเนื่องจากการขุดลอกร่องน้ำบริเวณปากแม่น้ำทำให้
รบกวนการสะสมและการตกตะกอนในบริเวณนี้

การพิจารณาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs พิจารณาได้จากดัชนี Fluoranthene/Pyrene
Phenanthrene/Anthracene Σ MP/P และ (2+3-ring)PAHs/(4+5-ring)PAHs โดยพบว่าแหล่งกำเนิด
หลักของสาร PAHs ในดินตะกอนบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ เช่น จากการ
ปล่อยควันเสียจากยานพาหนะ จากโรงงานอุตสาหกรรม และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่แหล่ง
น้ำ แหล่งกำเนิดรองมาจากการปนเปื้อนจากน้ำมัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ลายมือชื่อนิติ.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2544

#4172254123 : MAJOR CHEMICAL OCEANOGRAPHY

KEYWORD : POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS / SEDIMENT / THA CHIN

RIVER / ESTUARY :

JIRANEE CHAIPURIWONG: ACCUMULATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SEDIMENTS FROM THA CHIN ESTUARY. ASSOC.PROF. GULLAYA WATTAYAKORN, Ph.D. : 184 pp. ISBN 974-170-465-8.

Surface and core sediment samples were collected along the Tha Chin estuary in order to investigate the distribution and vertical accumulation of PAHs . The PAHs found were those of the molecules with 2-6 rings . Dominant PAHs were naphthalene, biphenyl, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, chrysene, perylene, benzo(a)anthracene, anthracene, fluoranthene and pyrene . Concentrations of total PAHs in surface sediments from the Tha Chin estuary ranged from 0.23 – 1.52 with an average value of 0.62 $\mu\text{g/g}$ dry weight. The distribution of PAHs concentration in surface sediments showed high accumulation near the sources . Vertical distribution of total PAHs in the sediment cores collected from Klong Sunukhorn showed a decreasing trend of the PAHs concentration with depth. This suggests that accumulation of PAHs in the present time is higher than earlier dates. PAHs in the sediment cores collected from the mouth of the river showed fluctuating trend, probably due to dredging activity at the river mouth which disturb the accumulation and deposition of sediment in this area.

Source of PAHs in the sediment was indentified by Fluoranthene/Pyrene Phenanthrene / Anthracene $\Sigma\text{MP/P}$ and (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs ratios. The ratios indicated that primary sources of accumulated PAHs in sediments from Tha Chin estuary were mostly of pyrolytic origin, namely automobile exhaust , industrial pollution and discharge of used lubricating oil directly into the river. Secondary sources were of petrogenic origin.

Department Marine Science

Student's signature.....

Field of study Marine Science

Advisor's signature.....

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความสามารถอย่างยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา วัฒมากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และปรึกษาและเอาใจใส่ตลอดมา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณคุณชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ ที่ช่วยอนุเคราะห์ในด้านการหาอายุของตะกอนของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพัฒนา โวจนจิราภา กองอาชีพะอนามัย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือแก๊สโครมาโตกราฟ และแมสสเปคโตรโครมาโตกราฟ ขอขอบคุณ คุณสมเกียรติ ท้วมแสง และ คุณศิริพร สิงห์ทอง ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำในการใช้เครื่องมือและเป็นกำลังใจ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณกรมพัฒนาที่ดิน ในการอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่อง Freeze – dryer

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิช และทบวงมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เงินอุดหนุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณและซาบซึ้งในน้ำใจของน้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอขอบคุณพ่อ แม่ และพี่ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ ให้ความรักและกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3. วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	25
4. ผลการศึกษาวิจัย.....	38
5. วิเคราะห์ผลการศึกษา.....	68
6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	91
ประวัติผู้เขียน.....	184

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณ อำเภอเมือง จังหวัด.....5
	สมุทรสาคร
2.2	คุณสมบัติของสาร PAHs.....9
2.3	ผลกระทบของ PAHs แต่ละชนิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ.....14
2.4	ผลกระทบของPAHsที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง.....15
2.5	การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตในบริเวณเอสทูรีในบริเวณ ต่าง ๆ ในโลก.....21
2.6	การศึกษาปริมาณสาร PAHs สิ่งมีชีวิตบริเวณอื่น22
3.1	องค์ประกอบของตะกอนที่วิเคราะห์ และวิธีการวิเคราะห์.....37
4.1	ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดินตะกอน ผิวหน้าและตะกอนตามความลึก.....39
4.2	อายุของตะกอนและอัตราการตกตะกอนของตะกอนตามความลึก.....40
4.3	สรุปปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ของตัวอย่างตะกอน ดินผิวหน้า.....51
4.4	สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1 (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)..... 57
4.5	สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C2 (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)...58
4.6	สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C3 (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)...58
4.7	สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)ของ ตัวอย่างตะกอนผิวหน้า.....62
4.8	สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)ของ ตัวอย่างตามความลึกของสถานี C1.....64
4.9	สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)ของ ตัวอย่างตามความลึกของสถานี C2.....65

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10	สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)ของตัวอย่างตามความลึกของสถานี C3.....65
5.1	ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า.....73
5.2	ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1.....73
5.3	ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C2.....74
5.4	ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C3.....74
5.5	ดัชนีพิจารณาแหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า.....80
ก1.	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนตัวอย่างดินผิวหน้าสถานีตามลำน้ำ (T1-T11) คลองมหาชัย(M1-M3) และคลองสุนัขหอน(D1-D2).....92
ก2.	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตามความลึกบริเวณปากแม่น้ำ(C1)93
ก3.	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตามความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C2)94
ก4.	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตามความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3)95
ข1.	ปริมาณสาร PAHs ที่พบในตะกอนผิวหน้า บริเวณตามลำน้ำนาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง.....96
ข2.	ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ(C1)(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง).....103
ข3.	ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ(C2) (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง).....109

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข4. ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึก บริเวณคลองสุนัขหอน (C3)(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	114
จ1. อัตราส่วนของ Σ MP/P ของตัวอย่างตะกอนผิวหน้าในทุกสถานี.....	138
จ2. อัตราส่วนของ Σ MP/P ของตัวอย่างตะกอนตามความลึก สถานี C1.....	139
จ3. อัตราส่วนของ Σ MP/P ของตัวอย่างตะกอนตามความลึก สถานี C2.....	140
จ4. อัตราส่วนของ Σ MP/P ของตัวอย่างตะกอนตามความลึก สถานี C3.....	140
จ5. ดัชนี Fluoranthrene/Pyrene และ Phenanthrene/Anthracene ของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า.....	141
จ6. ดัชนี Fluoranthrene/Pyrene และ Phenanthrene/Anthracene ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 และ C2.....	142
จ7. ดัชนี Fluoranthrene/Pyrene และ Phenanthrene/Anthracene ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C3.....	142
จ8. ดัชนี (2+3)/(4+5) ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนที่ผิวหน้า.....	143
จ9. ดัชนี (2+3)/(4+5) ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1.....	143
จ10. ดัชนี (2+3)/(4+5) ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C2.....	144
จ11. ดัชนี (2+3)/(4+5) ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C3.....	144
ฉ1. ดัชนีARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ในสถานีต่าง ๆ	145
ช1. ผลการหาค่า Method Detection Limit (MDL) ของสาร PAHs	152
ช1. เปอร์เซ็นต์คืนกลับของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า.....	153
ช2. เปอร์เซ็นต์คืนกลับของตัวอย่างตะกอนตามความลึก.....	153
ฉ1. ปริมาณอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวหน้า บริเวณตามลำน้ำ (T) แม่น้ำท่าจีน คลองมหาชัย (M) และคลองสุนัขหอน (D)(นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง).....	154
ฉ2. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึก บริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง).....	155
ฉ3. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึก บริเวณปากแม่น้ำ (C2) (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง).....	156

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ณ4. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3) (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง).....	157
ญ1. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวหน้าสถานีตามลำน้ำ (T) คลองมหาชัย และคลองสุนัขหอน(D).....	158
ญ2. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C1.....	159
ญ3. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C2.....	160
ญ4. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C3.....	160
ฒ1. ผลการหาค่า Method Detection Limit (MDL) ของสารอะลิฟาติก.....	164
ณ1. เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า.....	165
ณ2. เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนตามชั้นความลึก.....	165
ด1. ดัชนี Kovat ของสารมาตรฐานอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน.....	166
ด2. ค่าอายุของตะกอนสถานี C1.....	179
ด3. ค่าอายุของตะกอนสถานี C2.....	181
ด4. ค่าอายุของตะกอนสถานี C3.....	182
ต1. สถิติจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตจังหวัดสมุทรสาครในปี 2541 จำแนกตามหมวดอุตสาหกรรม.....	183

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	สาร PAHs ที่กำหนดอยู่ในรายชื่อสารพิษของ U.S.EPA.....8
3.1	สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน คลองมหาชัย และคลองสุนัขหอน.....27
3.2	ขั้นตอนการวิเคราะห์สารไอโคคาร์บอนในตะกอนดิน.....33
4.1	การกระจายของปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า.....39
4.2	เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอนดินตามความลึก.....41
4.3	ค่า Eh ในตัวอย่างตะกอนดินตามความลึก.....42
4.4	การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า.....46
4.5	ปริมาณ PAHs รวมของตะกอนดินผิวหน้า.....50
4.6	การกระจายของสาร PAHs ในตะกอนตามความลึกสถานี C1.....54
4.7	การเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs รวม(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) กับความลึก.....59
4.8	การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของฟลูออแรนทีน แนพทาซีน แอนทราซีน และพีแนนทีน.....60
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะลิฟาติก(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) กับความลึก.....66
4.10	ปริมาณอะลิฟาติกในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณสถานี T1-T11..... 67
4.11	ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมแต่ละชนิดของสถานีตามความลึก C1 C2 และ C3.....67
ค1.	โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าที่สถานี T8.....118
ค2.	โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าบริเวณสถานี คลองมหาชัย (M2).....119
ค3.	โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าบริเวณสถานี คลองสุนัขหอน (D2).....120
ค4.	โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 0-3 ซม.....121
ค5.	โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 3-6 ซม.122

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค6. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 6-9 ซม.	123
ค7. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 9-12 ซม.	124
ค8. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 12-15 ซม.	125
ค9. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 15-18 ซม.	126
ค10. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 18-21 ซม.	127
ค11. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 21-24 ซม.	128
ค12. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 24-27 ซม.	129
ค13. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 27-30 ซม.	130
ค14. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 30-33 ซม.	131
ค15. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 33 – 36 ซม.	132
ค16. โครมาโทแกรมของตัวอย่างดินตะกอนตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 36 – 39 ซม.	133
ง1. โครมาโทแกรมของสาร PAHs ของตะกอนดินผิวน้ำสถานี T8 ทำการวิเคราะห์โดยเทคนิค GC-MS.....	134
ง2. แมสสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำบริเวณสถานี T8.....	135

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง3. แมสสเปกตรัมของตัวอย่างดินตะกอนจากการวิเคราะห์โดย เทคนิค GC-MS สถานี C1 และ D2.....	137
ฎ1. โคโรมาโทแกรมของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวน้ำ (T6,T8).....	161
ฎ2. โคโรมาโทแกรมของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวน้ำ (M2,D2).....	162
ฎ1. โคโรมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคาร์บอน.....	163
ด1. ไดอะแกรมที่ใช้ในการจำแนกชนิดของตะกอนตามขนาดของตะกอน.....	171
ด2. แสดงเส้นทางที่ Pb^{210} ลงสู่ตะกอนใต้ทะเล.....	173
ด3. การเปลี่ยนแปลงกัมมันตรังสีของ Pb^{210} ตามความลึกของตะกอนจากไหลทวีป.....	175
ด4. แสดงค่า Isotope activity (dpm/g) กับความลึกของสถานี C1.....	178
ด5. แสดงค่า log activity ของ Pb^{210} ของสถานี C1.....	178
ด6. แสดงค่าความพรุนของเนื้อดินสถานี C1.....	178
ด7. แสดงค่า Isotope activity (dpm/g) กับความลึกของสถานี C2.....	180
ด8. แสดงค่า log activity ของ Pb^{210} ของสถานี C2.....	180
ด9. แสดงค่าความพรุนของเนื้อดินสถานี C2.....	180
ด10. แสดงค่า Isotope activity (dpm/g) กับความลึกของสถานี C3.....	181
ด11. แสดงค่า log activity ของ Pb^{210} ของสถานี C3.....	181
ด12. แสดงค่าความพรุนของเนื้อดินสถานี C3.....	182

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แม่น้ำท่าจีนเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงและประชาชนในประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากแม่น้ำท่าจีนถูกใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ การประมง การเพาะเลี้ยง การคมนาคม การอุตสาหกรรม การเกษตร ตลอดจนเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียและมลพิษอื่น ๆ จากกิจกรรมต่าง ๆ จึงเป็นเหตุให้สภาพแวดล้อมของบริเวณแม่น้ำท่าจีนเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมลงจนถึงจุดวิกฤติคือ เกิดการเน่าเสีย ส่งผลกระทบต่อ การเลี้ยงปลา การเพาะปลูก การทำสวนกล้วยไม้ การท่องเที่ยว และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง รวมถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ สิ่งแวดล้อม และสุขภาพอนามัยของประชาชน

บริเวณสองฝั่งแม่น้ำท่าจีนได้มีการพัฒนาทั้งภาคอุตสาหกรรม การเกษตร ซึ่งจะระบายของเสียลงสู่แม่น้ำท่าจีน และยังมีการทำการประมงขนส่ง ล้วนแต่จำเป็นต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงปริมาณมากขึ้น และมีการถ่าน้ำมันที่ใช้แล้วลงสู่แม่น้ำ เนื่องจากน้ำมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญรวมอยู่ด้วย และมีความสามารถในการสลายตัวได้น้อยจึงสามารถที่จะสะสมอยู่ในดินได้ดี สาร PAHs ที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ จัดเป็นสารมลพิษชนิดหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายและนำอันตรายมาสู่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น อันตรายของสาร PAHs คือ เป็นสารก่อมะเร็ง สาร PAHs เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ เช่น การปล่อยควันเสียจากเครื่องยนต์และโรงงานอุตสาหกรรม การสูบบุหรี่ การเผาไหม้ในบริเวณแหล่งชุมชน กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันและการเผาไหม้ของป่า (Dung , 1996)

สาร PAHs สามารถลงสู่แม่น้ำได้หลายทางที่สำคัญได้แก่ การปล่อยควันเสียและการระบายน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนริมน้ำ บริเวณที่เกิดการสะสมของสาร PAHs ได้ดีที่สุดของแม่น้ำคือ บริเวณเอสทูรี เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีสารแขวนลอยสะสมอยู่มาก ซึ่งเกิดจากการพัดพาของสารอินทรีย์จากฝั่งลงสู่บริเวณดังกล่าว รวมทั้งเป็นบริเวณที่มีปริมาณธาตุอาหารสูง จึงทำให้สิ่งมีชีวิตหลายชนิดเข้าไปหาอาหารแล้วเกิดการย่อยสลายเนื่องจากการกิน การ

ซึบถ่ายและการตายทำให้เกิดอนุภาคของสารแขวนลอย เมื่ออนุภาคของสาร PAHs ตกลงสู่ผิวน้ำในบริเวณนี้ ทำให้อนุภาคของสารเกิดการจับตัวและเกาะติดกับอนุภาคของสารแขวนลอย บางส่วนของอนุภาคจะจับตัวกัน เกิดการตกตะกอนที่บถมลงสู่บริเวณท้องน้ำและเนื่องจากเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้เล็กน้อยหรือไม่ละลายน้ำสำหรับสารบางตัว ดังนั้น PAHs ส่วนใหญ่จึงคงสภาพอยู่ในดินตะกอนได้นาน และจะมีปริมาณมากเมื่ออยู่ใกล้บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อไกลแหล่งกำเนิดออกไป และเนื่องจากปัจจุบันแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มีปริมาณเพิ่มมากกว่าในอดีต ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะพบสาร PAHs สะสมในตะกอนที่มีอายุน้อยซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับการเพิ่มของแหล่งกำเนิดได้มาก โดยเฉพาะในเนื้อดินมีลักษณะเป็นดินเลนละเอียด เนื่องจากจะมีผิวสัมผัสมากกว่าเนื้อดินหยาบ

ปริมาณสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เหล่านี้เข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนดิน จะส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในหลายประเทศสนใจทำการศึกษาย่างต่อเนื่องในทุกด้าน เพราะนับวันปัญหาการสะสมของสาร PAHs ในชั้นดินตะกอนก็ยิ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่มีวงจรชีวิตเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงจำนวนของสิ่งมีชีวิตหน้าดิน และส่งผลต่อโครงสร้างและวิวัฒนาการของนกทะเลบางชนิด เป็นต้น

(Shore และคณะ, 1999)

ความตระหนักถึงปัญหาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในดินตะกอนได้มีมานานแล้ว โดยเฉพาะในประเทศที่มีความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรม สำหรับการศึกษาศาสตร์ประกอบไฮโดรคาร์บอนในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่จะศึกษาในเรื่องของปริมาณและชนิดที่พบ โดยไม่ได้ศึกษาถึงประวัติการสะสมและแนวโน้มการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนที่มีอายุน้อยไปจนถึงอายุมาก ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงแนวโน้มของการสะสมที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ ดังนั้นการศึกษาดังนี้จะทำให้ทราบการกระจายตัวของสาร PAHs และการสะสมที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นผลทำให้ทราบสถานะของสิ่งแวดล้อมที่เป็นที่มาของสาร PAHs ในบริเวณนี้ได้ดียิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษากปริมาณและชนิดของสาร PAHs ที่กระจายตามลำน้ำและที่สะสมตามลำดับความลึกของชั้นดินบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน ผลการศึกษาดังนี้ อาจจะเป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นในเบื้องต้นได้ว่าสถานะของการสะสมของสาร PAHs ในบริเวณนี้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการที่จะตระหนักถึงปัญหาที่อาจจะกำลังก่อตัวในปัจจุบัน และเพื่อจะได้เป็นแนวทางป้องกันควบคุมปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างรัดกุมมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการกระจายของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวน้ำ
2. ศึกษาการสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามลำดับความลึกของชั้นตะกอนดิน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ที่ทำการศึกษาได้แก่ บริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม จนถึงปากแม่น้ำท่าจีน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
2. ทำการเก็บตัวอย่างดินตะกอนโดยการกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างออกเป็น 4 บริเวณ ดังนี้
 - 2.1 บริเวณตามลำน้ำตั้งแต่อำเภอนครชัยศรี จนถึงปากแม่น้ำท่าจีน จำนวน 11 สถานี
 - 2.2 บริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำ จำนวน 2 สถานี
 - 2.3 บริเวณคลองมหาชัย จำนวน 3 สถานี
 - 2.4 บริเวณคลองสุนัขหอน จำนวน 3 สถานี
3. ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงการปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนตามลำน้ำ
2. ทราบถึงการสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในชั้นดินตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดแนวทางการควบคุมและป้องกันปัญหามลพิษในแม่น้ำท่าจีน

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สภาพทั่วไปของแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่บ้านปากคลองมะขามเต่า อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม แล้วลงสู่อ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร โดยมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 325 กิโลเมตร ตลอดฝั่งแม่น้ำท่าจีนจะมีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์พื้นที่ดินโดยเฉพาะจะมีตึก บ้าน ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรมอย่างหนาแน่นตลอดริมแม่น้ำ แม่น้ำท่าจีนเป็นแหล่งรองรับสิ่งปฏิกูลของเสียจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งที่ระบายโดยตรงและที่ระบายตามคลองสาขาต่าง ๆ จำนวนหลายคลอง เช่น คลองภาษีเจริญ คลองมหาชัย และคลองสุนัขหอน ในที่สุดสิ่งปฏิกูลของเสียเหล่านี้ก็จะไปสะสมบริเวณปากแม่น้ำทำให้เกิดปัญหามลภาวะทางดิน และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศปากแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นแหล่งรวมของสรรพสิ่งมีชีวิตนานาชนิดทั้งพันธุ์พืชป่าชายเลนและสัตว์นานาชนิดไม่ว่าจะเป็นกุ้ง ปู หอย ปลาและสัตว์หน้าดิน ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์มาแต่อดีตก็จะได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก

2.1.1 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่างซึ่งเป็นบริเวณจังหวัดสมุทรสาครซึ่งเป็นจังหวัดหนึ่งในทั้งหมด 22 จังหวัดที่อยู่ติดชายฝั่งทะเล ตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำท่าจีนในพื้นที่ตอนล่างของภาคกลางติดต่อกับภาคตะวันออก ตั้งอยู่ประมาณเส้นรุ้งที่ 130 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 100 องศาตะวันออก ในเขตปริมณฑลนครหลวง ห่างจากกรุงเทพมหานครตามระยะทางรถไฟสายวงเวียนใหญ่-มหาชัยประมาณ 30 กิโลเมตร พื้นที่จังหวัดสมุทรสาครมีทั้งหมดประมาณ 851 ตารางกิโลเมตร โดยมีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	ติดจังหวัดนครปฐม
ทิศตะวันออก	ติดกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ
ทิศใต้	ติดอ่าวไทย
ทิศตะวันตก	ติดจังหวัดสมุทรสงครามและจังหวัดราชบุรี

2.1.2 สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ

สมุทรสาครเป็นจังหวัดที่มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการทำนาเกลือ ที่อยู่อาศัย พื้นที่บางส่วนจะมีการขุดคลองเพื่อนำน้ำจืดมาเพาะปลูก บางส่วนเป็นย่านธุรกิจ อุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย

ลักษณะภูมิอากาศทั่วไปคล้ายกับภาคกลางคือ ฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน และฤดูฝนตั้งแต่พฤษภาคมถึงตุลาคม ในระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม ส่วนใหญ่เป็นอากาศค่อนข้างหนาว แต่ในช่วงฤดูร้อนก็จะไม่ร้อนจัดเนื่องจากมีลมมรสุมพัดผ่าน อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26-28 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนทั้งปีประมาณ 1,400 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณฝนตกมากในเดือนสิงหาคมและกันยายน

2.1.3 สภาพการใช้ที่ดิน

สภาพการใช้ที่ดินจะเน้นบริเวณปากแม่น้ำซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบโดยตรงต่อระบบนิเวศน์ โดยได้จัดการแบ่งประเภทการใช้ที่ดินไว้ 9 ประเภท ดังสรุปในตาราง

ตารางที่ 2.1 พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณ อำเภอ จังหวัดสมุทรสาคร

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2536		พ.ศ. 2539		การเปลี่ยนแปลง 3 ปี	
	กม ²	ไร่	กม ²	ไร่	กม ²	ไร่
1. ป่าชายเลนฝั่งแม่น้ำ	5.46	3,431.25	7.01	4,381.25	+1.52	+950.0
2. ป่าชายเลนด้านใน	50.35	31,468.75	51.69	32,306.25	+1.34	+837.5
3. นาทุ่ง บ่อปลา	292.46	182,787.50	282.12	176,325.00	-10.34	-6,462.5
4. นาเกลือ	10.52	6,575.00	19.17	11,981.25	+8.65	+5,406.25
5. ที่นา	69.13	43,206.25	63.68	39,800.00	-5.45	-3,405.25
6. สวนผลไม้	26.00	16,250.00	22.98	14,362.50	-3.02	-1,887.5
7. พื้นที่อุตสาหกรรม	2.26	1,412.50	2.43	1,518.75	+0.17	+106.26
8. ที่อยู่อาศัย	27.80	17,375.00	39.25	24,531.25	+11.45	+7,156.25
9. สนามกอล์ฟ	0.68	425.00	0.68	425.00	-	-
10. พื้นที่อื่น ๆ	7.35	4,593.75	3.03	1,893.75	-4.32	-2,700.00
รวม	492.04	307,525.00	492.04	307,525.00	+เพิ่มขึ้น	- ลดลง

ที่มา สนิท อักษรแก้ว และคณะ (2542)

ป่าชายเลน

ป่าชายเลนบริเวณนี้จะอยู่ติดกับชายฝั่งทะเล ตลอดแนวชายฝั่ง พบว่าพื้นที่ป่าชายเลนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2536 ซึ่งมีประมาณ 3,431 ไร่ เป็น 4,381 ไร่ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ป่าชายเลนที่ยังกระจายอยู่ภายในบริเวณนาทุ่งร้างอีกจำนวนหนึ่งด้วย

นาทุ่ง

นาทุ่งได้ถูกดำเนินการเป็นพื้นที่นาทุ่งติดต่อกัน แต่ภายหลังบางแห่งก็เปลี่ยนมาเป็นบ่อปลาหรือเป็นนาเกลือและที่อยู่อาศัย

นาเกลือ

พื้นที่จังหวัดสมุทรสาครนับว่านิยมทำนาเกลือโดยเฉพาะบริเวณอำเภอเมือง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

พื้นที่นา

พื้นที่ทำนาข้าวและข้าวเหนียวมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แต่ก็ยังปลูกกันเป็นบริเวณกว้าง

พื้นที่สวนผลไม้

พื้นที่สวนผลไม้รวมถึงเนื้อที่เพาะปลูกไม้ผล ซึ่งรวมถึงมะพร้าว มะม่วง องุ่น ชมพู ฝรั่ง ส้มเขียวหวาน มะละกอ และส้มโอ เป็นต้น และพื้นที่ปลูกพืชผักต่าง ๆ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 16,250 ไร่ ในปี พ.ศ. 2536 และลดลงเล็กน้อยในปี พ.ศ. 2539 ซึ่งมีประมาณ 14,363 ไร่

พื้นที่อุตสาหกรรม

พื้นที่อุตสาหกรรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร มีทั้งหมดประมาณ 1,413 ไร่ ในปี พ.ศ. 2536 และขยายขึ้นเล็กน้อยในปี พ.ศ. 2539 เป็น 1,519 ไร่ ประกอบด้วยอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เครื่องดื่ม สิ่งทอ ผลิตภัณฑ์จากไม้ กระดาษ ผลิตภัณฑ์โลหะ และเคมีภัณฑ์ เป็นต้น

พื้นที่อยู่อาศัย

พื้นที่ที่อยู่อาศัยได้ขยายเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากกล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2536 มีพื้นที่ประมาณ 17,375 ไร่ และขยายเพิ่มขึ้นเป็น 24,531 ไร่ในปี พ.ศ. 2539

พื้นที่สนามกอล์ฟ

เป็นพื้นที่ส่วนน้อย

พื้นที่ประเภทอื่น

เป็นพื้นที่นอกเหนือจากที่กล่าวแล้วข้างต้นรวมถึงแหล่งน้ำด้วย

2.1.4 สังคมและเศรษฐกิจ

จังหวัดสมุทรสาครมีประชากรทั้งสิ้น 399,072 คนโดยอาศัยอยู่ในเขตเทศบาลประมาณร้อยละ 27.2 นอกนั้นอาศัยอยู่ในชนบท

สภาพเศรษฐกิจทั่วไป จากรายงานผลิตภัณฑ์ภาคและจังหวัดสมุทรสาคร ในปี พ.ศ. 2538 โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พบว่าเศรษฐกิจของจังหวัด

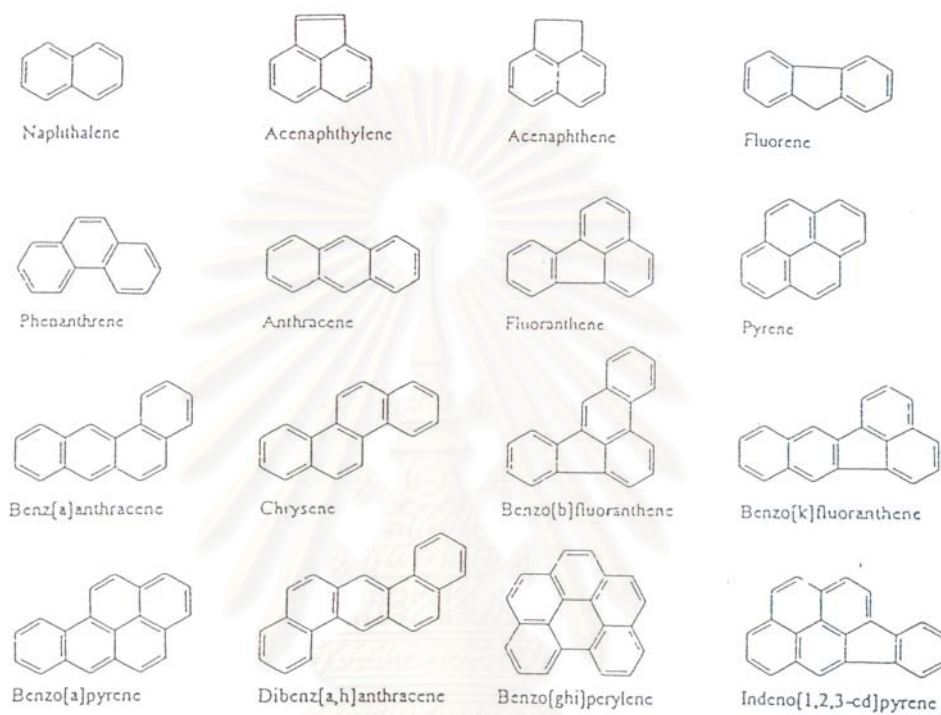
สมุทรสาครขยายอย่างรวดเร็ว โดยมีรายได้ต่อหัวประมาณ 212,700 บาท ซึ่งนับว่าสูงเป็นอันดับสามของประเทศ และมีมูลค่าผลิตภัณฑ์จังหวัดเป็นสาขาอุตสาหกรรมมากที่สุด รองลงมาคือ สาขาเกษตรกรรม สาขาการค้าส่งและค้าปลีกและอื่น ๆ ตามลำดับ ดังจะเห็นได้ว่าจังหวัดสมุทรสาครมีกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรมดำเนินกิจการอยู่เป็นจำนวนมาก ดังตารางที่ ๓.๑ สรุปสถิติโรงงานอุตสาหกรรมปี พ.ศ 2541 จังหวัดสมุทรสาคร จำแนกตามหมวดอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาคผนวก ๓

2.2 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ Polynuclear aromatic hydrocarbons หรือ polyarenes คือ กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการต่อกันของวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปในลักษณะที่เป็นเส้นตรง มุม หรือรวมกันเป็นกลุ่ม และมีเฉพาะ C และ H เท่านั้นที่เป็นองค์ประกอบ และมักจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน แหล่งกำเนิดของสาร PAHs คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของถ่านหิน น้ำมันและแก๊ส ขยะและอินทรีย์สารต่าง ๆ กิจกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ (anthropogenic source) และการเผาไหม้ของป่า (Dung, 1996) สาร PAHs หลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง (Grariviat, 1999) สามารถแพร่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งในอากาศ น้ำ และดิน PAHs มีมากกว่า 100 ชนิด แต่ละตัวมีผลกระทบต่อสุขภาพไม่แน่นอน ขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความสามารถในการละลายน้ำและโครงสร้างโมเลกุล

สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency , EPA) ได้กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิดเป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้น ได้แก่ naphthalene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene , benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene (Grariviat,1999) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

สาร PAHs โดยทั่วไปเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ และจะอยู่ในรูปของสารประกอบที่ซับซ้อน แต่ PAHs ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมักจะมีอยู่ในรูปเดี่ยว ๆ โดยทั่วไปเป็นสารที่ไม่มีสี อาจจะมีสีขาวหรือของแข็งที่เป็นสีเหลืองอมเขียวจาง ๆ และมีกลิ่น



ภาพที่ 2.1 สาร PAHs ที่กำหนดอยู่ในรายชื่อสารพิษของ U.S. EPA (Grariviat, 1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

ส่วนใหญ่สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ของแข็งจะไม่ละลายในน้ำ ส่วนสารประกอบที่มีความบริสุทธิ์และเป็นสารประกอบเดี่ยวจะกลายเป็นไอได้ที่ความดัน 10^{-4} torr (3 วง) – 10^{-12} torr (7 วง) และสารประกอบ PAHs สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดีที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 – 400 นาโนเมตร

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสาร PAHs

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

ที่มา Boonyatumanond (1999)

2.2.2 แหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

แหล่งกำเนิดของสาร PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

1. ธรรมชาติ (Natural source) เช่น ภูเขาไฟระเบิด ไฟป่า จากการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เรียกว่าชานิด มาจากพืชชั้นสูง หรือเกิดจากการย่อยสลายจาก triterpenoid หรือ steroid ในตะกอนดินที่ทับถมกัน ซึ่ง triterpenoid มีสารตั้งต้นเป็นกลุ่ม aliphatic isoprenoid ตัวที่เรียกว่า squalene ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำมันดิบ และมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบ (Eglinton และคณะ, 1969) สาร PAHs ที่พบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจาก triterpenoid ได้แก่ perylene ซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก triterpenoid ถึง 30 – 70 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในพืชชั้นสูงที่มี triterpenoid ก็จะสามารถที่จะสังเคราะห์สาร PAHs ได้ โดยมีสารเริ่มต้นเป็น α -amyrin หรือ β -amyrin ซึ่งสารทั้งสองตัวสามารถใช้เป็นดัชนีบอกถึงแหล่งที่มาของสารที่กำเนิดมาจากธรรมชาติ (Budzinski และคณะ, 1997)

2. การกระทำของมนุษย์ (anthropogenic source) เช่น การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง 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 มีความเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนเนื่องมาจากการหกของน้ำมันจากแท่งการเดินเรือ และมีการถ่ายเทไปยังบริเวณซึ่งทำให้เกิดการรั่วซึมได้ เช่น การสำรวจและขุดเจาะน้ำมัน หรือการรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน จะทำให้มีปริมาณสาร PAHs ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ มากกว่าปกติ ซึ่งสามารถทำให้เกิดพิษขับปล้นกับสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นได้ง่ายและยังทำให้เกิดการก่อตัวเป็นสารก่อมะเร็งและสารเปลี่ยนพันธุกรรมได้ในปริมาณที่น้อย พบว่าน้ำมันดิบที่รั่วไหลออกมามีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบอยู่มาก โดยสามารถจำแนกประเภทของสาร PAHs จากกิจกรรมของมนุษย์ตามกระบวนการของการเกิดได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ ดังนี้ (Page และคณะ, 1999)

1. สาร PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (Petrogenic PAHs) คือ สาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยคุณสมบัติที่พบบ่อยคือ เป็นสารที่เป็นกลุ่มโมเลกุลหลักของ PAHs (Parent) ได้แก่ naphthalene fluorene phenanthrene dibenzothiophene และ chrysene ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 2 – 4 วง กับกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่ในโมเลกุล โดยที่พบว่าปริมาณของสารกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่มักจะมีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มหลักๆ

2. PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหินหรือน้ำมัน และจากไฟไหม้ป่า โดยโมเลกุลที่มักพบจะเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs โดยมีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 3 – 5 วง มักจะพบ fluoranthene และ pyrene

2.2.3 การกระจายของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

สาร PAHs แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น

- ในอนุภาคในบรรยากาศ (Airborne particulate matter) เป็นอนุภาคที่ประกอบขึ้นจากสารประกอบแข็งของแข็งและของเหลว และมี PAHs เป็นองค์ประกอบร่วมด้วยความสามารถในการถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยแสงของสาร PAHs ขึ้นกับอนุภาคที่ไปเกาะติดอยู่ โดยที่สารประกอบเหล่านี้มาจากหลาย ๆ แหล่ง และอนุภาคเหล่านี้ก็ถูกปล่อยออกสู่อากาศ และแพร่กระจายไปทั่วสิ่งแวดล้อมนั้น โดยมนุษย์จะสามารถสัมผัสได้กับ PAHs ได้ง่ายจากการหายใจเอาสาร PAHs ในบรรยากาศเข้าไป ทำให้มีโอกาสที่จะทำให้เกิดเป็นมะเร็งได้ง่าย

- ในดิน (Soil) สารประกอบ PAHs เป็นสารที่กระจายอยู่ในดินได้เป็นบริเวณกว้าง และยังพบว่าสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลจากบริเวณที่อยู่อาศัย และโรงงานอุตสาหกรรม และเชื่อว่าปริมาณของสารประกอบ PAHs ส่วนใหญ่มาจากการปล่อยควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และพบว่าต้นไม้และพืชผักสามารถที่จะดูดซึมสารประกอบ PAHs จากในดินที่มีสารประกอบนี้ปนเปื้อนอยู่ได้เช่นกัน

- ในน้ำ (Water) สารประกอบ PAHs สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วในแหล่งน้ำเนื่องจากสารประกอบนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากการที่อนุภาคที่ถูกขนส่งทางอากาศตกลงสู่ผิวน้ำ หรือจากการดูดซับที่ผิวน้ำที่สัมผัสโดยตรงกับสารประกอบเหล่านี้ในบรรยากาศ และจากน้ำเสีย และมลภาวะเหล่านี้ก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เนื่องจากการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค

- ในตะกอนดิน (Sediment) สารประกอบ PAHs กระจายตัวอยู่ในน้ำและเกิดการรวมตัวกันเกิดการตกตะกอนไปสะสมอยู่ในตะกอนดินซึ่งมักจะพบว่ามีความมากกว่าในบริเวณผิวน้ำประมาณ 2-5 เท่า

- ในตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (Sewage sludge) ซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากบ้านเรือน

- ในปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petroleum and its products) สารประกอบปิโตรเลียมหรือที่เรียกกันว่า น้ำมันดิบ (crude oil) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติจากการทับถมกันของซากอินทรีย์ภายใต้พื้นผิวโลกเป็นเวลาหลายล้านปี เป็นสารที่มีสารประกอบ PAHs เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และมักจะเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ของสารประกอบนี้ที่จะสะสมอยู่ในตะกอนดิน ดังนั้นน้ำมันที่เหลือใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะบริเวณที่มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่น และมีโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาก เนื่องจากต้องการใช้น้ำมันในกิจกรรมต่าง ๆ ปริมาณที่มาก ผลกระทบที่เกิดจากการใช้น้ำมันก็มากขึ้นตามลำดับ การปนเปื้อนของน้ำมันในแม่น้ำ มีสาเหตุมาจากหลายประการ ได้แก่

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

2.2.4 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม

The U.S. Department of Health and Human Services (Grariviat,1999) ได้สรุปว่า PAHs อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็ง PAHs หลายตัว เช่น benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthrene, chrysene, dibenzo(a,h)anthracene และ indeno(1,2,3-cd)pyrene เป็นสาเหตุของการเกิดเนื้องอก จากการทดลองในห้องปฏิบัติการกับสัตว์ทดลอง เมื่อให้สัตว์กิน ได้รับทางผิวหนังหรือหายใจเอาอากาศที่มีสารเหล่านี้เข้าไปเป็นระยะเวลานาน สำหรับมนุษย์นั้นมียางานว่าการได้รับสารเหล่านี้โดยทางเดินหายใจ หรือผิวหนังสัมผัสกับสารผสมของ PAHs เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดโรคมะเร็งได้

2.2.4.1 ผลกระทบต่อมนุษย์

PAHs สามารถที่จะเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้โดยทางเดินหายใจ การหายใจเอาอากาศที่มี PAHs เจือปนเข้าไป สำหรับคนที่อยู่ใกล้กับแหล่งขยะอันตราย การดื่มน้ำที่ การกินอาหารดิน หรืออนุภาคฝุ่นที่มี PAHs เจือปน ก็เป็นอีกทางหนึ่งที่ร่างกายได้รับ PAHs ภายใต้อากาศปกติ PAHs ก็เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยถ้าหากผิวหนังไปสัมผัสกับดินที่มี PAHs เจือปนอยู่ในระดับที่สูง

PAHs เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ง่ายและรวดเร็วทุก ๆ ทาง อัตราการเข้าสู่ร่างกายจะสูงขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของ Oil mixture และจะเข้าสู่เนื้อเยื่อจนถึงชั้นไขมัน และมีการสะสมอยู่ในไต ตับ และไขมัน เป็นส่วนมาก บางส่วนก็สะสมอยู่ในร่างกายได้ไม่นานมาก เนื่องจากจะถูกขับถ่ายออกโดยทางปัสสาวะและอุจจาระ PAHs แพร่กระจายอยู่ตามสภาพแวดล้อมมนุษย์อาจได้รับสารเหล่านี้ทั้งภายในบ้าน นอกบ้าน หรือที่ทำงาน และไม่ใช่ว่าจะได้รับ PAHs เพียงตัวเดียวแต่จะได้รับ PAHs ที่เป็นสารผสมรวมกันหลาย ๆ ตัว ในสภาพแวดล้อมมนุษย์จะได้รับ PAHs มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ไอเสียจากยานพาหนะ ถนนลาดยางมะตอย (Asphalt road) ถ่านหิน (Coal tar) ไฟป่า (Wildfire) การเผาพืชพันธุ์ทางการเกษตร และขยะอันตราย ในชนบทสามารถตรวจวัด PAHs ในระดับปกติประมาณ 0.02 – 1.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มนุษย์อาจได้รับ PAHs ที่ปะปนอยู่ในดินที่อยู่บนหรือใกล้ ๆ กับแหล่งขยะอันตราย เช่น โรงงานผลิตแก๊สเก่า โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์รักษาเนื้อไม้ PAHs ยังพบในแหล่งน้ำดื่มซึ่งในสหรัฐอเมริกาพบว่ามี PAHs อยู่ในน้ำดื่มประมาณ 4-24 นาโนกรัมต่อลิตร (Grariviat, 1999)

2.2.4.2 ผลกระทบต่อสัตว์ทะเล

จากการศึกษาของ Shore และคณะ (1999) พบว่า นกทะเลที่อยู่บริเวณชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำมันที่รั่วไหลมาจากเรือบรรทุกน้ำมันบริเวณ Exxon Valdez ซึ่งเป็นน้ำมันดิบ พบว่าทำให้นกทะเลหลายชนิดได้รับผลกระทบต่อไข่และตัวอ่อนของนกรวมทั้งการพัฒนากายของการฟักไข่ของนก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยปริมาณของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.3

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(9h)
Chrysene Sandworm	>1,000	LC-50(9h)
Dibenzo(a,h)anthracene Sandworm	>1,000	LC-50(9h)
Fluoranthene Sandworm	500	LC-50(9h)
Fluorene Grass shrimp, <i>Palaemonetes Pugio</i> Amphipod, <i>Gammarus Psuedoliminaeus</i> Sandworm Sheepshead minnow, <i>Cyprinodon variegatus</i>	320 600 1,000 1,680	LC-50(9h) LC-50(9h) LC-50(9h) LC-50(9h)
Naphthalene Copepod, <i>Eurytemora affinis</i> Pink salmon, <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , fry Dungeness crab, <i>Cancer magister</i> Grass shrimp Sheepshead minnow	50 920 2,000 2,400 2,400	LC-30(10d) LC-50(24h) LC-50(96h) LC-50(96h) LC-50(96h)
1-Methylnaphthalene Dungeness crab, <i>Cancer</i> Sheepshead minnow	1,900 3,400	LC-50(96h) 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

2.2.4.3 ผลกระทบที่เกิดกับสัตว์ทดลอง

หนู Mice ที่กิน benzo(a)pyrene ระดับสูง ในช่วงระหว่างการตั้งท้องจะทำให้หนู Mice ที่ตั้งท้องซึ่งกิน benzo(a)pyrene เข้าไปจะแสดงอาการให้เห็นเช่น มีความผิดปกติขณะคลอด และ น้ำหนักลด อาจจะเหมือนกับผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์ แต่ไม่มีข้อมูลที่จะมาแสดงให้เห็นถึงผลกระทบนี้ ดังที่ได้มีการศึกษาในหนูหลาย ๆ ชนิด ดังตารางที่ 2.4

การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า PAHs เป็นสาเหตุถึงความเจ็บป่วยแก่ผิวหนัง และของเหลวในร่างกาย ส่งผลต่อความเจ็บป่วยหลังจากที่ได้รับ PAHs ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวอย่างไรก็ตามผลกระทบเหล่านี้ยังไม่มีรายงานในมนุษย์

ตารางที่ 2.4 ผลกระทบของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง

PAHs	ขนาดที่ได้รับ	ผลที่เกิด
B(a)A	5มก. ต่อหนู 1 ตัวที่กำลังตั้งครรรภ์	ตัวอ่อนตายภายใน 1 วันและลดประสิทธิ ภาพของการผลิตฮอร์โมนเอสโตรเจน
B(k)F	0.1 หรือ 0.5 % ในอะซีโตนที่ทา ลงบนผิวของหนูตัวเมีย	8/20,3/20 จะตายภายใน 13 เดือน
B(ghi)P	0.2 มล. 0.01 % ในไดคลอโรมีเทน	32/50 ไม่มีการตาย 3/50 ไม่เป็นเนื้องอก
Chrysene	0.3% ใน benzene 440วัน สำหรับ หนู 20 , 50 และ 100 ตัว ถูกทาที่ บริเวณผิวหนัง	20/170 ไม่เป็นเนื้องอก 50/170 ทำให้เป็นหูด 30/170 ยังคงมีชีวิตอยู่จนถึง 6 เดือน

ที่มา Boonyatumanond (1999)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาร PAHs สิ่งแวดล้อมต่าง มีการศึกษากันมาก ในที่นี้จะกล่าวถึง การศึกษาในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาพอเป็นสังเขป ดังนี้

Page และ คณะ (1999) ศึกษาการสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากกิจกรรมการเผาไหม้ทำให้เกิดการสะสมของสาร PAHs ในตะกอนดิน บริเวณ Prince William Sound อ่าว Alaska โดยทำการศึกษาในบริเวณใกล้เคียงเพื่อที่จะทราบถึงประวัติกิจกรรมของมนุษย์ พบว่าในอดีตมีปริมาณสาร PAHs อยู่ในระดับที่สูงมาก สาเหตุมาจากการเกิดไฟไหม้ป่า ทำให้สาร PAHs ตกลงมาสะสมในตะกอนดินร่วมกับสาร PAHs ที่มีอยู่เดิมซึ่งมาจากธรรมชาติ

คือจากการรั่วซึมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มาจากบริเวณทางตะวันออกเฉียงของอ่าว Alaska นอกจากนี้ก็ยังมีสาร PAHs ส่วนหนึ่งมาจากละอองน้ำมันที่มาจาก Exxon Valdez ซึ่งเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณสาร PAHs ทั้งหมด

Kim และ คณะ (1999) ศึกษาการกระจายและแหล่งที่มาของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณอ่าว Kyeonggi ประเทศเกาหลี พบว่าปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในระดับต่ำจนถึงปานกลาง ค่าเฉลี่ย 120 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การกระจายของสาร PAHs พบว่ามีความเข้มข้นมากที่สุดบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดและจะมีปริมาณน้อยลงเมื่อห่างแหล่งกำเนิดออกไป

Oanh และ คณะ (1999) ศึกษาการปล่อยสาร PAHs และ Particulate Matter ออกมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในครัวเรือนบริเวณ Southeast Asia โดยการวัดจากการปล่อยควันเสียของเตา 3 ชนิดที่ใช้ในบ้านเรือนได้แก่ Eucalyptus wood sticks open burning, charcoal stove, coal briquette วิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC/FID พบว่าปริมาณสาร PAHs ที่ถูกปล่อยออกมาจาก wood burning มีปริมาณมากที่สุดและพบว่ามีทั้งหมด 18 ชนิด มี 11 ชนิดที่มีผลทางด้านพันธุกรรม ในขณะที่ charcoal stove จะให้ปริมาณสาร PAHs ที่น้อยที่สุด จากการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการเผาไหม้โดยใช้ charcoal fuel เป็นระบบที่ก่อให้เกิดมลพิษเนื่องสาร PAHs น้อยที่สุด

Escartin และ Porte (1999) ศึกษาปริมาณสาร PAHs ที่พบในตัวของปลาที่อยู่บริเวณทะเลลึก (1500 – 1800 ม.) จำนวน 5 ชนิด บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ Mediterranean ทำการวิเคราะห์น้ำมันในตับโดยเทคนิค HPLC-fluorescence ที่ความยาวคลื่น 380/430 นาโนเมตร และวิเคราะห์ PAHs บางตัวโดย GC-MS ได้แก่ 1-Pyrenol และ 2-phenylphenol จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า PAHs สามารถถูกขนส่งทางอากาศไปได้เป็นระยะทางไกล ๆ ไปยังทะเลลึกและสามารถเข้าไปสะสมในตับปลา ส่งผลต่อเมตาบอลิซึมและถูกสะสมอยู่ในตับและยังเป็นผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในตับ

Baumard และ คณะ (1998) ศึกษาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs และปริมาณสาร PAHs ที่พบในหอยประเภทที่ถูกเลี้ยงไว้ในบ่อ โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ผิวหน้าและหอยชนิด

Mytilus galloprovincialis ที่บริเวณอ่าว Arcachon ประเทศฝรั่งเศส จากการศึกษาพบว่าปริมาณการปนเปื้อนของสาร PAHs ในทุกบริเวณจะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน คือ มีปริมาณการปนเปื้อนอยู่ในช่วงปานกลางจนถึงระดับที่สูงมาก 900 – 41,000 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง บริเวณต่ำสุดคือ บริเวณทางที่เข้าสู่อ่าว ประมาณ 30 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และสรุปได้ว่า แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในบริเวณนี้มาจากการเผาไหม้เป็นส่วนใหญ่ และเป็นการเผาไหม้ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ และจากการศึกษาปริมาณของสาร PAHs ที่หอยได้รับสรุปได้ว่า ปริมาณการ

ปนเปื้อนที่พบในหอย จะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับและปริมาณการปนเปื้อนในบริเวณนั้น ๆ ด้วย

Su และ คณะ (1998) ศึกษาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตะกอนดินที่ทราบอายุบริเวณอ่าว Green เมือง Wisconsin โดยการนำ chemical mass balance model เพื่อที่จะหาแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้ของสาร PAHs จากการทดลองพบว่าปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วงระหว่าง 8.04-0.46 ppm. และหาอายุของตะกอนโดยใช้ Pb^{210} และ Cs^{137} เป็นตัวบอกอายุของตะกอนและวิเคราะห์หา elemental carbon particle เพื่อที่จะหาลักษณะของตะกอนที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ จากการเผาไหม้ถ่านหิน ไม้ และเชื้อเพลิงปิโตรเลียม พบว่าแหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สะสมอยู่บริเวณอ่าวนี้ มาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน ฝุ่นที่มาจากถนน และการเผาไหม้ของป่าไม้

Sharma และ คณะ (1997) ศึกษาการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินบริเวณตอนบนของ Laguna Madre พบว่าปริมาณสารอะโรมาติกที่สะสมในดินมีค่าดังนี้ benzene 30.8 – 44.5 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง Methyl-naphthalene 9.4 – 81 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ Dimethyl-naphthalene 8.5 – 721 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แหล่งที่มาของสารอะโรมาติกได้แก่ การรั่วไหลจากบ่อน้ำมัน ท่อน้ำมัน และน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม

Fernandes และ คณะ (1997) ศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ในแม่น้ำ Seine และในบริเวณเอสตูรี โดยการเก็บตัวอย่าง Dissolved และ Particulate PAHs โดยเก็บในกรอบคลุมช่วงความเค็มตั้งแต่ 0.2 – 34.8 ppt. Total particulate PAHs มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 2 – 687 นาโนกรัมต่อลิตร ปริมาณที่พบมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของ suspended solid และการกระจายตัวซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเกิด mixing ในบริเวณเอสตูรี และความเข้มข้นในรูปของสารละลายของ PAHs มีค่าเท่ากับ 4 – 36 นาโนกรัมต่อลิตร

Bernard และ คณะ (1996) ศึกษาการกระจายตัวและแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในตะกอนดินผิวหน้าบริเวณทะเลสาบ ที่มีระบบนิเวศน์เป็นป่าชายเลน บริเวณเกาะคาริบเบียน Guadeloupe พบว่าปริมาณของสาร PAHs อยู่ในช่วงระหว่าง 103-1,656.5 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs มาจากขบวนการเผาไหม้ ขนาดของโมเลกุลที่พบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงขนาดปานกลางจนถึงโมเลกุลใหญ่

Wakeham (1996) ศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณทะเลสาบ พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 200 - 1,250 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ในบริเวณเดียวกัน) และปริมาณจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น โดยมีความเข้มข้นรวมอยู่ในช่วง 10 – 1,000 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง พลั๊กซ์ของ PAHs มีค่าประมาณ 0.5 ไมโครกรัมต่อ

ตารางเมตรต่อปี

Al-Lihaibi และ Omran (1996) ศึกษาปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณตอนกลางของชายฝั่งอ่าวซึ่งอยู่ระหว่าง Kuwait , King of Saudi Arabia , Qatar , United Arab Emirates และ Islamic Republic of Iran เนื่องจากในอ่าวนี้เป็นแหล่งทะเลที่รู้จักกันดีว่าเป็นเส้นทางขนส่งลำเลียงทางเรือเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการถ่าน้ำมันลงสู่ทะเลมากกว่าที่มาจากกิจกรรมบนบก จากการศึกษาพบว่าปริมาณสาร PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4.0 – 56.2 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.3 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และพบว่าความเข้มข้นสูงสุดพบในบริเวณทางตะวันตกเฉียงเหนือและปริมาณจะลดลงทางตะวันตกเฉียงใต้ และไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนกับปริมาณสารอินทรีย์และลักษณะของเนื้อดินแต่มีความสัมพันธ์กับกระแสน้ำและแหล่งกำเนิดของสารมากกว่า ถึงแม้ว่าปริมาณของน้ำมันที่ลงสู่ทะเลบริเวณนี้มีมาก แต่ปริมาณสาร PAHs ที่ตรวจพบมีปริมาณน้อยอาจจะเนื่องมาจากขบวนการทางฟิสิกส์ และชีววะ เข้ามาช่วยเร่งทำให้มีการย่อยสลายเอาสารปิโตรเลียมออกจากทะเลได้เช่นกัน

Shchekaturina และ คณะ (1995) ศึกษาปริมาณของสาร PAHs ที่มีสะสมในหอยบริเวณ Black Sea ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเลี้ยงหอยกันเป็นอุตสาหกรรมและเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ การศึกษาในครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่ต่างกันคือ บริเวณ Karadag Bay และ Crimean coast ซึ่งเป็นบริเวณที่ค่อนข้างสะอาด และ Sevastopol Bay เป็นบริเวณที่มีการปนเปื้อนที่เกิดจากน้ำมันมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน จากการศึกษาพบว่า สองบริเวณแรกจะมีปริมาณ PAHs เท่ากับ 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนบริเวณ Sevastopol Bay จะมีปริมาณมากกว่าคือ เท่ากับ 750 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งและเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Benzo(a)pyrene ซึ่งเป็นสารที่ก่อมะเร็ง กับบริเวณอื่น ๆ พบว่าปริมาณการปนเปื้อนในบริเวณนี้ยังน้อย จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าปริมาณสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในหอยแต่ละบริเวณมีปริมาณและชนิดต่างกันไปอาจจะขึ้นกับความแตกต่างของแหล่งที่มาของ PAHs

Guzzella และ Paolis (1994) ศึกษาปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินบริเวณ Adriatic Sea วิเคราะห์สาร PAHs โดยเทคนิค HPLC สรุปได้ว่า บริเวณที่มีมลพิษสูงได้แก่ River Delta ซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญมาจาก Po River และ Gulf of Trieste มีแหล่งกำเนิดมลพิษมาจากละอองน้ำมันที่มาจากแท่งคัปรวจน้ำมัน และปริมาณของสาร PAHs เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นพบว่าปริมาณการปนเปื้อนของสาร PAHs ยังอยู่ในระดับต่ำ

Christensen และ Zang (1993) ศึกษาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs บริเวณทะเลสาบ Michigan โดยดูการสะสมของตะกอน โดยเก็บตัวอย่างด้วย core จำนวน 4 core นำมาหาอายุของตะกอนโดยการวัดค่า ^{137}Cs และ ^{210}Pb และหาแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยหาจาก

multiple linear regression ของ U.S Energy จากการศึกษพบว่า PAHs ที่พบเกิดจากการเผาไหม้ มีค่า $4.6 - 9.3 \text{ ng/cm}^2 \text{ per } 10^{15} \text{ Btu}$ ขึ้นกับบริเวณที่เกิด เช่น กรณีของเชื้อเพลิงถ่านหิน ปริมาณ PAHs ที่พบจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อระยะไกลออกไปจากฝั่ง แต่ในกรณีของสาร ปีโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอนจะลดลงอย่างรวดเร็ว

Fowler และ คณะ (1993) ศึกษาการกระจายและปริมาณการปนเปื้อนของปีโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดิน หอยสองฝาและปลา บริเวณ คูเวต ซาอุดีอาระเบีย บาเรน สหรัฐอเมริกา และ โอมาน พบว่าบริเวณชายฝั่งซาอุดีอาระเบียตั้งแต่ Ras Al Khafji จนถึง Ras Al Ghar พบว่าปริมาณสาร PAHs อยู่ในช่วงระหว่าง $62 - 1,400$, $570 - 2,600$, $9.6 - 31$ ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับตะกอนดินผิวหน้า หอยกาบ และกล้ามเนื้อปลาตามลำดับ จากการสำรวจภาคสนามพบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs น่าจะมาจากการทำสงครามบริเวณที่ใกล้ ๆ กันห่างออกไปประมาณ 400 กิโลเมตร ซึ่งสงครามเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1991 การเผาไหม้ที่เกิดจากการทำสงครามครั้งนั้นเป็นที่มาของ PAHs ที่ลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลบริเวณนี้ เหมือนกับที่ตรวจพบได้ในหลายบริเวณ

Al-Yakoob และ คณะ (1993) ศึกษาความเข้มข้นของสาร PAHs 10 ชนิดในปลาโดยเลือกศึกษาในส่วนที่สามารถกินได้โดยเก็บตัวอย่างในเดือนเมษายน ปี 1992 เก็บตัวอย่างบริเวณทางตะวันตกของอ่าว Arabian ค่าเฉลี่ยโดยรวมของความเข้มข้นของ PAHs มีค่าเท่ากับ 105.3 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2.51 – 563.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าเท่ากับ 165.9, 91.7, 55.8 และ 108.6 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับบริเวณ North Abu Ali, South Abu Ali, Rennie Shoals และ Qatar ตามลำดับ สาร PAHs ตัวที่พบได้มากที่สุดคือ Pyrene และ Phenanthrene พบได้บ่อยที่สุดประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ในปลา ในขณะที่พบ chrysene และ benz(a)anthracene ในปริมาณที่น้อยประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปลาที่สำรวจทั้งหมด

Pendoley (1992) ทำการศึกษาไฮโดรคาร์บอนในหอยและในตะกอนดินบริเวณ Rowley Shelf (Western Australia) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ไกลจากแหล่งชุมชน พบว่าปริมาณของนอร์มัลอัลเคนในหอยนางรมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.0-4.9 ไมโครกรัมต่อกรัม ในตะกอนดินอยู่ในช่วง 0.015-0.050 ไมโครกรัมต่อกรัม ในขณะที่ความเข้มข้นของ PAHs ในหอยมีค่าเท่ากับ < 0.010 - 0.150 ไมโครกรัมต่อกรัม และในตะกอนดินมีค่าเท่ากับ < 0.005 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างต่ำมาก และแหล่งกำเนิดน่าจะมาจากเรือที่ตกปลา เรือพาณิชย์ นอกจากนี้ก็อาจจะมากับเรือขุดเจาะน้ำมัน ระดับความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนในบริเวณนี้ทำให้ทราบว่าในบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ unpollute เมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ทั่วโลก

Cocchieri และ คณะ (1990) ศึกษาปริมาณของสาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตประเภทที่มีเปลือกหุ้ม และปลาในบริเวณชายฝั่ง Italian central ทะเล Mediterranean โดยทำการศึกษาในปลา 14 ชนิดและในสัตว์ที่มีเปลือกหุ้ม 5 ชนิด พบว่าตลอดแนวชายฝั่งของอ่าว Naples พบว่ามีปริมาณของสาร PAHs ทั้งหมดในสิ่งมีชีวิตที่มีเปลือกหุ้มเท่ากับ 217 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก และมีค่าความเข้มข้นในช่วง 185 - 295 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก ในปลาทั้ง 14 ชนิดมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 94 - 1,930 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักเปียก จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าปริมาณสาร PAHs ที่สะสมในตัวสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ซึ่งพบมากบริเวณนั้น ๆ

Hellou และ คณะ (1990) ศึกษาปริมาณของสาร PAHs ที่พบในกล้ามเนื้อของแมวน้ำ 4 ชนิด และปลาวาฬ 6 ชนิด จากบริเวณ Northwest Atlantic เนื่องจากไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของสาร PAHs ในสัตว์ประเภทเลี้ยงลูกด้วยน้ำในบริเวณนี้ และจากการศึกษาครั้งนี้เมื่อเทียบน้ำหนักแห้งพบว่าปริมาณสาร PAHs ที่พบได้มากมีความสัมพันธ์กับแหล่ง นอกจากการศึกษาที่กล่าวแล้ว ก็ยังมีการศึกษาในบริเวณแอสทอรี่อื่น ๆ ในต่างประเทศดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การศึกษาปริมาณสาร PAHs ในตะกอนบริเวณเอสทูรีในบริเวณต่างๆในโลก

บริเวณที่ทำการศึกษา	พิสัย (ng/g น้ำหนักแห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ng/g น้ำหนักแห้ง)	รายการอ้างอิง
Kyeonggi Bay , Korea	9.1-1400	120	Kim และคณะ (1999)
San Diego Bay,USA*	80-20000	3000	Anderson และคณะ (1996)
Casco Bay,USA*	16-21000	2900	Kennicutt และคณะ (1994)
Penobscot Bay , USA*	290 - 8800	2600	Johnson และคณะ(1985)
Washington coast,USA*	29-460	200	Prahl and Carpenter (1983)
Passaic River , USA*	0.22-8000	150	Huntley และคณะ (1995)
Chesapeake Bay , USA*	0.56-180	52	Foster and Wright (1988)
Manukau Harbour,New Zealand*	16-5300	820	Holland และคณะ (1993)
Baltic sea*	720-1900	1200	Witt และคณะ (1995)
Adriatic Sea *	27-530	130	Guzzella and De Paolis (1994)
Adriatic Sea *	18-580	200	Caricchaia และคณะ (1993)
Western Mediterranean Sea *	180-3200	1300	Lipiatou and Saliot (1991)
Laguna Madra,United States	850-721000	-	Sharma และคณะ (1997)
Green Bay , Wisconsin	460-8040	6000	Su และคณะ (1997)
Caribbean island of Guadeloupe	103-1656.5	-	Bernard และคณะ (1996)
Charles River,MA	87,000-120,000	-	Kennish (1992)
New Bedford Harbour,MA	63,000	-	Kennish (1992)
Mouth of Danube River, Black Sea	200 - 1250	-	Wakeham และคณะ (1996)

* ที่มา Kim และคณะ (1999)

ตารางที่ 2.6 แสดงการศึกษาปริมาณสาร PAHs ในสิ่งมีชีวิตในบริเวณอื่น

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นระหว่าง (ng/g น้ำหนักแห้ง)	ความเข้มข้นเฉลี่ย (ng/g น้ำหนักแห้ง)	รายการอ้างอิง
Oyster Barataria Bay	-	1900	Wade และคณะ (1989)
Spider crabs	-	56	Wade และคณะ (1989)
หอย อ่าว Arcachon	900 – 41000	-	Baumard และ คณะ (1998)
Fish ,Arabian Gulf	2.51-563.6 $\mu\text{g kg}^{-1}$	105.3 $\mu\text{g kg}^{-1}$	AL-Yakoob และคณะ 1993)

สำหรับประเทศไทยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนดังนี้

วรัญญา วิรุฬห์ผล (2533) ศึกษาการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามความลึกของชั้นดินบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบสารในกลุ่มอะโรมาติกของทั้งสองบริเวณพบในช่วง 2.2-4.5 ไมโครกรัมต่อกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนกับระดับความลึกตามชั้นดิน ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการสะสมได้ชัดเจน

พรศรี สุทธนารักษ์ (2534) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนดินที่เก็บในบริเวณอุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยวิเคราะห์สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่แยกจากคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) พบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนรวม ในช่วง 0.06 – 0.87 และ 0.27 – 1.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ด้วยค่าเฉลี่ย 0.33 และ 0.69 ไมโครกรัมต่อกรัม ในเดือนตุลาคมและมิถุนายนตามลำดับ สาร PAHs ที่พบได้แก่ acenaphthene dibenzothiophene phenanthrene anthracene 1 – methylphenanthrene pyrene และ benzo(a)pyrene

เกศินี สรรวานิช (2534) ทำการศึกษาสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอนดินและหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินพบสารโพลีไซ-คลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) มีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2 – 6 วง โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 2.71 ± 0.46 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในเดือนสิงหาคม ตัวอย่างหอยแมลงภู่ สาร PAHs ที่พบ ได้แก่ naphthalene biphenyl 2,6-dimethylnaphthalene dibenzofuran fluoranthene pyrene และ chrysene โดยมีปริมาณในช่วง 12.5 – 81.0 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

จรรยา สารินทร์ (2537) ทำการศึกษาระยะโรมาติกในตะกอนดินตามลำดับความลึกของชั้นตะกอนที่เก็บจากบริเวณอ่าวไทยจำนวน 8 สถานี วิเคราะห์โดยวิธี GC ใช้คอลัมน์ชนิด Fused silica capillary และตัวตรวจวัดแบบ เฟลมไอโอไนเซชัน ผลการวิเคราะห์สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนกลุ่ม PAHs พบน้อยมากทั้งปริมาณและชนิด โดยที่สารส่วนใหญ่ที่พบคือ dibenzothiophene 1,2 dihydro-1-phenyl naphthalene และ 2-methylphenanthrene โดยมีปริมาณรวมของ PAHs ในตะกอนชั้นบนของแต่ละสถานีดังนี้ ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนสองสถานีมีค่าระหว่าง 38.72 - 123.52 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และในบริเวณชายฝั่งตะวันตกมีค่า 66.91 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง บริเวณชายฝั่งตะวันออกมีค่า 43.10 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง บริเวณอ่าวไทยตอนล่างมีค่า 13.63 - 67.31 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง

กฤตยาพร ทักษะทัต (2538) ศึกษาปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าปริมาณสาร PAHs รวมอยู่ในช่วง trace - 1.66 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม ปริมาณเฉลี่ยรวมตามการใช้พื้นที่ที่มีปริมาณสูงสุดในบริเวณชุมชน ตามมาด้วยบริเวณอุตสาหกรรมและเพาะเลี้ยง ปริมาณ PAHs เฉลี่ยตามระยะทางค่าสูงสุดอยู่ในบริเวณชายฝั่ง และลดลงตามระยะทางที่ห่างฝั่งตามลำดับ

เชาวน์ นกอยู่ (2538) ศึกษาการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน และตัวอย่างหอยแมลงภู่ ซึ่งเก็บจากบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน พบสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) มีจำนวน วง ตั้งแต่ 2 - 6 วง โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 1.93 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในเดือนพฤษภาคมและ 2.14 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในเดือนกันยายน สาร PAHs ที่พบได้แก่ naphthalene biphenyl 2,6 - dimethylnaphthalene fluorene anthracene 1-methylphenanthrene fluoranthene pyrene และ chrysene มีค่าความเข้มข้นของ PAHs แต่ละตัวอยู่ในช่วง 15.62 - 76.8 นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง แหล่งกำเนิดของสารไฮโดรคาร์บอนในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมัน โดยการปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากชุมชน น้ำทิ้งอุตสาหกรรม การคมนาคมทางเรือ และเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ส่วนที่เกิดจากการบวกรวมทางธรรมชาติ ได้แก่ การสังเคราะห์โดยแบคทีเรีย แพลงค์ตอนพืช และพืชชั้นสูง

กัลยา วัฒนยากร (2543) ศึกษาการปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทูรีแม่น้ำเจ้าพระยา ทำการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งแบบแผ่น และทดสอบด้วยวิธี HPLC พบว่า Empore^{em} Extraction Disk สามารถสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างทั้งน้ำจืด และน้ำทะเลที่มีระดับความเค็ม ตั้งแต่ 5 - 35 ppt ได้ดี โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% recovery) ของการสกัดสารอยู่ในช่วง 60 - 88 เปอร์เซ็นต์ สาร naphthalene และ anthracene มีค่าเปอร์เซ็นต์

ส่วนคืนกลับต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 60 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับความแปรปรวนของความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์สาร PAHs พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่า วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษาการปนเปื้อนของสาร PAHs ในแหล่งน้ำต่างๆ ได้ทั่วไป และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณของสาร PAHs พบว่า ในช่วงฤดูน้ำหลาก และช่วงฤดูแล้ง พบสาร PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน 2 – 3 วงเป็นส่วนใหญ่ เช่น naphthalene acenaphthene fluorene phenanthrene และ anthracene ซึ่งพบในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 0.37 ng/L โดยปริมาณสาร PAHs รวมที่พบในช่วงฤดูน้ำหลากสูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง

Boonyatumanond (1999) วิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำ โดยอาศัยเทคนิคไฮเปอร์ โฟร์แมน ลิควิท โครมาโตกราฟี เพื่อที่จะพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ ที่มีหน่วยตรวจวัดแบบกราดและโฟโตไดโอดอาร์เรย์ โดยศึกษาเงื่อนไขในการแยกสารประกอบ PAHs 16 ชนิด โดยระบบ gradient elution mode เทคนิคการสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนได้ถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิค โซลิทเฟส และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เช่น การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการผ่านเข้าระบบการสกัดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทดลองกับตัวอย่างน้ำประปาและน้ำจากแม่น้ำ นอกจากนั้นได้ทำการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการวิเคราะห์โดยการเติมสารที่ทราบความเข้มข้นลงในตัวอย่างจริง การหาความสามารถในการสกัดพบว่าสามารถวิเคราะห์ที่สนใจต่ำกว่า 1 นาโนกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นอยู่ในระดับที่สามารถพบในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมทั่วไป

วรารภรณ์ ศรีมูล (2544) ทำการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวน้ำที่เก็บจากอ่าวศรีราชา จ. ชลบุรี ผลการศึกษาพบสาร anthracene fluoranthene และ dibenzo(a,h)anthracene ในปริมาณที่สูงกว่า PAHsตัวอื่น ๆ ปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 1.31-3.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (เฉลี่ย 2.44 ± 0.73 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) การปนเปื้อนของสารไฮโดรคาร์บอนในบริเวณอ่าวศรีราชายังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับบริเวณที่มีปัญหามลภาวะทางน้ำมันจากบริเวณอื่นของโลก

บทที่ 3

วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการศึกษา

3.1 การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างตะกอนดินในเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน เริ่มเก็บตั้งแต่ อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม จนถึงปากแม่น้ำท่าจีน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร โดยกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 4 บริเวณคือ บริเวณตามลำน้ำ (T1 – T11) ตั้งแต่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม จนถึงปากแม่น้ำท่าจีน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร บริเวณคลองมหาชัย (M1 – M3) บริเวณคลองสุนัขหอน (D1 D2 และ C3) บริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำ (C1 และ C2) รวมทั้งสิ้น 19 สถานี ดังนี้ (แผนที่ประกอบแสดงดังรูปที่ 3.1)

สถานี	สถานที่	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (กิโลเมตร)
T1	วัดกำพ้อ	2
T2	ท่าเรือเทศบาล	6.5
T3	วัดศรีเมือง	14.7
T4	วัดพันธุวงษ์	19.6
T5	วัดอ่างทอง	28.6
T6	วัดนางสาว	41.2
T7	วัดเทียนดัด	48.2
T8	วัดบางช้างใต้	55.3
T9	วัดมงคลจินดาราม	68.7
T10	วัดหอมเกร็ด	79
T11	วัดประชานารถ	86
		ระยะห่างจากแม่น้ำท่าจีน (กิโลเมตร)
M1	วัดเจษฎาราม	2
M2	วัดบูรณาวาส	4
M3	วัดโสภณาราม	5.2

สถานี	สถานที่	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (กิโลเมตร)
D1	วัดเจริญสุขาราม	3.2
D2	วัดวิสุทธิาราม	7.5
C1	ปากอ่าวมหาชัยฝั่งตำบลโคกขาม	
C2	ปากอ่าวมหาชัยฝั่งตำบลบางหญ้าแพรก	
C3	วัดหงส์อรุณรัศมี ห่างจากลำน้ำท่าจีน 2.5 กม.	

3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนดินในเดือน มีนาคม – เมษายน พ.ศ. 2543 จำนวน 1 ครั้ง

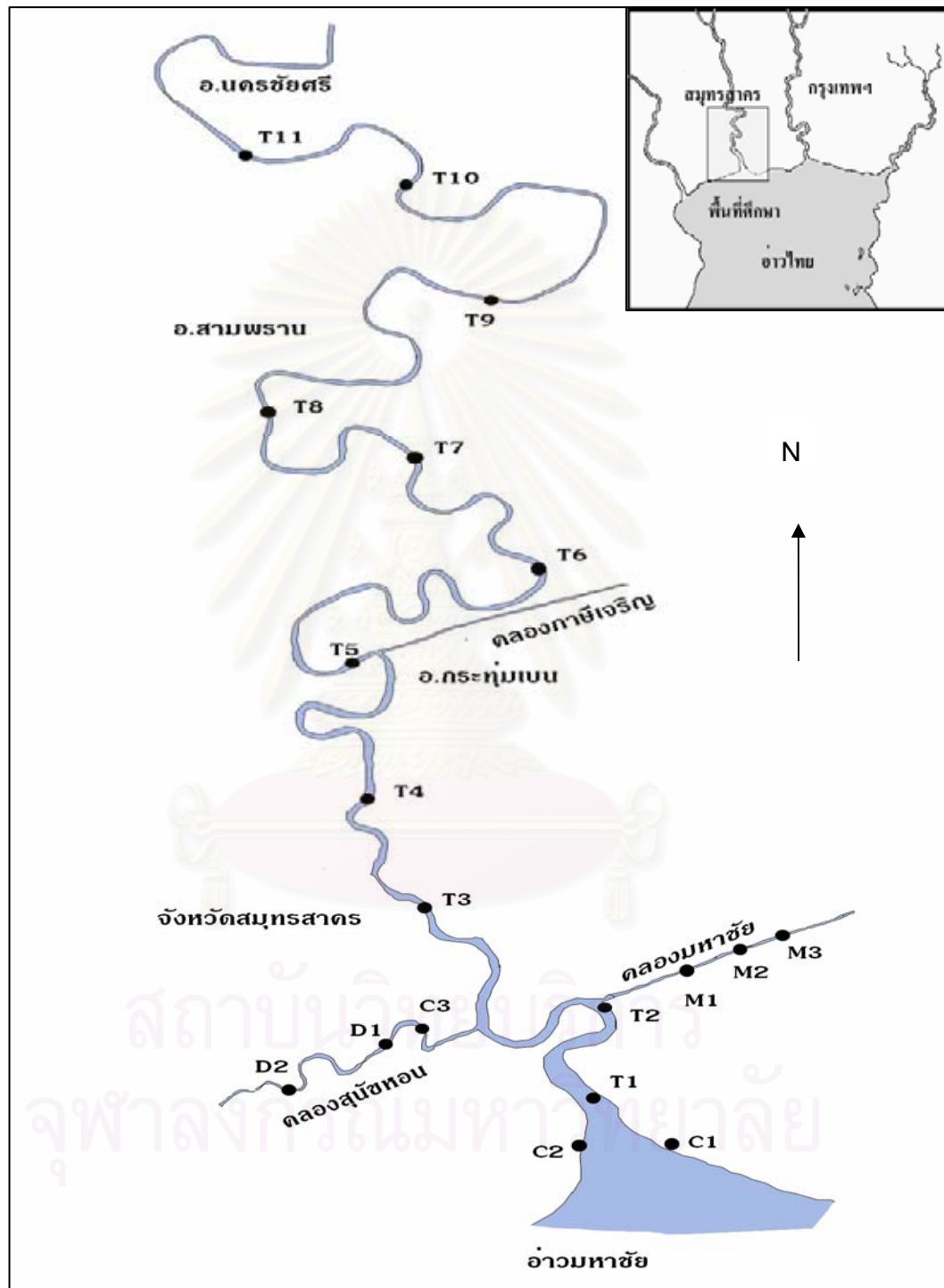
3.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

1. ตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า

เก็บตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าที่สถานีที่ T1 – T11 M1- M3 และ D1-D2 โดยใช้ที่ตักดินแบบ Petersen grab ตักตะกอนดินขึ้นมา 3 ครั้ง วัดค่า pH และ Eh ของตะกอนดิน แล้วช้อนเอาเฉพาะผิวหน้าของตะกอนดิน (0 – 5 เซนติเมตร) มาผสมกัน แล้วบรรจุใส่ขวดแก้วปากกว้าง ปิดฝาและแช่แข็งไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2. ตัวอย่างตะกอนดินตามความลึก

เก็บตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกที่สถานี C1 C2 และ C3 โดยใช้ Modified Box corer ที่มีขนาดกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 20 x 20 x 39 ซม. กดลงบนดินเลนนำตัวอย่างตะกอนดินตามชั้นความลึกที่ได้มาตัดแบ่งหน้าชั้นละ 3 ซม. วัดค่า pH และ Eh ของตะกอนดิน แยกบรรจุใส่ขวดแก้วปากกว้าง ปิดฝาและแช่แข็งไว้เพื่อรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.1 สถานีเก็บตัวอย่างบริเวณแม่น้ำท่าจีน คลองมหาชัย และคลองสุพรรณ

3.4 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนดิน

3.4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) ทิมเบิล (Cellulose extraction Thimbles, Whatman, 41x123 mm, round bottom)
- 2) ขวดก้นกลม (Conical Flask)
- 3) หลอดทดลองขนาดเล็ก (Vial Test Tube)
- 4) ปิเปต (Pipet)
- 5) คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Chromatographic column) ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. ยาว 30 ซม.
- 6) ไยแก้ว (Glasswool)
- 7) ผงทองแดง (Copper powder) laboratory grade ยี่ห้อ MB
- 8) ซิลิกาเจล (Silica gel, จากบริษัท MERCK, Germany ขนาด 70-230 Mesh ASTM, chromatographic grade)
- 9) อะซิโตน (Re-distilled Acetone) AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 10) เฮกเซน (Re-distilled Hexane) AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 11) ไดคลอโรมีเทน (Re-distilled Dichromethane) AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 12) เมทานอล (Re-distilled Methanol) AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 13) สารละลายมาตรฐานสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

Naphthalene	99% (GC)	Fluka AG,Chem
Biphenyl	>98% (HPLC)	Fluka AG,Chem
Acenaphthylene	~98%	Fluka AG,Chem
Acenaphthene	>97% (HPLC)	Fluka AG,Chem
Fluorene	>97% (HPLC)	Fluka AG,Chem
9,10-dihydroanthracene	>97%	Aldrich Chem Co.
Phenanthrene	>97%(HPLC)	Fluka AG,Chem
Anthracene	~99%	Fluka AG,Chem
Fluoranthene	>97% (GC)	Fluka AG,Chem
Pyrene	~97% (GC)	Fluka AG,Chem

1,1-binaphthyl	-	PFALTZ & BAUER,INC Research Chemicals Division Stamford, Conn.
Benzo(a)anthracene	-	Fluka AG,Chem
Chrysene	95%	Aldrich Chemical Co.
Benzo(b)fluoranthene	98%	Aldrich Chemical Co.
Benzo(k)fluoranthene	98%	Aldrich Chemical Co.
Benzo(a)pyrene	>98% (HPLC)	Fluka AG,Chem
Perylene	>99% (HPLC)	Fluka AG,Chem
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	-	Chem Services
Dibenzo(a,h)anthracene	~98%(HPLC)	Fluka AG,Chem
Benzo(g,h,i)perylene	>98%(UV)	Fluka AG,Chem

14) ชุดสกัด (Soxhlet extraction set)

15) เครื่องลดปริมาตร (Rotary evaporator)

16) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph) ยี่ห้อ Hewlett-Packard 6890

18) เครื่องกลั่นแบบคอลัมน์ยาว (Dest - star^R III)

3.4.2 การเตรียมอุปกรณ์เครื่องแก้ว

การล้างอุปกรณ์เครื่องแก้วทุกชิ้นต้องทำความสะอาดโดยการนำเอาเครื่องแก้วไปแช่ใน cleaning solution ล้างออกด้วยน้ำสะอาด แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งจนหมดกรดหรือน้ำยาทำความสะอาด สะดวกด้วย อะซิโตนรอให้แห้ง นำไปอบ 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส (เฉพาะเครื่องแก้วที่ไม่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน) แล้วจึงชะต่อด้วยเมธานอลและไดคลอโรมีเทน (re-distilled AR grade) ตามลำดับ ก่อนนำไปใช้

3.4.3 การเตรียมสารเคมี

สารอินทรีย์ทุกชนิดที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัด ได้แก่ ไดคลอโรมีเทน เฮกเซน เมธานอล ที่เป็นสารเคมีชนิด AR grade ก่อนนำไปใช้จะต้องนำไปกลั่นก่อนใช้ (re-distill) ด้วยเครื่องกลั่นแบบคอลัมน์ยาว (Dest - star^R III)

ทิมเบิลที่ใช้ในการสกัดตัวอย่าง ซิลิกาเจล และใยแก้ว จะต้องนำไปทำความสะอาดก่อน โดยการนำไปสกัดด้วยวิธี soxhlet โดยใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวสกัด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อสกัดเสร็จต้องนำเอาซิลิกาเจลไปตั้งผึ่งไว้ให้แห้งสนิท โดยเก็บในภาชนะที่มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์คลุม

ปิดไว้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่มากับฝุ่นละอองในบรรยากาศ เมื่อซิลิกาเจลแห้งสนิทจึงนำไปเก็บในขวดแก้วที่ปิดฝาสนิทเช่นเดียวกับทิมเบลและใยแก้ว

3.4.4 การเตรียมตัวอย่างตะกอนดิน

นำตัวอย่างไปทำให้แห้งด้วยวิธี freeze dry และเก็บไว้ในขวดแก้ว ก่อนนำตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์หาสารไฮโดรคาร์บอน จะต้องนำตัวอย่างมาเลือกเอาเปลือกหอยเศษไม้ ออกก่อนแล้วจึงบดด้วยครกบดเบา ๆ เพื่อให้ตะกอนร่วนเป็นผง แล้วจึงร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วและปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์ ก่อนนำตัวอย่างไปสกัดหาไฮโดรคาร์บอนจะต้องทำการผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน

3.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดิน (IOC/UNESCO,1982)

ก. การสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากตะกอนดิน

1) ชั่งตัวอย่างตะกอนมาประมาณ 80-100 กรัม ใส่ลงในทิมเบล ที่ทำความสะอาดแล้วเติมสารละลายมาตรฐาน คือ 9,10 – ไดไฮโดรแอนทราซีน 1,1 ไบแนพทิล และ 2-เมทิลออกตะเดเคน ความเข้มข้น 23.8 20.4 และ 52 ng/μl ลงไปตามลำดับอย่างละ 1 มล. ตามลำดับ เป็น Surrogate standard ทำการสกัดอย่างต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน ปริมาตร 300 มิลลิลิตร โดยวิธี soxhlet extraction เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปลดปริมาตรด้วยเครื่อง Rotary evaporator จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 2 มิลลิลิตร เติมผงคอปเปอร์ ถ่ายเอาสารละลายที่สกัดได้เก็บไว้ในหลอดแก้วขนาดเล็ก แล้วเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนเบา ๆ เพื่อลดปริมาตรของสารละลายให้เหลือประมาณ 0.2 – 0.3 มล. เปลี่ยนตัวทำละลายโดยการเติมเฮกเซนลงไปให้ได้ปริมาตร 2 มล. แล้วจึงเป่าไล่ด้วยแก๊สไนโตรเจนอีกครั้ง จนมีปริมาตรเท่ากับ 0.5 มล. นำสารละลายที่ได้ไปทำการแยกแพรคชันให้ได้สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีต่อไป

ข. การแยกแพรคชันของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี

การเตรียมคอลัมน์

1). เตรียมซิลิกาเจลด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

16 ชั่วโมงเก็บไว้ในเดซีเคเตอร์เมื่อต้องการนำไปใช้ให้ทำการดีแอกติเวตด้วยน้ำกลั่น 5% คนให้เข้ากัน แล้วเติมเฮกเซนลงไปในซิลิกาเจลให้อยู่ในลักษณะที่เป็น slurry คนไล่ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ วางทิ้งไว้สัก 5-10 นาที จนแน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่

2.) ผงคอปเปอร์ เตรียมโดยการแช่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นวางทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที แล้วจึงล้างออกด้วยเมธานอลหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดความเป็นกรดออกให้หมด ตามด้วยไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน แร่ทิ้งไว้ในเฮกเซนเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศ พร้อมใช้งาน

3.) นำคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ที่มีจุกเปิดปิดด้วยใยแก้วที่ทำความสะอาดแล้ว เติมเฮกเซนลงไปใช้แห้งขนาดยาวคน เพื่อให้ไล่ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในใยแก้ว เมื่อแน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศแล้วจึงค่อย ๆ เติมซิลิกาเจลที่มีเฮกเซนลงในคอลัมน์ให้มีความสูงของชั้นซิลิกาเจลประมาณ 17.5 เซนติเมตร ระวังอย่าให้ระดับของเฮกเซนต่ำกว่าระดับของซิลิกาเจล เคาะข้างคอลัมน์เบา ๆ เพื่อให้ซิลิกาเจลเรียงตัวกันแน่น ปรับอัตราการไหลให้ได้ 2 มิลลิลิตรต่อนาที

การแยกสารละลายที่ได้จากการสกัดในตัวอย่างตะกอนดิน

- 1) นำสารละลายที่ได้จากการสกัดตัวอย่างตะกอนซึ่งลดปริมาตรเป็น 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในคอลัมน์ที่เตรียมไว้
- 2) รวจนสารละลายซึมผ่านชั้นซิลิกาเจล แล้วจึงเติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตร ลงบนคอลัมน์ โดยปล่อย 5 มิลลิลิตรแรกทิ้งไป เก็บ 15 มิลลิลิตรไว้ เป็นแฟรคชันที่ 1 (สารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน)
- 3) เติม 20 % ไดคลอโรมีเทนในเฮกเซนลงบนคอลัมน์ 40 มิลลิลิตร แล้วเก็บเป็นสารละลายที่ผ่านออกจากคอลัมน์เป็นแฟรคชันที่ 2 (สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน)
- 4) นำสารละลายทั้งสองแฟรคชันไปลดปริมาตรด้วยเครื่องโรตารีอีแวปอเรเตอร์ จนเหลือ 2 มิลลิลิตรแล้วนำไปเป่าไล่ตัวทำละลายด้วยแก๊สไนโตรเจนให้เหลือปริมาตร 0.2 – 0.3 มิลลิลิตร และเปลี่ยนตัวทำละลายให้เป็นโทลูอีน และปรับให้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 0.3 มิลลิลิตร เก็บไว้ในหลอดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณต่อไปด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ค. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของไฮโดรคาร์บอนในตะกอนด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Hewlett-Packard 6890
ประกอบด้วย

- ตัวตรวจแบบเฟลมไอโอไนเซชัน (FID)
- คอลัมน์แบบ fused silica capillary เคลือบด้วย SE-54 (HP-5) เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32 มม. ยาว 30 ม. ความหนาของฟิล์ม 0.25 μm .

สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

อุณหภูมิของช่องฉีดสาร 240 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของดีเทคเตอร์ 280 องศาเซลเซียส

โปรแกรมอุณหภูมิของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

อุณหภูมิเริ่มต้น 70 องศาเซลเซียส

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส/นาที

อุณหภูมิสุดท้าย 280 องศาเซลเซียส (hold 15 นาที)

อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน สำหรับ FID 30 มิลลิเมตร/นาที

อัตราการไหลของอากาศ สำหรับ FID 300 มิลลิเมตร/นาที

อัตราการไหลของแก๊สพา 1-2 มิลลิเมตร/นาที

ปริมาตรสารละลายที่ฉีด 1-2 ไมโครลิตร

Splitter rate 30 มิลลิเมตร/นาที

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS

GC/MS : Saturn 2000 Varian

Mass Data type : Centroid

Emission Current : 10 microamps

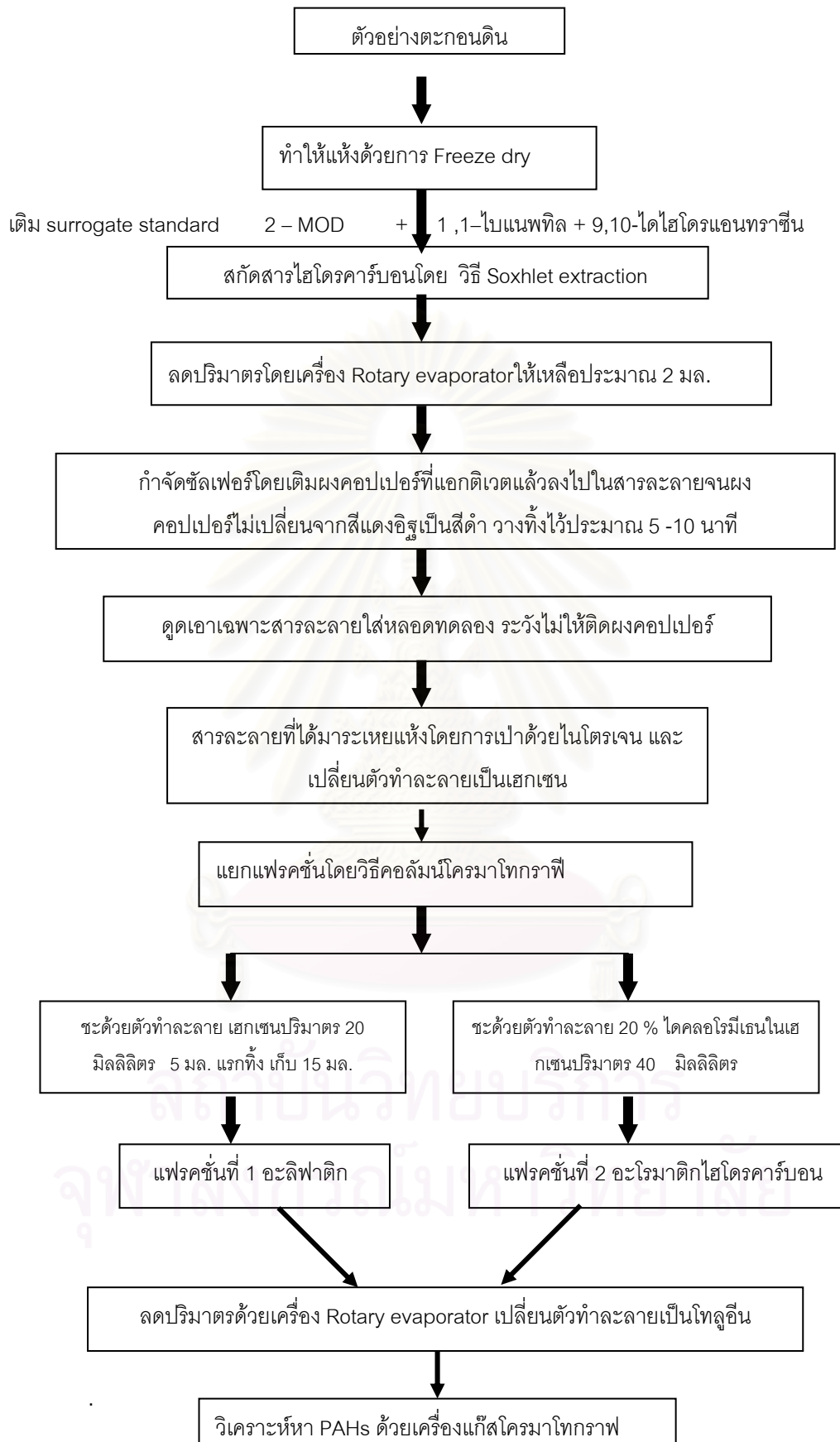
Mass Defect : 0 mmu / 100 u

Count Thershold : 1 count

Scan time : 1.00 second

Segment Low mass : 40 m/z

Segment High mass : 650 m/z



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดิน

3.4.6 การคำนวณปริมาณและชนิดของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1. การคำนวณปริมาณของสาร PAHs

การคำนวณปริมาณสารโดยใช้การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีคเทียบกับ
สารมาตรฐาน ดังนี้

สมมติให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเท่ากับ Y ppm จะมีเนื้อสารเท่ากับ Y นาโนกรัม
ชั้นที่ 1 สารละลายมาตรฐานมี peak area เท่ากับ A จะมีเนื้อสารเท่ากับ Y นาโนกรัม

ดังนั้น ในตัวอย่างที่มี peak area เท่ากับ B จะมีเนื้อสารเท่ากับ $\frac{Y \times B}{A}$ นาโนกรัม

$$\text{สมมติให้ } \frac{Y \times B}{A} = D \text{ นาโนกรัม}$$

ในการฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จะฉีด 1 μl .

ดังนั้นแสดงว่าในการฉีด 1 μl . จะมีเนื้อสารของตัวอย่างเท่ากับ D นาโนกรัม

สมมติให้ปริมาตรสุดท้ายก่อนฉีดเท่ากับ P μl . ก็จะมีเนื้อสารเท่ากับ D X P นาโนกรัม

ชั้นที่ 2 สมมติให้น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ W กรัม

หมายความว่าในตัวอย่าง W กรัม จะมีเนื้อสารอยู่เท่ากับ D X P นาโนกรัม

ดังนั้นถ้าตัวอย่าง 1 กรัม จะมีเนื้อสารอยู่เท่ากับ $\frac{D \times P}{W}$ นาโนกรัม

2. การวิเคราะห์ชนิดของสาร PAHs

สำหรับสาร PAHs ที่เป็นสาร 16 ตัวที่มีในสารละลายมาตรฐานจะวิเคราะห์
ชนิดของสาร PAHs โดยการเปรียบเทียบค่า retention time ของตัวอย่างกับ retention time ของ
สารละลายมาตรฐาน PAHs ส่วนสาร PAHs นอกเหนือจากที่เทียบกับสารละลายมาตรฐานก็จะ
ทำการหาชนิดของสาร PAHs โดยการทำการวิเคราะห์จากค่าดัชนี ARI ร่วมกับการยืนยันโดย
เทคนิค GC-MS

3. การคำนวณเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (% Recovery)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์คืนกลับสามารถหาได้จากสารมาตรฐานที่เติมลงไปในตัวอย่่างก่อนการสกัด (Surrogate standard) เป็นตัวแทนการหาเปอร์เซ็นต์คืนกลับ ในที่นี้จะใช้ 9,10-dihydroanthracene และ 1,1-binaphthyl เป็นตัวแทนการหาเปอร์เซ็นต์คืนกลับของสาร PAHs โดยมีวิธีคำนวณดังนี้

ให้ W_{ext} เป็นปริมาณสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (นาโนกรัม) ในที่นี้คือ

1,1-ไบแนพทิล

W_{int} เป็นปริมาณสารมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่าง (นาโนกรัม) ในที่นี้คือ

1,1-ไบแนพทิล

A_{ext} เป็นพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน W_{ext}

A_{int} เป็นพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐาน W_{int}

FV เป็นปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่าง มีหน่วยเป็นไมโครลิตร

Inj เป็นปริมาตรที่ฉีดเข้าไปในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีหน่วยเป็นไมโครลิตร

การคำนวณ

สาร W_{ext} นาโนกรัม ให้พื้นที่

A_{ext}

ดังนั้น สาร $\frac{W_{int} \times Inj}{FV}$ นาโนกรัม ให้พื้นที่

$\frac{W_{ext} \times A_{ext} \times Inj}{FV \times W_{ext}}$

และพื้นที่ $\frac{W_{ext} \times A_{ext} \times Inj}{FV \times W_{ext}}$

คือเปอร์เซ็นต์คืนกลับ 100 %

ดังนั้น พื้นที่ A_{inj} มีเปอร์เซ็นต์คืนกลับเป็น

$\frac{W_{ext} \times FV \times A_{inj} \times 100}{W_{int} \times A_{ext} \times Inj}$

หรือเปอร์เซ็นต์

$= \frac{A_{inj} \times W_{ext} \times FV \times 100}{A_{ext} \times W_{int} \times Inj}$

4. การคำนวณค่า Method Detection Limit (MDL)

Method Detection Limit (MDL) คือ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้จากการตรวจวัด peak area ของ Procedure Blank โดยเปรียบเทียบ peak area ที่มีค่า retention time ตรงกับ peak ของสารละลายมาตรฐาน นำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเฉลี่ย คูณด้วย 3 นำค่าที่ได้ไปคำนวณความเข้มข้นโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ตำแหน่งนั้น ๆ และหารด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.4.7. การคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ

1). ดัชนี ARI (Aromatic Retention Index)

ARI เป็นดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานสารอะโรมาติกกลุ่ม PAHs ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาค่าดังนี้ (Lee และคณะ 1979)

1) กำหนดให้สารละลายมาตรฐานอะโรมาติก 7 ตัวหลัก (markers) มีค่า ARI ดังต่อไปนี้

Naphthalene	มีค่า ARI เท่ากับ	0
Biphenyl	“	100
Phenanthrene	“	200
Pyrene	“	300
Chrysene	“	400
Perylene	“	500
Benzo(g,h,i)perylene	“	600

2) ฉีดสารละลายมาตรฐานที่ต้องการหาค่า ARI ร่วมกับสารละลายมาตรฐาน 7 ตัวหลัก แล้วนำค่า retention time ที่ได้มาคำนวณหาค่า ARI และใช้วิธีการนี้ เมื่อต้องการวิเคราะห์หาชนิดของสาร PAHs ในตัวอย่าง

3) คำนวณหาค่า ARI จากสูตร (Bieri และคณะ 1981)

$$ARI = \frac{T_x - T_{mp}}{T_{mf} - T_{mp}} \times 100 + ARI_{mp}$$

โดยที่ T_x = retention time ของ peak ของสาร X
 T_{mp} = retention time ของ peak ของ marker ก่อนสาร X
 T_{mf} = retention time ของ peak ของ marker หลังสาร X

2). การคำนวณอัตราส่วนพีแนนทรีนต่อแอนทราซีน (Budzinski และ Boem,1997)

$$P/A = \frac{\text{Conc. of Phenanthrene}}{\text{Conc. of Anthracene}}$$

3). การคำนวณอัตราส่วนฟลูออแรนทินต่อไพรีน (Budzinski และ คณะ,1997)

$$\text{Flu/Pyr} = \frac{\text{Conc. of Fluoranthene}}{\text{Conc. of Pyrene}}$$

4). การคำนวณอัตราส่วนของ (2+3)-ring/(4+5)ring-PAHs (Norena-Barraso และคณะ , 1999)

นอกจากการวิเคราะห์หาปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังทำการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่น เพื่อที่จะนำมาอธิบายผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ณ ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของตะกอนที่วิเคราะห์ และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการ	เอกสารอ้างอิง
สารอะลิฟาติก-ไฮโดรคาร์บอน	แก๊สโครมาโทกราฟี	(IOC/UNESCO(1982)
เปอร์เซ็นต์น้ำ	อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส	Loring และ Rantala(1990)
สารอินทรีย์คาร์บอน	Walkley-Black method (1947)	Loring และ Rantala(1990)
ขนาดตะกอน	Hydrometer	Caver (1971)
อายุตะกอน	Pb-210	Nittrouer และคณะ (1979)

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดิน ในตัวอย่างจำนวน 11 สถานีของตัวอย่างตะกอนตามลำน้ำ (T1-T11) และคลองมหาชัย 3 สถานี(M1-M3) คลองสุนัขหอน 2 สถานี(D1 และ D2) และตัวอย่างตามความลึกจำนวน 3 สถานี (C1 C2 และ C3) จำนวน 32 ตัวอย่าง พร้อมทั้งผลการหาค่าประกอบที่เกี่ยวข้องได้แก่ สารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ขนาดของตะกอน (grain size) เปอร์เซ็นต์น้ำ pH Eh เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน(% OC) และอายุตะกอน แสดงตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพและเคมีของตะกอน

4.1.1 ตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

สถานีตามลำน้ำท่าจีน (T1 - T11) ซึ่งเก็บตัวอย่างด้วย Peterson Grab จำนวน 11 สถานีมีลักษณะตะกอนเป็น sandy clay loam (ตะกอนดินทรายปนดินเหนียว) ตะกอนส่วนใหญ่มีสีดำเข้มมีเปลือกหอย หรือเศษเปลือกไม้ปน เปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 41.5-68.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.5 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 ค่า Eh มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -338 mV. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน (% OC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

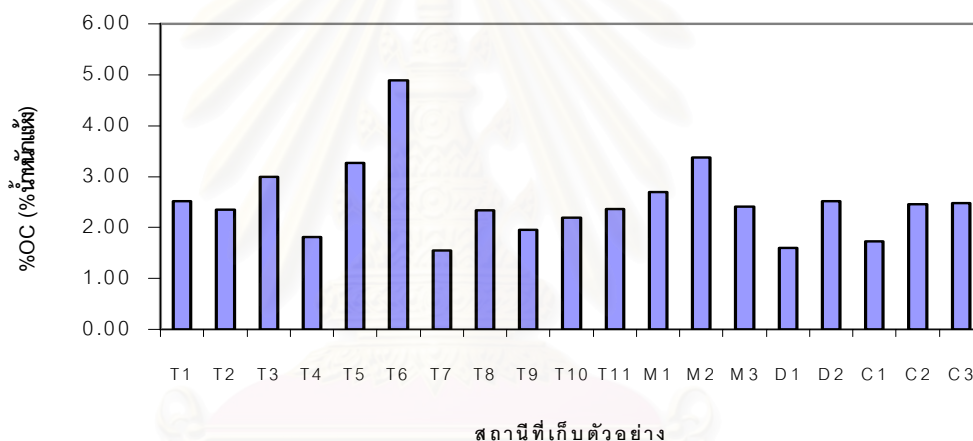
ลักษณะของตะกอนสถานีคลองมหาชัย (M1- M3) เป็น sandy loam และ sandy clay loam ตะกอนมีสีดำคล้ำ มีเศษเปลือกหอย ขยะและเศษไม้มาก เปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 53.9 – 64.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.6 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ค่า Eh มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -391 mV. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน (%OC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง สถานีคลองสุนัขหอน (D1 และ D2) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็นแบบ sandy clay loam ตะกอนมีลักษณะเป็นสีดำเข้ม เปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 49.2 – 66.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.7 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.8 ค่า Eh มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -350 mV. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน (%OC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

ลักษณะการกระจายของเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า (รูปที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าบริเวณสถานี T6 จะเป็นบริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในปริมาณที่มากที่สุด รองลงมาคือ M2 T5 และ T3 ตามลำดับ

สรุปลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินผิวหน้าและตะกอนตามความลึกดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 (รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ ก1. ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้า และตะกอนตามความลึก

สถานี	texture	เปอร์เซ็นต์น้ำ		ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (%น้ำหนักแห้ง)		Eh(mV.)	
		พืสัย	เฉลี่ย	พืสัย	เฉลี่ย	พืสัย	เฉลี่ย
T1-T11	Sandy Clay loam	42.4-68.8	52.5	1.8-4.9	2.6	(-469)-(-133)	-338
M1-M3	Sandy Clay loam	54.0-64.5	59.6	2.4-3.4	2.8	(-393)-(-408)	-390
D1-D2	Sandy Clay loam	49.5-66.0	57.7	1.6-2.5	2.1	(-338)-(-361)	-350
C1	Sandy loam	50.6-59.6	54.5	1.5-1.9	1.7	(-302)-(-190)	-259
C2	Sandy Clay loam	54.0-63.2	59.4	1.6-2.8	2.4	(-341)-(-183)	-317
C3	Sandy Clay loam	55.2-62.4	58.7	2.2-2.5	2.3	(-294)-(-428)	-368



รูปที่ 4.1 การกระจายของปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้า

4.1.2 ตัวอย่างตะกอนตามความลึก

สถานีปากแม่น้ำท่าจีนฝั่งตะวันออก (C1) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็น sandy loam และ sandy clay loam มีเปลือกหอยและเศษไม้ปน มีเปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 50.6 – 59.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.5 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH มีค่า 6.7 – 6.8 ค่า Eh พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ก. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.5 – 1.9 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ ก2. ภาคผนวก ก. อายุของตะกอน

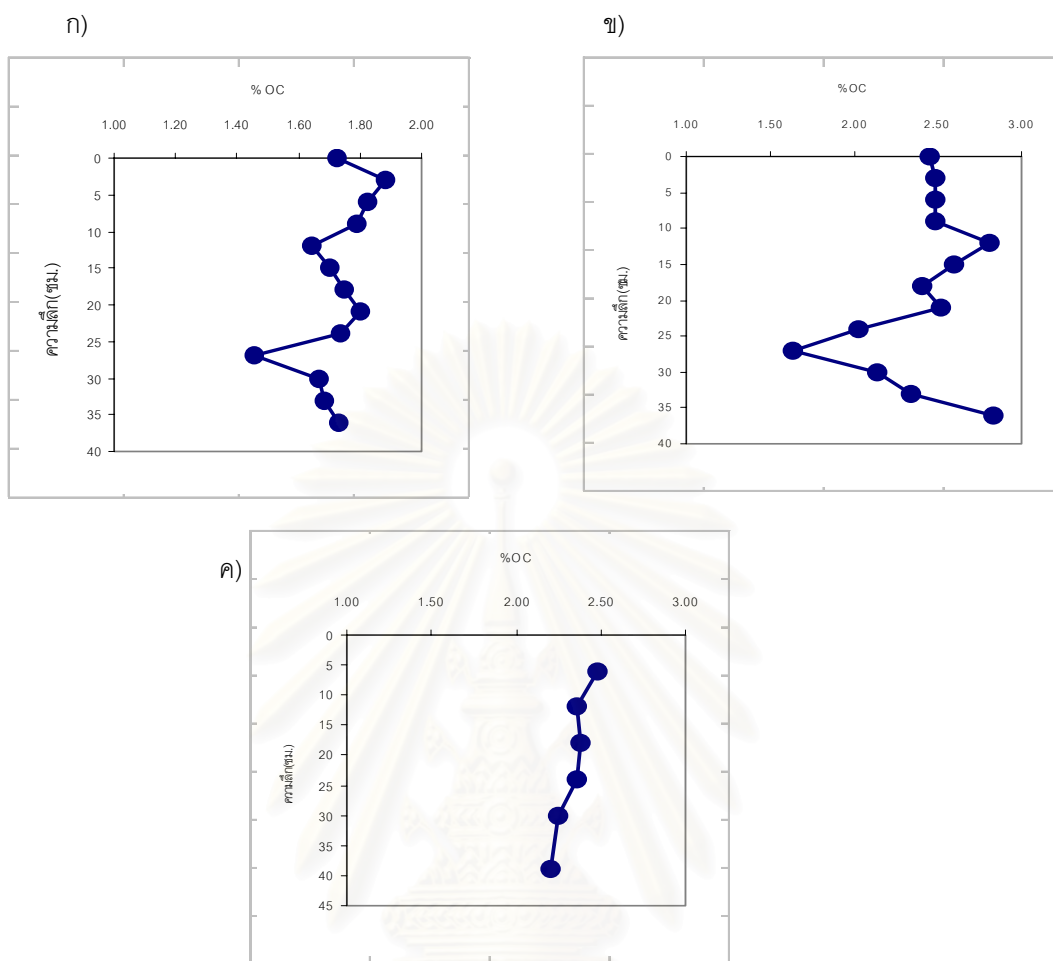
ตั้งแต่ความลึก 0-39 ซม. มีอายุตั้งแต่ 1 - 34 ปี และมีอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 1.15 ซม.ต่อปี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ด 2 ภาคผนวก ด

สถานีปากแม่น้ำอำมมหาชัยฝั่งตำบลบางหญ้าแพรก (C2) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็นแบบ sandy clay loam ลักษณะของตะกอนดินมีเศษไม้ปนอยู่มาก เนื่องจากบริเวณที่เก็บเป็นป่าชายเลนที่หนาแน่น เปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 54.0-63.2 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.4 เปอร์เซ็นต์ค่า pH มีค่าเท่ากับ 6.4 - 6.7 ค่า Eh มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -317 และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ข. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.6 - 2.8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง รายละเอียดแสดงดังแสดงในตารางที่ ก3. ภาคผนวก ก อายุของตะกอนตั้งแต่ความลึก 0 - 39 ซม. มีอายุเท่ากับ 1- 21 ปี และมีอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 1.88 ซม.ต่อปี. รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ด3. ภาคผนวก ด

สถานีคลองสุนัขหอน (C3) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็นแบบ sandy clay loam ลักษณะของตะกอนดินเป็นดินสีดำเนียน สองข้างฝั่งเป็นป่าไม้ใหญ่ เปอร์เซ็นต์น้ำอยู่ในช่วง 55.18 - 62.35 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.66 เปอร์เซ็นต์ ค่า pH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6 ค่า Eh มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -368 mV. มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามความลึกไม่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ค. เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.20 - 2.48 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง รายละเอียดแสดงดังแสดงในตารางที่ ข5. ภาคผนวก ข. อายุของตะกอนตั้งแต่ความลึก 0 - 39 ซม. มีอายุเท่ากับ 1 - 12 ปี มีอัตราการตกตะกอนเท่ากับ 2.85 ซม.ต่อปี รายละเอียดแสดงดังแสดงในตารางที่ ด4 ภาคผนวก ด

ตารางที่ 4.2 อายุของตะกอนและอัตราการตกตะกอนของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

สถานี	อายุ(ปี)	อัตราการตกตะกอน (มก./ซม ² /ปี)	อัตราการตกตะกอนที่ ผิวหน้า (ซม/ปี)
C1	1-34	648	1.15
C2	1-21	833	1.88
C3	1-11	1524	2.85



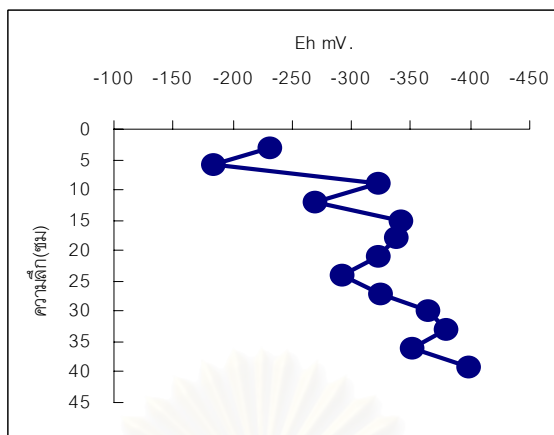
รูปที่ 4.2 เปอร์เซนต์สารอินทรีย์ ในตัวอย่างตะกอนดินตามความลึก

ก) สถานี C1 ปากแม่น้ำฝิ่งตะวันออก

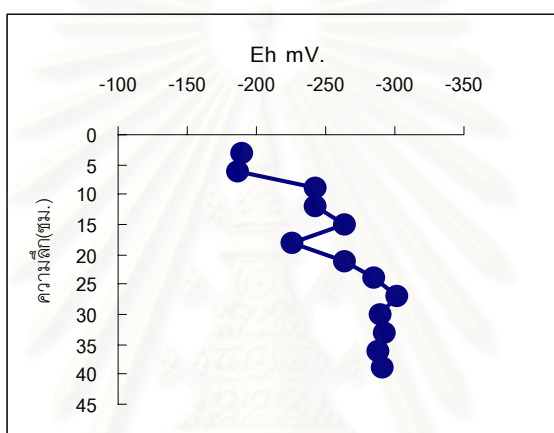
ข) สถานี C2 ปากแม่น้ำตำบลบางหญ้าแพรก

ค) สถานี C3 คลองสุนัขหอน

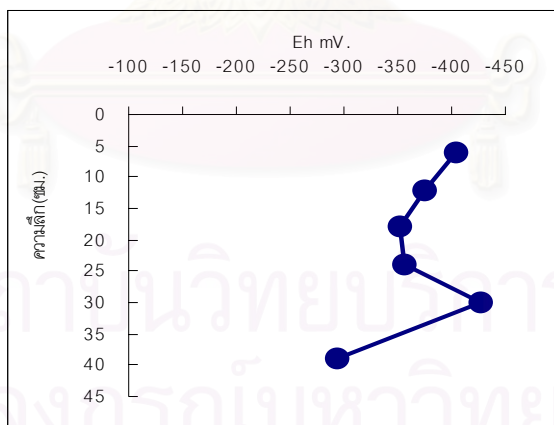
ก).



ข).



ค).



รูปที่ 4.3 ค่า Eh ในตัวอย่างตะกอนดินตามความลึก

ก) สถานี C1 ปากแม่น้ำฝั่งตะวันออก

ข) สถานี C2 ปากแม่น้ำตำบลบางหญ้าแพรก

ค) สถานี C3 คลองสุนัขหอน

4.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินโดยการแบ่งออกเป็น 2 แพรคชัน แพรคชันที่ 1 คือ อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน และแพรคชันที่ 2 คือ PAHs โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แบบคะปิลลารี เคลือบด้วย liquid phase SE – 54 (HP-5) และตัวตรวจวัดแบบเฟลมไอโอไนเซชัน (FID)

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ในตัวอย่าง ใช้การเปรียบเทียบค่าดัชนี ARI กับสารมาตรฐาน โดยการเปลี่ยนค่ารีเทนชันไทม์เป็น ARI ค่าดัชนี ARI ของตัวอย่างทุกสถานีจากการศึกษาครั้งนี้ แสดงในภาคผนวก จ

นอกจากนี้ได้นำตัวอย่างสถานี T8 D2 M2 และ C1 (ความลึก 3-6 ซม) ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ที่กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข เพื่อยืนยันผลชนิดของสาร PAHs ผลการวิเคราะห์สถานี T8 พบสาร PAHs 8 ชนิด ได้แก่ naphthalene biphenyl acenaphthylene anthracene fluoranthene pyrene perylene และ benzo(k)fluoranthene ในสถานี M2 พบสาร PAHs 5 ชนิด ได้แก่ naphthalene biphenyl phenanthrene anthracene fluoranthene สถานี D2 พบสาร PAHs 6 ชนิด ได้แก่ naphthalene biphenyl phenanthrene anthracene fluoranthene pyrene perylene และสถานี C1 พบสาร PAHs 7 ชนิด ได้แก่ naphthalene biphenyl acenaphthene phenanthrene anthracene benzo(a)anthracene benzo(a)pyrene ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสถานี T8 ในรูปที่ ง1 ภาคผนวก ง ดังแสดงสเปกตรัมในรูปที่ ง2, ง3, และ ง4. สำหรับสาร PAHs อื่นเนื่องจากมีปริมาณน้อยทำให้สเปกตรัมที่ได้ไม่ชัดเจน นำผลการวิเคราะห์โดย GC-MS ดังกล่าวมาเป็นเกณฑ์ประกอบกับดัชนี ARI ในการวิเคราะห์ชนิดของสาร PAHs ในแต่ละสถานี

4.2.1 ผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนผิวหน้า

ผลการวิเคราะห์หา PAHs โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า ทุกตัวอย่างพบการปนเปื้อนของสาร PAHs ในทุกตัวอย่างโดยพบ PAHs สำคัญ 18 ชนิด ได้แก่ naphthalene biphenyl acenaphthylene acenaphthene fluorene phenanthrene anthracene fluoranthene pyrene benzo(a)anthracene chrysene benzo(b)fluoranthene benzo(k)fluoranthene benzo(a)pyrene perylene indeno(1,2,3-cd)pyrene dibenzo(a,h)anthracene และ benzo(g,h,i)perylene และ PAHs ตัวอื่น ในการศึกษาปริมาณของสาร PAHs รวม หมายถึง ปริมาณสาร PAHs 18 ชนิดรวมกัน รายละเอียดของชนิดและปริมาณสาร PAHs ที่พบในตะกอนผิวหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.4 และแสดงรายละเอียดในตารางที่ ข

1 ภาคผนวก ข โดยมีเปอร์เซ็นต์คืนกลับของตะกอนผิวหน้าอยู่ในช่วง 70-105 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91 เปอร์เซ็นต์ (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ข1) สำหรับค่า MLD ของการวิเคราะห์ PAHs อยู่ในช่วงของความเข้มข้นเท่ากับ 0.08 – 0.98 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แสดงในตารางที่ ข1 ภาคผนวก ข

ปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดที่พบในตะกอนดินผิวหน้า พบว่าปริมาณของสาร PAHs อยู่ในช่วง 0.23 – 1.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รายละเอียดของชนิดและปริมาณสาร PAHs ของสถานี T1-T11 M1-M3 และ D1-D2 แสดงดังตารางที่ ข1. ภาคผนวก ข PAHs ที่พบได้เกือบทุกสถานีตามลำน้ำ(T)และในคลองมหาชัยและสุนัขหอน (M และ D) ได้แก่ naphthalene biphenyl acenaphthene phenanthrene anthracene fluoranthene pyrene benzo(a)anthracene chrysene perylene บริเวณที่พบปริมาณสาร PAHs รวมมากที่สุดคือสถานี T6 ปริมาณรวมเฉลี่ยของสาร PAHs สถานี T1 – T11 สถานีคลองมหาชัยและสถานีคลองสุนัขหอน แสดงดังตารางที่ 4.3 จากลักษณะการกระจายของสาร PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าสถานี T1-T11 พบสาร PAHs สำคัญทั้ง 18 ชนิด ที่พบมากในอันดับต้น ๆ สามารถสรุปผลในแต่ละสถานีได้ดังนี้

T1	:	Ind > BaA > Per > Flt > Pyr
T2	:	Chry> Phen> Flt > Pyr > Napht
T3	:	BghiP> Phen > BbF > Chry >Pery
T4	:	Phen> Flt > Napht > Ant > Chry
T5	:	Pery > BghiP > Phen > Flt > Pyr
T6	:	Acent > BkF > Chry > Phen > Pyr
T7	:	Chry > Phen > Pyr > Pery > Napht
T8	:	Chry > Flt > Pyr > Phen > BkF
T9	:	Phen > Ind > Pery > Flt > Pyr
T10	:	Chry > Phen = Flt > BghiP >Pyr > Ant
T11	:	Chry > Ind > Phen > Pery > Pyr

พบว่าในแต่ละสถานีตั้งแต่ T1- T11 สาร PAHs ที่พบมากที่สุดจะมีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 3-5 วง ตัวที่พบได้บ่อยและมีปริมาณมากที่สุดได้แก่ chrysene การกระจายของสาร PAHs แต่ละตัวในสถานี T1-T11 แสดงดังรูปที่ 4.4 ก. – ก. ส่วนการกระจายของสาร PAHs รวมของตะกอนดินผิวหน้าแสดงดังรูปที่ 4.5

ผลการศึกษาระยะการกระจายตัวของ PAHs ในตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำสถานีคลองมหาชัย (M1 – M3) และคลองสุนัขหอน (D1 และ D2) เรียงลำดับจากน้อย สรุปลงได้ดังนี้

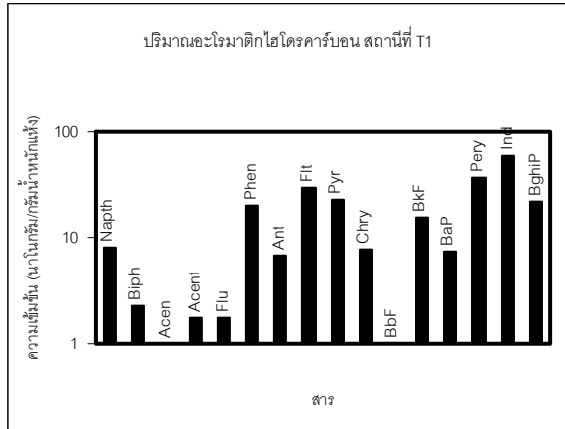
M1	:	Ind > Flt > Phen > Pyr > Chry
M2	:	BghiP > Ind > Flt > Ant > Phen
M3	:	Chry > Napht > Flt > Pery > Phen
D1	:	Chry > Pyr > Phen > Pery > BghiP
D2	:	Pery > BghiP > Phen > Pyr > BkF

โมเลกุลที่พบในสถานีคลองมหาชัยและสุนัขหอนเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่คือ มีวงแหวนเบนซีน ตั้งแต่ 3 วงขึ้นไป การกระจายของสาร PAHs แต่ละชนิดที่พบแสดงดังรูปที่ 4.4 รู – ต.

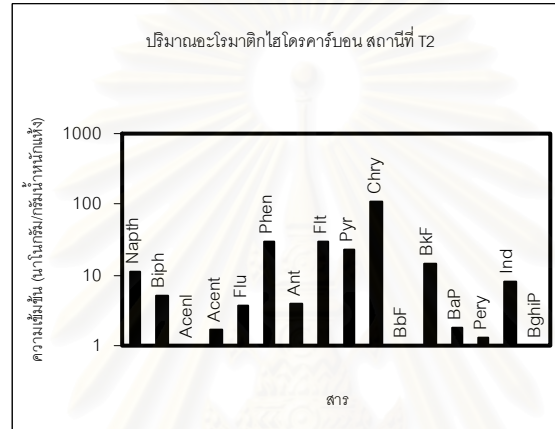
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสาร PAHs ที่ตะกอนผิวน้ำ (รูปที่ 4.5) พบว่าในบริเวณสถานี T6 มีปริมาณสาร PAHs รวมมากที่สุดรองลงมาคือ สถานี M1 C3 T4 และ D1 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

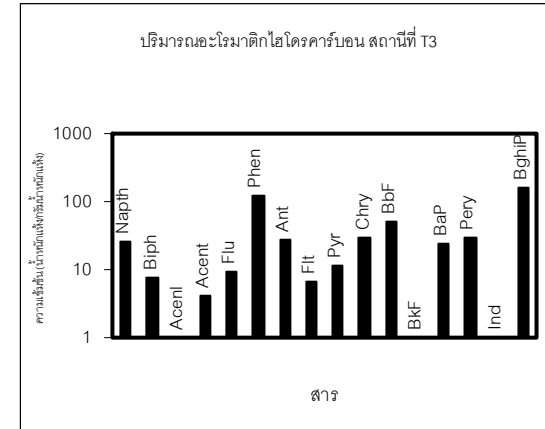
ก).



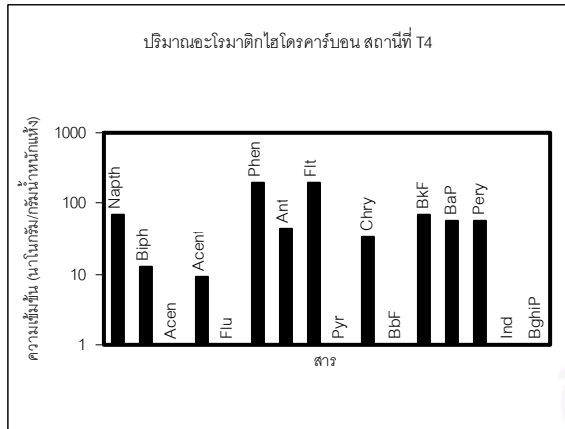
ข).



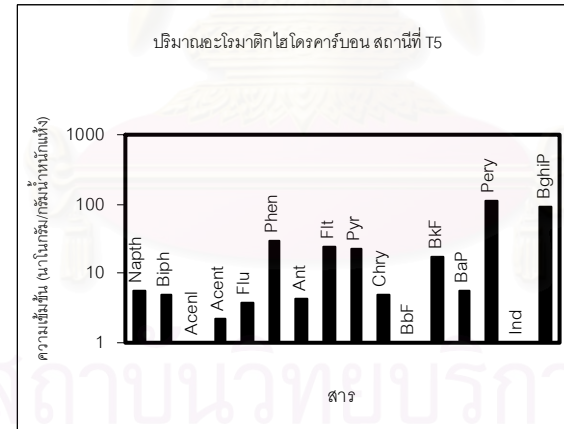
ค).



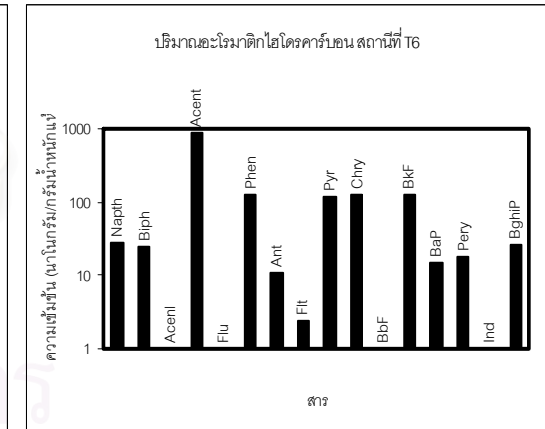
ง).



จ).



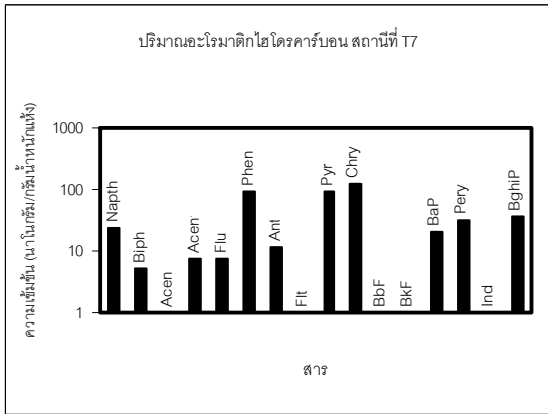
ฉ).



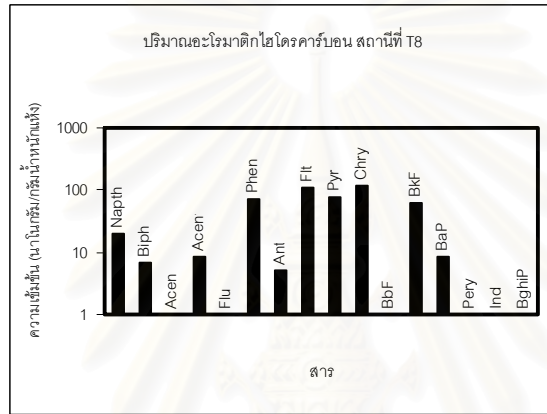
รูปที่ 4.4 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวน้ำ

ก). สถานี T1 ข). สถานี T2 ค). สถานี T3 ง). สถานี T4 จ). สถานี T5 ฉ). สถานี T6

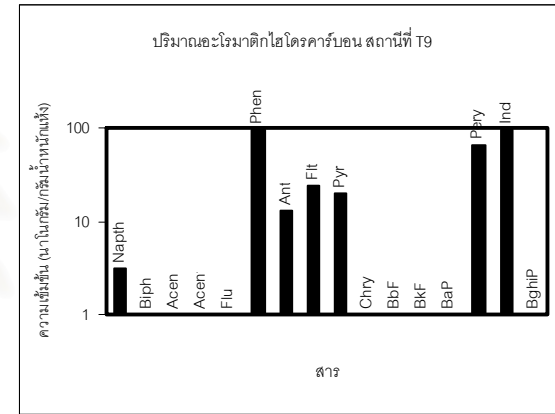
ข).



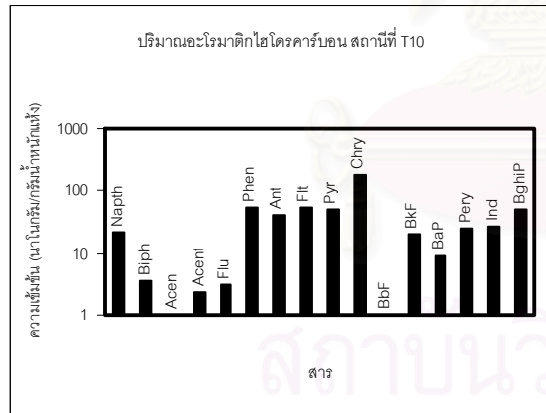
ค).



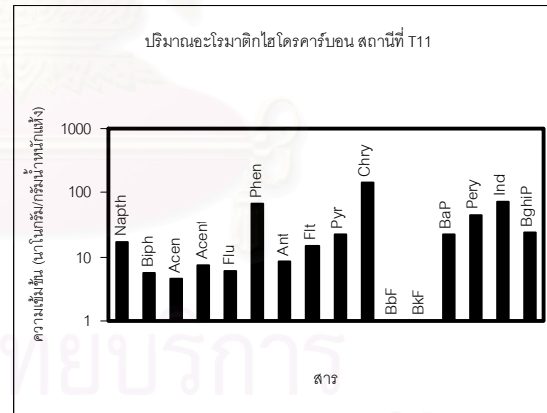
ด).



จ).



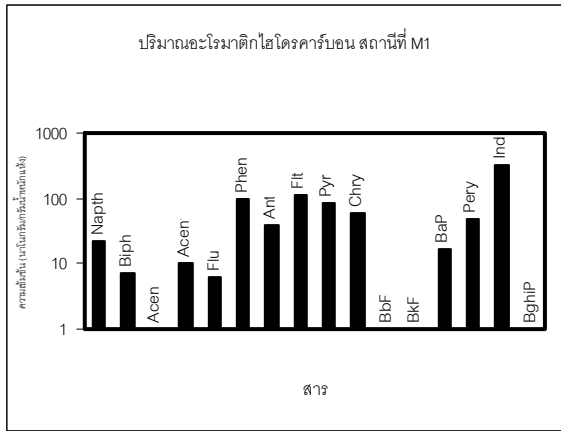
ฉ).



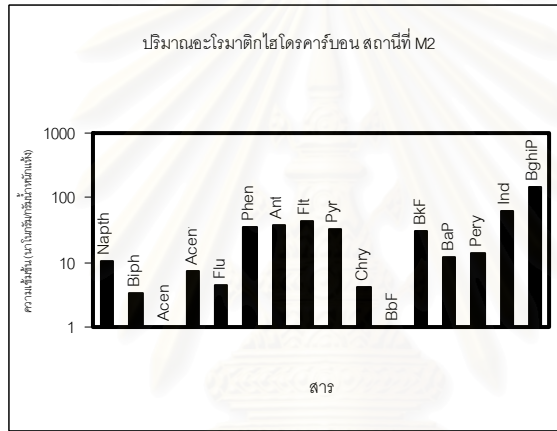
รูปที่ 4.4 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

ข). สถานี T7 ค). สถานี T8 ด). สถานี T9 จ). สถานี T10 ฉ). สถานี T11

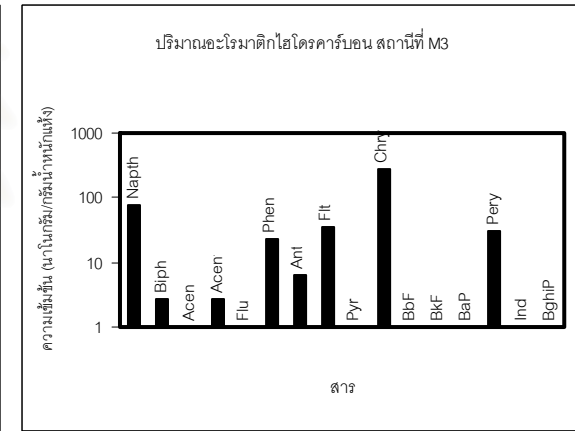
๕๕).



๕๖).



๕๗).



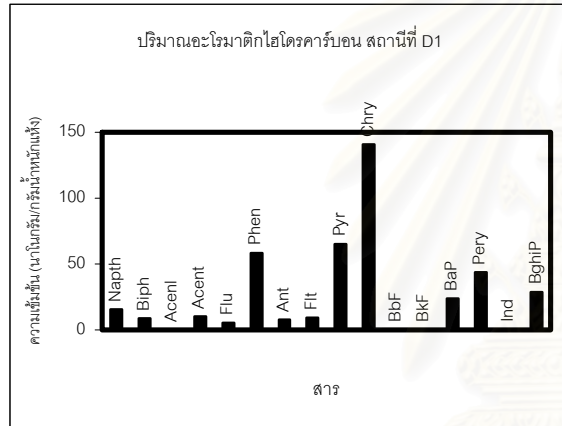
รูปที่ 4.4 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าบริเวณคลองมหาชัย

๕๕). สถานี M1

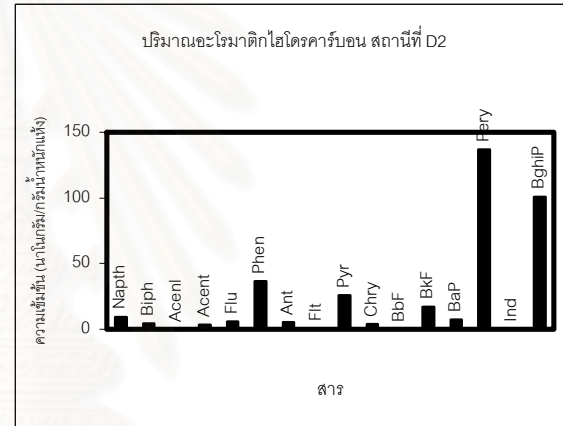
๕๖). สถานี M2

๕๗). สถานี M3

ด).



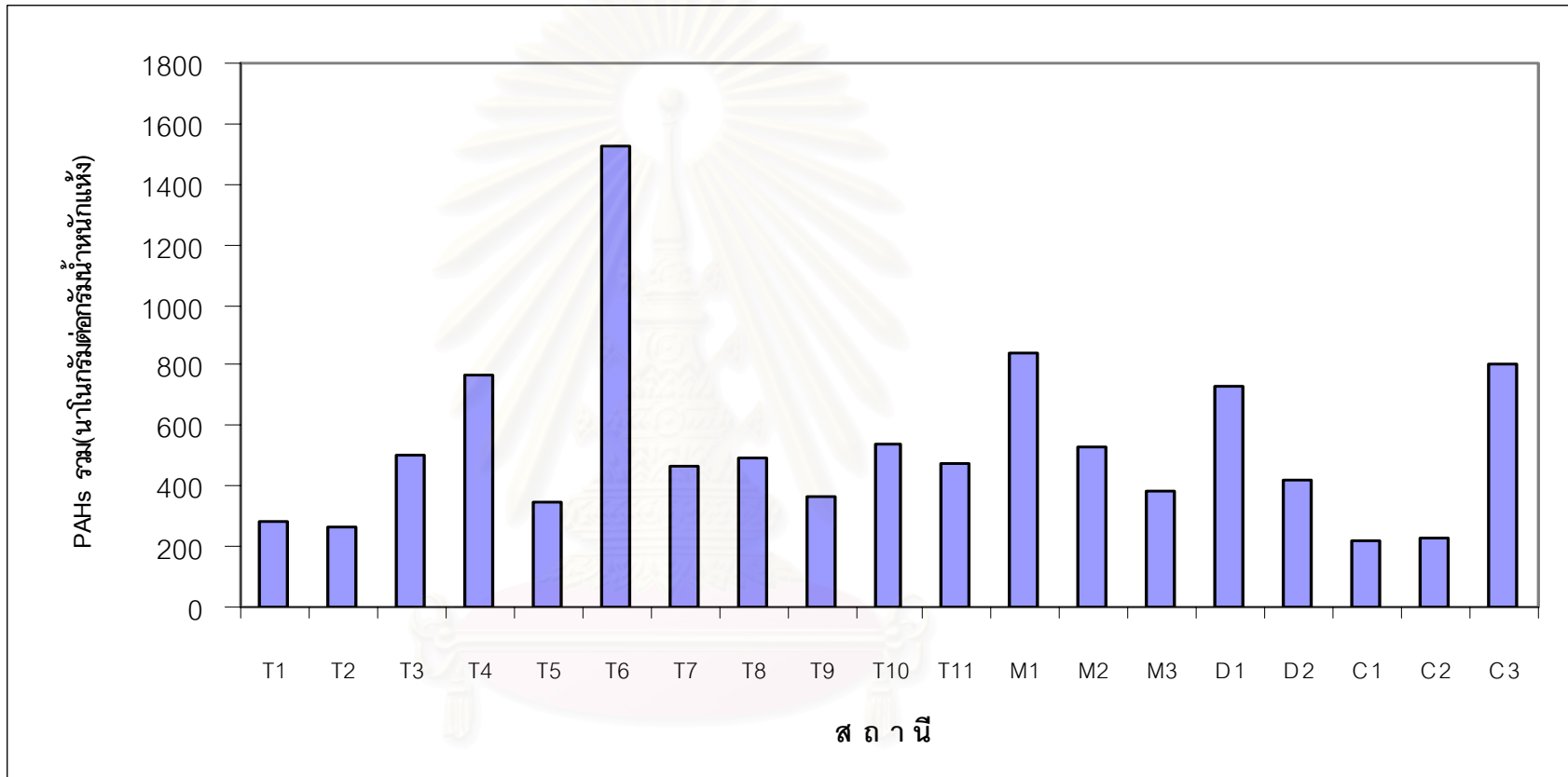
ต).



รูปที่ 4.4 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าคลองสุนัขหอน

ด). สถานี D1

ต). สถานี D2



รูปที่ 4.5 ปริมาณ PAHs รวมของตะกอนผิวหน้า

ตารางที่ 4.3 สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า
(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

สถานี	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	PAHs รวม
T1	0.5 - 58.4	280
T2	0.1 - 221.9	264
T3	0.2 - 155.3	507
T4	1.9 - 591.8	764
T5	0.3 - 109.7	349
T6	1.0 - 893.3	1,524
T7	0.3 - 127.2	463
T8	1.0 - 127.3	493
T9	3.2 - 187.0	362
T10	0.1 - 176.2	540
T11	0.9 - 148.9	474
M1	0.5 - 329.8	840
M2	0.7 - 141.2	529
M3	1.4 - 276.1	387
D1	0.8 - 305.5	730
D2	0.4 - 136.9	232
C1	0.6 - 195.0	223
C2	0.6 - 520.2	232
C3	0.4 - 531.7	802
	เฉลี่ย	625

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของ PAHs ในตะกอนตามลำดับความลึก

วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึก จำนวน 32 ตัวอย่างโดยใช้การเปรียบเทียบค่าดัชนี ARI กับสารมาตรฐานเช่นเดียวกับในตะกอนผิวหน้า และนำตัวอย่างสถานี C1 ที่ความลึกตั้งแต่ 3 - 6 ซม. วิเคราะห์โดยเทคนิค GC/MS เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ชนิดของสาร PAHs ผลการวิเคราะห์หาการสะสมของชนิดของสาร PAHs พบว่ามี PAHs หลายชนิด และพบ PAHs ชนิดที่สำคัญ ๆ ได้แก่ naphthalene biphenyl acenaphthene fluorene phenanthrene anthracene fluoranthene pyrene benzo(a)anthracene chrysene benzo(b)fluoranthene benzo(k)fluoranthene benzo(a)pyrene perylene indeno(1,2,3-cd)pyrene และ benzo(g,h,i)perylene และมีปริมาณในแต่ละชนิดมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละสถานี ดังแสดงตัวอย่างโครมาโทแกรมของสาร PAHs แต่ละชนิดในตัวอย่าง C1 ตามลำดับความลึก ใน รูปที่ 4. - 16 ภาคผนวก ค และในรูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ PAHs รวมตามลำดับความลึกของสถานี C1 C2 และ C3

สถานี C1 ปริมาณ PAHs รวมในแต่ละชั้นความลึกที่พบอยู่ในช่วง 79 - 315 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.4) สาร PAHs ที่พบได้ในปริมาณที่มากที่สุดในสถานี C1 คือ perylene รองลงมาคือ phenanthrene fluoranthene และ indeno(1,2,3-cd)pyrene ตามลำดับ ดังแสดงลักษณะการกระจายของสาร PAHs ในแต่ละชั้นความลึกของสาร PAHs แต่ละชนิดดังรูปที่ 4.6 ก-ฎ. โดยพบปริมาณสาร PAHs รวมมากที่สุดในชั้น 10 (ลึก 27 - 30 ซม.) ส่วนชั้นอื่นจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.6ก. และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของ PAHs บางชนิด ซึ่งเป็นสาร PAHs ที่สามารถตรวจพบได้ในทุกชั้นความลึก ได้แก่ fluorene และ naphthalene พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของทั้ง fluorene และ naphthalene ไม่ชัดเจน มีบางความลึกที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ก.

สถานี C2 ปริมาณ PAHs รวมในแต่ละชั้นความลึกที่พบมีปริมาณอยู่ในช่วง 44 - 732 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สาร PAHs ที่พบในปริมาณที่มากที่สุดในสถานี C2 คือ indeno(1,2,3-cd)pyrene รองลงมาคือ benzo(g,h,i)perylene phenanthrene benzo(k)fluoranthene และ chrysene ตามลำดับ โดยพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs รวมตามลำดับความลึก มีแนวโน้มไม่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ข. และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของ PAHs บางชนิดซึ่งสามารถตรวจพบได้ในทุกชั้นความลึก ได้แก่ phenanthrene และ anthracene พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของทั้ง phenanthrene และ anthracene ไม่ชัดเจนเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ข.

สถานี C3 ปริมาณ PAHs รวมในแต่ละชั้นความลึกที่พบอยู่ในช่วง 0.28 - 0.92 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สาร PAHs ที่พบได้มากที่สุดในสถานี C3 คือ indeno(1,2,3-cd)pyrene

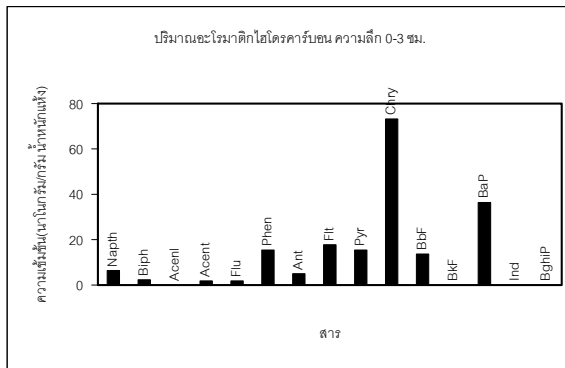
รองลงมาคือ benzo(g,h,i)perylene benzo(b)fluoranthene phenanthrene และ anthracene ตามลำดับ โดยพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PAHs รวม ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ค

รายละเอียดของปริมาณและชนิดของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข2. ข3. และ ข4.

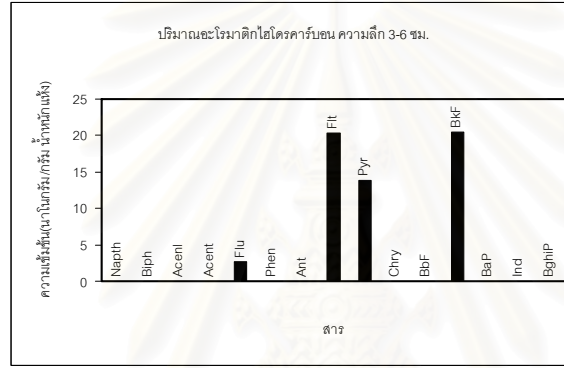


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

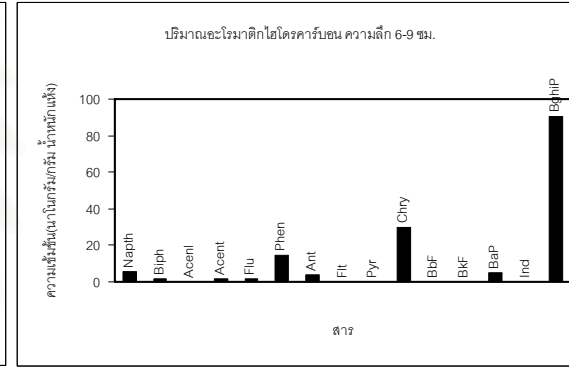
ก).



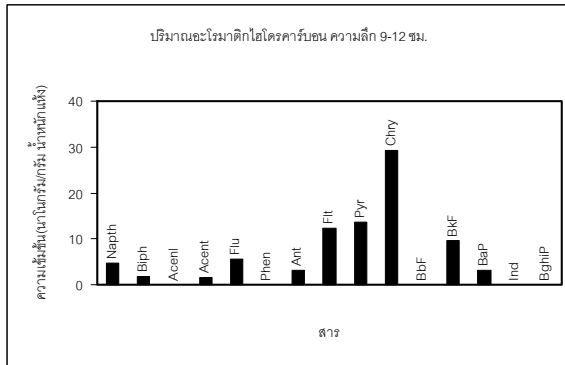
ข).



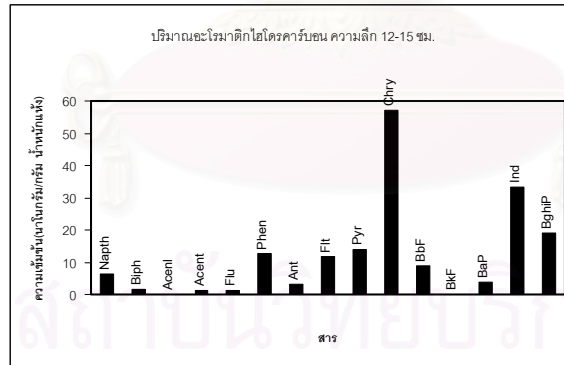
ค).



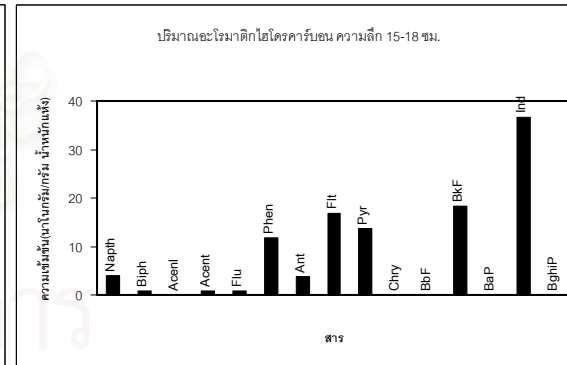
ง).



จ).



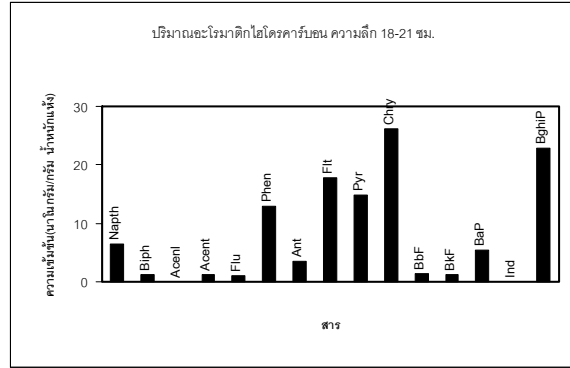
ฉ).



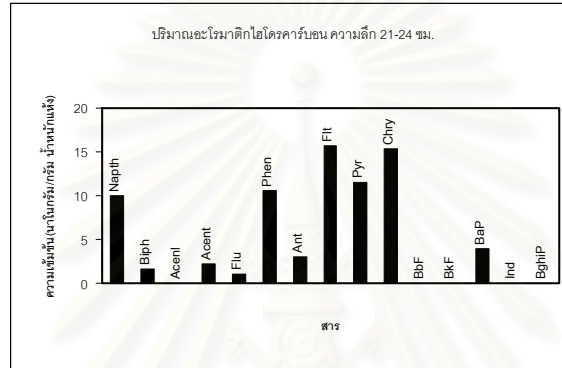
รูปที่ 4.6 การกระจายของสาร PAHs ในตะกอนตามความลึกสถานี C1

ก) ความลึก 0-3 ซม. ข) ความลึก 3-6 ซม. ค) ความลึก 6-9 ซม. ง) ความลึก 9-12 ซม. จ) ความลึก 12-15 ซม. ฉ) ความลึก 15-18 ซม.

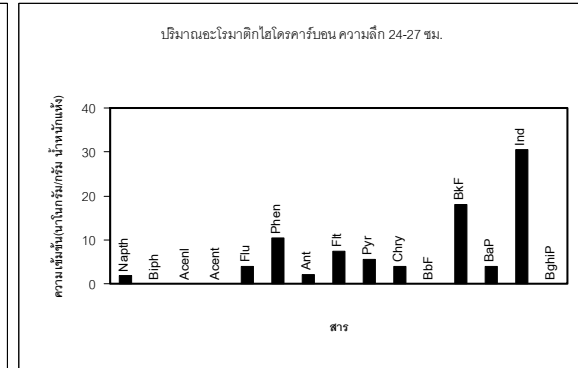
ข).



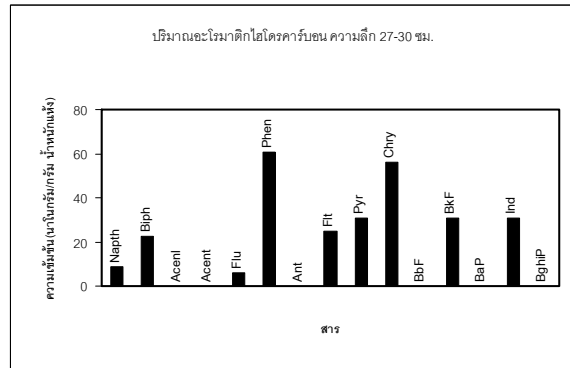
ข).



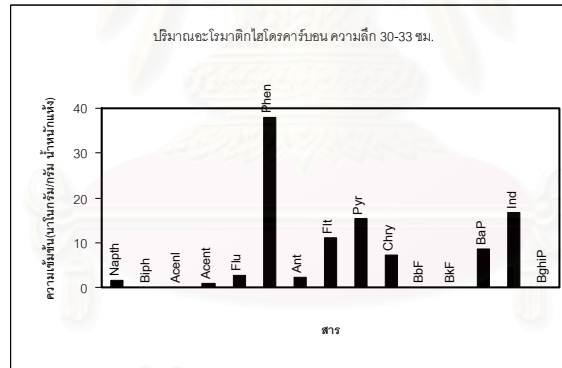
ค).



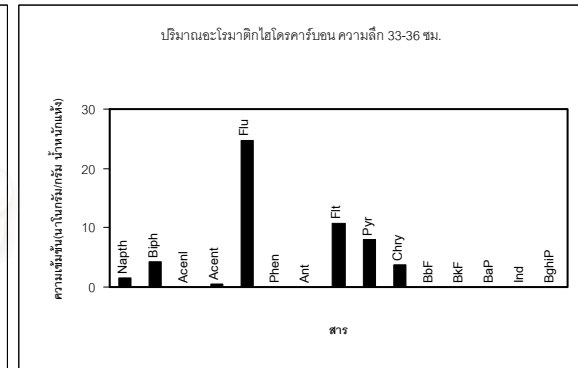
ง).



จ).



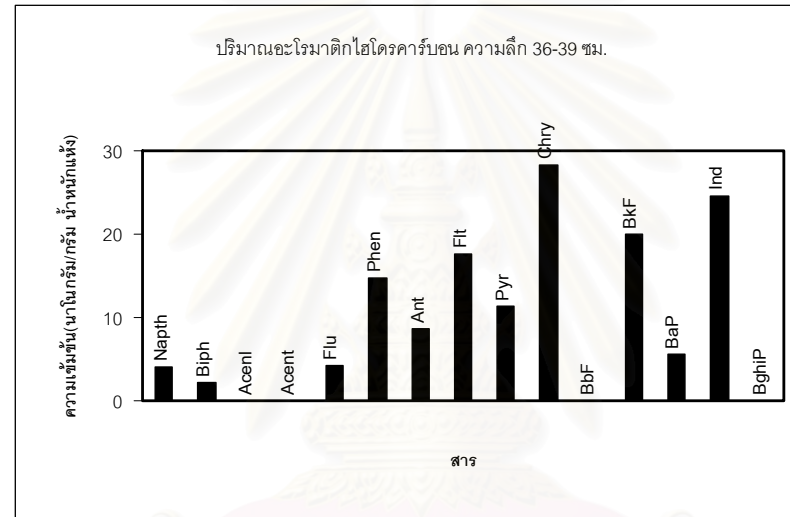
ฉ).



รูปที่ 4.6 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1

ข) ความลึก 18-21 ซม. ข) ความลึก 21-24 ซม. ค) ความลึก 24-27 ซม. ง) ความลึก 27-30 ซม. จ) ความลึก 30-33 ซม. ฉ) ความลึก 33-36 ซม.

๕-๒)



รูปที่ 4.6 การกระจายของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1 (๕-๒). ความลึก 36-39 ซม.

ตารางที่ 4.4 สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนความลึก
สถานี C1 (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

ความลึก (ซม.)	อายุ (ปี)	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	PAHs รวม
0 - 3	1	0.6 - 195.0	223
3 - 6	4	0.5 - 103.5	186
6 - 9	6	0.6 - 90.5	232
9 - 12	9	0.3 - 226.7	155
12 - 15	11	0.5 - 57.0	175
15 - 18	14	0.6 - 40.3	177
18 - 21	17	0.3 - 45.2	199
21 - 24	20	0.5 - 25.0	116
24 - 27	22	0.7 - 120.2	108
27 - 30	25	0.4 - 184.1	315
30 - 33	28	0.4 - 184.1	133
33 - 36	31	0.9 - 76.6	79
36 - 39	34	0.5 - 36.3	167

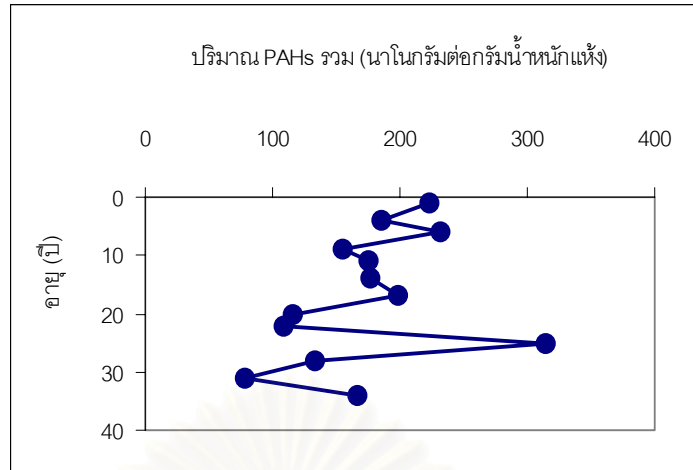
ตารางที่ 4.5 สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความ
ลึกสถานี C2 (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

ความลึก (ซม.)	อายุ(ปี)	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	PAHs รวม
0 - 3	1	0.6 - 520.2	232
3 - 6	2	1.1 - 1348.3	732
6 - 9	4	0.4 - 144.1	131
9 - 12	6	0.4 - 41.4	62
12 - 15	7	2.8 - 276.4	404
15 - 18	9	1.2 - 170.9	316
18 - 21	10	1.9 - 2317.7	168
21 - 24	12	0.5 - 787.7	44
24 - 27	14	2.7 - 2024.0	212
27 - 30	16	1.8 - 130.1	221
30 - 33	18	0.3 - 102.7	143
33 - 36	20	0.5 - 127.4	100
36 - 39	21	0.6 - 48.2	186

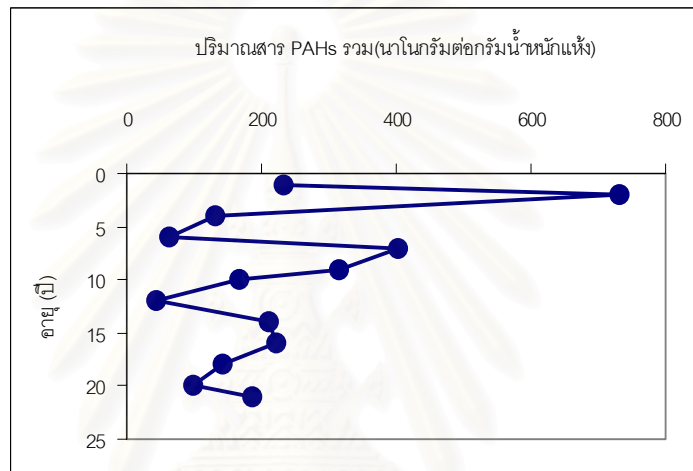
ตารางที่ 4.6 สรุปปริมาณ PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึก
สถานี C3(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

ความลึก (ซม.)	อายุปี	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	PAHs รวม
0 - 6	1	0.4 - 531.7	802
6 - 12	3	1.2 - 254.2	518
12 - 18	5	0.5 - 387.8	924
18 - 24	7	0.5 - 440.8	574
24 - 30	9	2.0 - 350.7	426
30 - 39	12	0.7 - 481.0	280

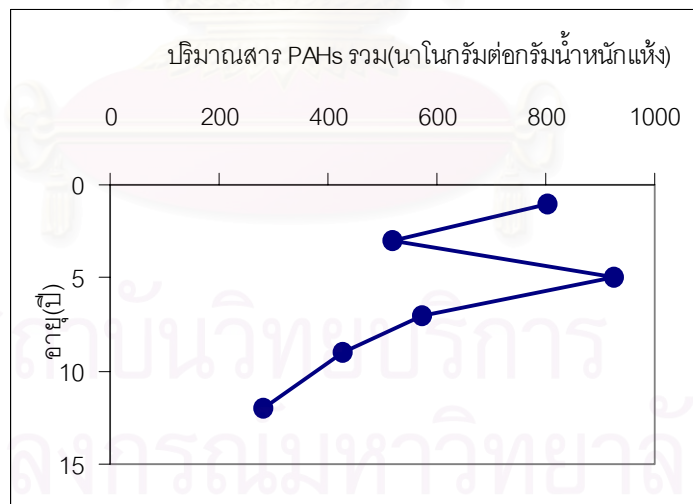
ก).



ข).



ค).



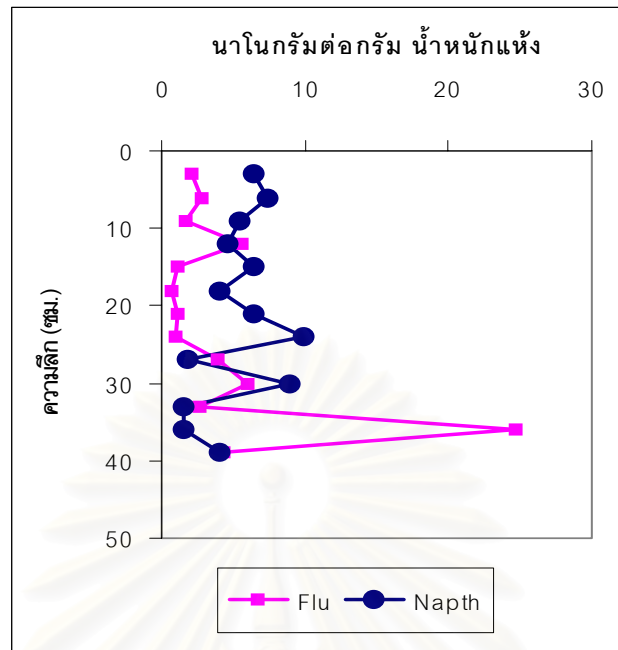
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ PAHs รวม (นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) กับความลึก

ก) สถานี C1

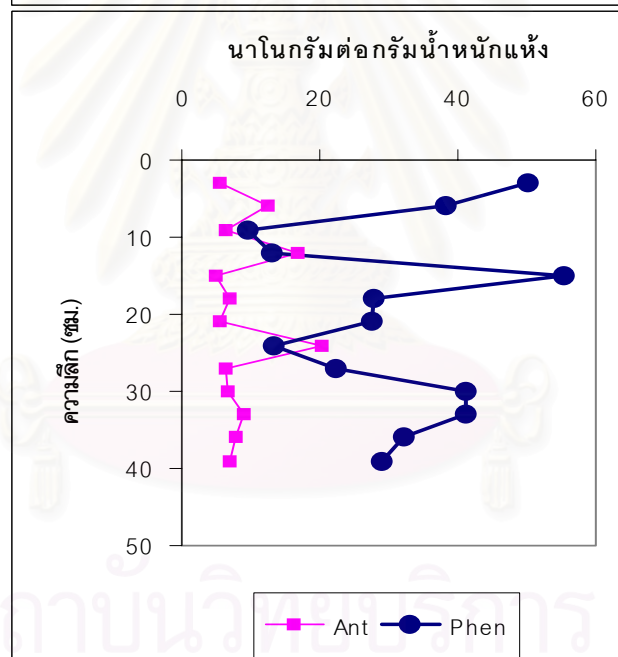
ข) สถานี C2

ค) สถานี C3

ก).



ข).



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงตามความลึกของฟลูออรีนเรนทีน แนพธาดีน

แอนทราซีนและฟีแนนทรีน

ก) สถานี C1 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของฟลูออรีนเรนทีนและแนพธาดีน

ข) สถานี C2 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามความลึกของแอนทราซีนและฟีแนนทรีน

ผลการศึกษาปริมาณของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เพื่อเป็นองค์ประกอบร่วมในการอธิบายผลการศึกษา PAHs

ก. ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้าสถานี (T1-T11) (M1-M3) (D1 และD2)

การวิเคราะห์ชนิดของนอร์มัลอัลเคน และไอโซพรีนอยด์ (พริสเทน และไฟเทน) ในตัวอย่างตะกอน ใช้การเปรียบเทียบค่ารีเทนชันไทม์ (RT) และค่าดัชนี Kovats ของสารละลายมาตรฐานอะลิฟาติก ดังตารางที่ ๑ ภาคนวค ด แสดงดัชนี Kovats ของสารละลายมาตรฐานอะลิฟาติก พบว่าจากตัวอย่างทั้งหมด 49 ตัวอย่าง ในการศึกษา พบนอร์มัลอัลเคนในทุกตัวอย่าง และมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ C_{14} - C_{34} พบพริสเทนและไฟเทนในเกือบทุกตัวอย่าง ปริมาณและชนิดของสารอะลิฟาติกของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับอยู่ในช่วง 61 – 100 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ ๑ ภาคนวค ๑ และมีค่า Method detection limit (MDL) ของการวิเคราะห์อะลิฟาติกในรูปของความเข้มข้นรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (รายละเอียดดังตาราง ๑ ภาคนวค ๑) ปริมาณอะลิฟาติกรวมของตะกอนผิวหน้าทุกสถานี (T1-T11) อยู่ในช่วง 0.73– 36.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ย 5.72 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะลิฟาติกรวมปริมาณสูงที่สุดสำหรับตะกอนผิวหน้าพบที่สถานี T6 (วัดนางสาว) มีค่าเท่ากับ 36.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (ดังรูปที่ 4.10)

ลักษณะของโครมาโทแกรมของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน พบสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Unresolved Complex Mixture หรือ UCM) ซึ่งไม่สามารถแยกองค์ประกอบได้ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเหมือนภูเขา ในโครมาโทแกรม ในตัวอย่างที่เป็นตัวอย่างตะกอนผิวหน้าพบ UCM ในทุกตัวอย่าง ยกเว้นตัวอย่าง T5 ซึ่งไม่มี UCM บริเวณ T4 พบ UCM ในช่วง C_{24} - C_{28} สถานี T6 พบ UCM สูงในช่วง C_{21} - C_{31} สถานี T8 และ T10 พบ UCM ในช่วง C_{25} - C_{31} และ T11 จะมี UCM สูงและกว้างเห็นได้ชัด สถานีในคลองมหาชัยพบ UCM สูงรวมทั้งสถานีคลองสุนัขหอนก็พบ UCM สูงและกว้างบริเวณกลางโครมาโทแกรม ลักษณะโครมาโทแกรมประกอบการพิจารณาแหล่งที่มาของไฮโดรคาร์บอน ดังแสดงในภาคผนวก ๑ ตารางที่ ๑ 1-2 เป็นตัวอย่างโครมาโทแกรมของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนของตัวอย่างตะกอนผิวหน้าได้แก่ สถานี T6 T8 M2 และ D2 สรุปปริมาณสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า ดังตารางที่ 4.7 โดยพบว่าบริเวณที่พบปริมาณสารอะลิฟาติกได้มากที่สุด สถานี T6

ตารางที่ 4.7 สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก ของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า
(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

สถานี	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	ปริมาณอะลิฟาติกรวม
T1	16.3 - 237.1	1,159
T2	11.1 - 731.3	5,268
T3	6.4 - 1,078.4	6,219
T4	2.4 - 489.1	3,540
T5	2.2 - 599.4	2,243
T6	47.8 - 7,481.9	36,599
T7	1.3 - 396.6	1,784
T8	4.6 - 108.5	733
T9	2.0 - 326.5	1,311
T10	2.1 - 300.4	2,077
T11	5.3 - 294.5	2,030
M1	3.0 - 244.8	2,053
M2	3.1 - 1,188.5	4,955
M3	3.4 - 403.9	2,820
D1	8.5 - 294.2	1,395
D2	6.5 - 96.0	839
	เฉลี่ย	4,689

4.7.2 ผลการวิเคราะห์อะลิฟาติก ในตัวอย่างตะกอนตามลำดับความลึกสถานี C1, C2 และ C3

ก. ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างตะกอนตามความลึก

พบสารอะลิฟาติกในตะกอนทุกชั้นของตัวอย่างและมีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ C_{14} - C_{34} กระจายของปริมาณนอร์มัลอัลเคนและไอโซพรีนอยด์ ตามลำดับความลึกของแต่ละสถานี แสดงในรูปที่ 4.11

สถานี C1 พบอะลิฟาติกกรวมอยู่ในช่วง 0.35 – 2.16 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณรวมเฉลี่ย 1.15 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง รายละเอียดของชนิดและปริมาณของสารอะลิฟาติก ดังแสดงในตารางที่ ๘. ภาคผนวก ๘. ปริมาณอะลิฟาติกมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ชั้นที่ 2 (ลึก 3-6 ซม.) ถึงชั้นที่ 9 (ลึก 24-27 ซม.) แล้วจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงชั้นที่ 11 (ลึก 30-33 ซม.) และช่วงสุดท้ายมีปริมาณลดลงจนถึงชั้นที่ 13 ซึ่งมีความลึก 39 ซม. ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะลิฟาติกตามความลึกของสถานี C1 ดังรูปที่ 4.9 ก และสรุปปริมาณของสาร อะลิฟาติกในแต่ละชั้นความลึกดังตารางที่ 4.8

สถานี C2 พบอะลิฟาติกกรวมอยู่ในช่วง 0.39 – 5.8 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณรวมเฉลี่ย 2.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะลิฟาติก มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ และมีปริมาณน้อยที่สุดในชั้นที่ 11 (ลึก 30 – 33 ซม.) มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงชั้นที่ 12 (ลึก 33 – 36 ซม.) และมีปริมาณคงที่จนถึงชั้นสุดท้ายที่ความลึก 39 ซม. ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะลิฟาติกตามความลึกของสถานี C2 ดังรูปที่ 4.9 ข. และตารางที่ 4.9

สถานี C3 พบอะลิฟาติกกรวมอยู่ในช่วง 2.61 – 5.22 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณรวมเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะลิฟาติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงไม่ชัดเจน . ดังแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะลิฟาติกตามความลึกของสถานี C2 ดังรูปที่ 4.9 ค. และสรุปปริมาณของสารอะลิฟาติกในแต่ละชั้นความลึกดังตารางที่ 4.10

ปริมาณอะลิฟาติก ในสถานี C1 C2 และC3 คือ 1.15, 2.63 และ 3.51 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ จะเห็นว่าสถานี C3 มีปริมาณอะลิฟาติกมากที่สุด รองลงมาคือ C2 และ C1 ตามลำดับ

ลักษณะโครมาโทแกรมของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนของตะกอนแต่ละชั้นในแต่ละสถานี จะพบ UCM เป็นส่วนใหญ่ และความสูงสุดของ UCM จะลดลงตามลำดับความลึก สถานี C1 พบพริสเทนเกือบทุกชั้น ชั้นที่ 9 และ 10 ไม่พบพริสเทน พบไฟเทนในชั้น 1 2 9 10 11 และ 12 สถานี C2 พบพริสเทนในทุกชั้นแต่พบไฟเทนในชั้น 1 2 4 และ 8 สถานี C3 พบพริสเทนในทุกชั้น แต่พบไฟเทนในชั้น 1 4 และ 6 เท่านั้น ส่วนใหญ่พบค่านอร์มัลอัลเคนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยมีนอร์มัลอัลเคนเด่นในช่วงที่แตกต่างกัน โดยมากมักจะเด่นในช่วง $C_{21} - C_{31}$ รายละเอียดการพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนของแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ ๓.2, ๓.3. และ ๓.4. ภาคผนวก ๓.

ตารางที่ 4.8 สรุปปริมาณสารอะลิฟาติก (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)
ของตัวอย่างตามความลึกของสถานี C1

ความลึก (ซม.)	อายุ (ปี)	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	อะลิฟาติกรวม
0 - 3	1	2.3 - 129.0	872
3 - 6	4	4.9 - 545.0	2,157
6 - 9	6	6.9 - 373.3	1,728
9 - 12	9	7.8 - 317.9	1,575
12 - 15	11	6.2 - 300.9	1,438
15 - 18	14	4.5 - 316.7	1,327
18 - 21	17	5.3 - 266.9	1,286
21 - 24	20	3.4 - 164.2	839
24 - 27	22	8.4 - 89.7	352
27 - 30	25	5.8 - 594.9	976
30 - 33	28	3.3 - 232.9	771
33 - 36	31	3.6 - 232.1	858
36 - 39	34	14.8 - 199.4	782
		เฉลี่ย	1,151

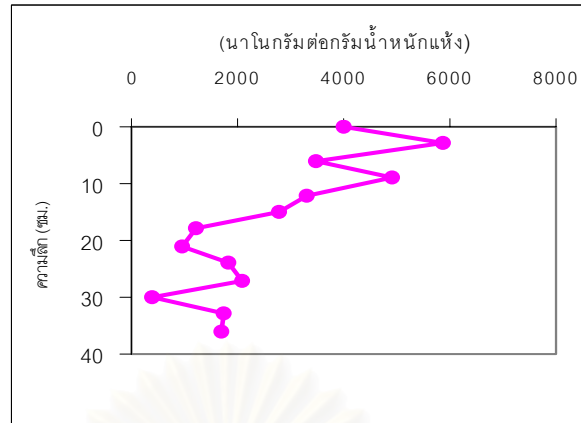
ตารางที่ 4.9 สรุปปริมาณสารอะลิฟาติกของตัวอย่างตาม
ความลึกของสถานี C2(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

ความลึก (ซม.)	อายุ (ปี)	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	อะลิฟาติกรวม
0 - 3	1	1.6 - 1461.5	4,010
3 - 6	2	3.0 - 1851.6	5,851
6 - 9	4	7.9 - 1151.1	3,473
9 - 12	6	4.1 - 3645.3	4,927
12 - 15	7	9.6 - 1202.3	3,314
15 - 18	9	6.9 - 922.7	2,787
18 - 21	10	3.7 - 292.0	1,221
21 - 24	12	4.3 - 124.5	966
24 - 27	14	7.0 - 574.1	1,825
27 - 30	16	6.7 - 601.8	2,088
30 - 33	18	0.7 - 81.3	395
33 - 36	20	5.6 - 407.9	1,734
36 - 39	21	5.4 - 402.3	1,716

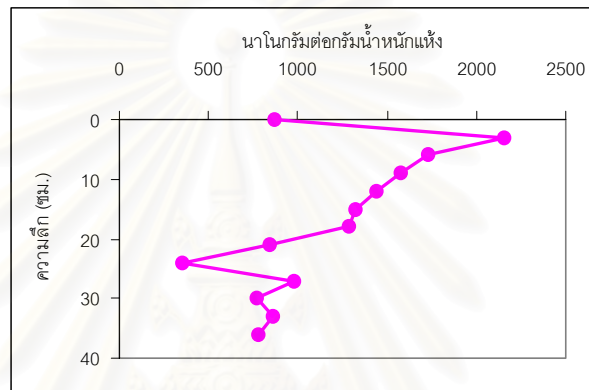
ตารางที่ 4.10 สรุปปริมาณสารอะลิฟาติกของตัวอย่าง
ตามความลึกของสถานี C3(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

ความลึก (ซม.)	ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด	อะลิฟาติกรวม
0 - 6	34.1 - 648.8	3,277
6 - 12	27.1 - 728.7	3,709
12 - 18	27.5 - 619.4	2,662
18 - 24	29.8 - 768.6	3,562
24 - 30	15.4 - 314.4	2,618
30 - 39	31.1 - 3,027.5	5,217

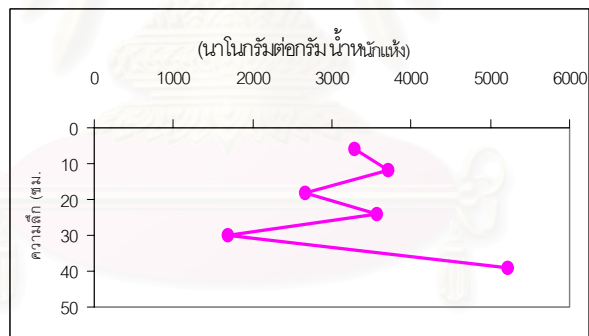
ก).



ข).



ค).

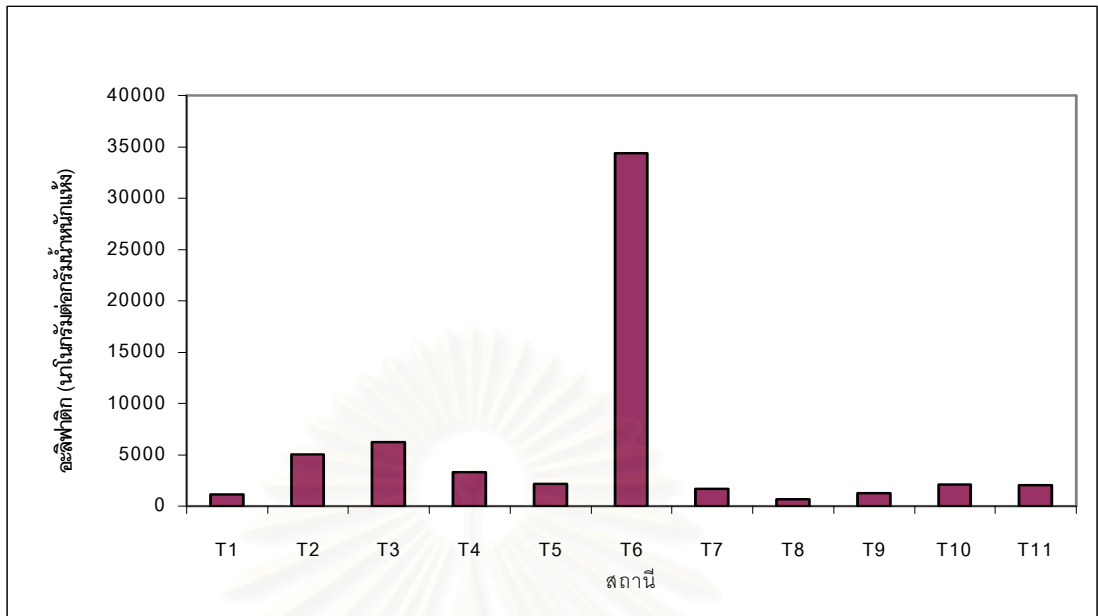


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะลิฟาติก (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) กับความลึก

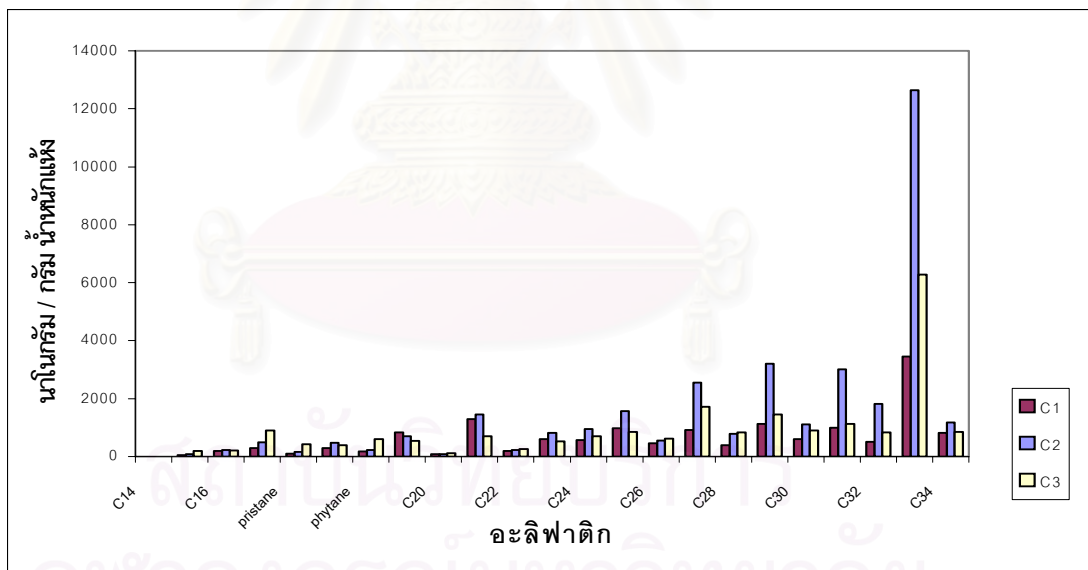
ก). สถานี C1

ข). สถานี C2

ค). สถานี C3



รูปที่ 4.10 ปริมาณอะลิฟาติกในตะกอนผิวหน้าบริเวณสถานี T1 - T11



รูปที่ 4.11 ปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมแต่ละชนิดของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1 C2 และ C3

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน ตะกอนดิน ในตัวอย่างจำนวน 11 สถานีของตัวอย่างตะกอนตามลำน้ำ และคลองมหาชัย 3 สถานี คลองสุนัขหอน 2 สถานี และตัวอย่างตามความลึกจำนวน 3 สถานี จำนวน 19 สถานี พร้อมทั้งผลการหาค่าประกอบที่เกี่ยวข้องได้แก่ สารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ขนาดของตะกอน (grain size) เปอร์เซ็นต์น้ำ pH Eh เปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอน (%OC) และอายุตะกอน สามารถวิจารณ์ผลการศึกษาได้ตามลำดับดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษาลักษณะทั่วไปของตะกอน

5.1.1 ตัวอย่างตะกอนผิวน้ำ

ลักษณะตะกอนบริเวณผิวน้ำจากการวิเคราะห์ลักษณะตะกอนพบว่า สถานี T1- T11 คลองมหาชัย (M1 – M3) และคลองสุนัขหอน (D1 – D2) มี ลักษณะตะกอนเป็นแบบ sandy clay loam และ sandy loam ลักษณะของตะกอนมีผลต่อการดูดซับสารอินทรีย์และสารไฮโดรคาร์บอน โดยตะกอนที่มีขนาดเล็ก ๆ เช่น clay ก็จะสามารถดูดซับสารต่าง ๆ ได้มากกว่า รวมทั้งมีปริมาณ สารอินทรีย์มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น อนุภาคของ sand ลักษณะของตะกอนจึงเป็นสิ่งที่ต้อง มาพิจารณาร่วมด้วยเสมอในการวิเคราะห์สารอินทรีย์และสารไฮโดรคาร์บอนในตะกอน จาก การศึกษาครั้งนี้ในตัวอย่างตามลำน้ำ T1 – T11 มีลักษณะตะกอนส่วนใหญ่เป็น sandy clay loam เช่นเดียวกับตัวอย่างในสถานีคลองมหาชัยและสุนัขหอน ซึ่งจะพบว่ามีปริมาณ sand มากที่สุด รองลงมาคือ clay และ silt ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สารอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 2.57 สำหรับสถานี T1 – T11 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเทียบกับการศึกษาของ จรุงญ สารินทร์ (2537) ซึ่งตะกอนในบางสถานีมีปริมาณ clay สูง จะพบปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนอยู่ที่ ประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้จึงแสดงให้เห็นว่าการสะสมของปริมาณ สารอินทรีย์ที่สถานีนี้อาจจะได้รับผลจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากขนาดของอนุภาค

ตะกอนมีเปลือกหอย เศษไม้ เศษขยะปนอยู่ด้วย แสดงว่าบริเวณนี้น่าจะได้รับอิทธิพลการ ปนเปื้อนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์อันได้แก่การถ่ายเทของเสียลงสู่แหล่งน้ำ การพบเศษไม้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่มีสะสมอยู่ในตะกอนส่วนหนึ่งก็เกิดจากการย่อยสลายจากพืช ที่อยู่ในบริเวณนั้น

จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh ที่มีค่าเป็นลบมาก แสดงว่าดินตะกอนบริเวณ สถานี T1 - T11 มีสภาพเป็นรีดิวซิ่ง คือ สภาพที่มีออกซิเจนอยู่น้อยหรือไม่มีเลย

5.1.2 ตัวอย่างตะกอนตามความลึก

สถานีปากแม่น้ำท่าจีนฝั่งตะวันออก (C1) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็นแบบ sandy loam และ sandy clay loam ซึ่งจะมีปริมาณ sand มากที่สุดรองลงมาคือ clay และ silt ดังนั้นในบริเวณนี้ปริมาณการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนไม่ควรจะมีปริมาณมาก เมื่อเทียบกับตะกอนที่มี clay ผสมอยู่มาก จากการศึกษ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในสถานีนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.72 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ จรุง สุวรินทร์ (2537) และ การศึกษาของ วราภรณ์ ศรีมูล (2544) พบว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในบริเวณนี้ยังมีปริมาณมากกว่าถึงแม้ลักษณะของตะกอนจะมี sand ผสมอยู่มาก ดังนั้นแสดงว่าบริเวณที่ทำการศึกษานี้ ได้รับปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มาก

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh มีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า บริเวณนี้เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณออกซิเจนจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นดังนั้นตะกอนชั้นล่าง ๆ จึงมีสภาพเป็นรีดิวซิ่ง ดังนั้นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในตะกอนที่ลึก ๆ ซึ่งขาดออกซิเจนได้นั้นต้องเป็นสิ่งมีชีวิตประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจน

อายุของตะกอนบริเวณนี้พบว่ามีอายุมากที่สุดคือ 34 ปี ที่ความลึก 36 – 39 ซม. ซึ่งเป็นช่วงอดีตที่มีอุตสาหกรรมในบริเวณแม่น้ำท่าจีนเกิดขึ้นแล้ว และมีความหลากหลายในกิจกรรมบริเวณริมน้ำมากขึ้นและพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน

สถานีปากแม่น้ำท่าจีนฝั่งตำบลบางหญ้าแพรก (C2) พบว่าลักษณะของตะกอนเป็นแบบ sandy clay loam ซึ่งมี sand ในปริมาณที่มากที่สุด และพบว่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ยังคงมีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาของ วราภรณ์ ศรีมูล (2544) เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่เป็นป่าชายเลนหนาแน่น ปริมาณสารอินทรีย์ที่พบในปริมาณมาก อาจจะเป็นเนื่องจากการสะสมของซากพืชหรือซากสิ่งมีชีวิตที่พบในบริเวณนั้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh พบว่ามีแนวโน้มว่ามีค่าลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณออกซิเจนจะลดลงเรื่อย ๆ เช่นเดียวกับ C1

สถานีคลองสุนัขหอน (C3) พบว่าลักษณะของตะกอน เป็นแบบ sandy clay loam คือจะมีปริมาณ sand มากที่สุด แต่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ก็พบว่าค่าที่ใกล้เคียงกับอีกสองสถานี แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Eh ไม่ชัดเจน เหมือนสถานีที่ C1 และ C2 ดังนั้นจึงไม่สามารถความสัมพันธ์

ของค่า Eh ตามลำดับความลึกของตะกอนได้ โดยอายุของตะกอนในบริเวณนี้มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 11 ปี เนื่องจากอัตราการตกตะกอนของบริเวณนี้มีค่าสูงที่สุด และจากการสำรวจลักษณะทั่วไปของสถานีนี้พบว่าบริเวณที่เก็บตัวอย่างเป็นบริเวณที่โค้งของลำคลองจึงเกิดเป็นเนินตะกอนขึ้น การที่เกิดเป็นเนินตะกอนแสดงให้เห็นว่าบริเวณนั้นเกิดการทับถมของตะกอนได้มากกว่าบริเวณอื่น ๆ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้อัตราการตกตะกอนมีค่าสูงอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลให้อายุของตะกอนบริเวณนี้มีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่นในระดับความลึกที่เท่ากัน

5.2 ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอน

ก). ชนิดและปริมาณ PAHs ในตะกอนผิวหน้า

ปริมาณของ PAHs รวมของตะกอนตัวอย่างผิวหน้าพบว่ามีค่า PAHs รวมอยู่ในช่วง 0.23 – 1.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาบริเวณอื่น เช่น การศึกษาของ เกศินี สรรวานิช (2533) ซึ่งทำการศึกษาระดับน้ำท่าจีนพบปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 0.3 – 6.2 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งในเดือนมีนาคม และ 0.6 – 5.1 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบว่า PAHs ที่พบปริมาณสูงสุดคือ phenanthrene ส่วน biphenyl 2,6 – dimethylnaphthalene และ 1-methylphenanthrene พบอย่างกว้างขวาง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้พบชนิดของสาร PAHs ที่แตกต่างกันคือ จะพบ chrysene ในปริมาณที่มากที่สุด รองลงมาคือ phenanthrene และปริมาณที่พบในการศึกษาของเกศินีจะมีปริมาณที่มากกว่าในการศึกษานี้ เนื่องจากบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างแตกต่างกัน รวมทั้งแหล่งกำเนิดโดยรวมของการศึกษาของเกศินีจะไม่เด่นชัดคือมีทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากน้ำมันและการเผาไหม้ ต่างจากการศึกษานี้ที่พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของบริเวณนี้มาจากการเผาไหม้ รองลงมาคือมาจากการปนเปื้อนเนื่องจากน้ำมัน การศึกษาของ กฤตยาพร ทักษะทัต (2537) ศึกษาบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง พบปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง trace – 1.66 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยพบว่ามีค่ามากที่สุดบริเวณชุมชน จากการศึกษาของ พรศรี สุทธนารักษ์ (2533) ซึ่งทำการศึกษาระดับน้ำท่าพรหมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยองพบว่าปริมาณสาร PAHs ในช่วง 0.06 – 0.87 และ 0.27 – 1.87 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 0.33 และ 0.69 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ในเดือนตุลาคม และมิถุนายน ตามลำดับ การศึกษาของ วราภรณ์ ศรีมูล (2544)

ศึกษาบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 1.31 – 3.59 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2.77 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปริมาณที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในบริเวณอุตสาหกรรมแปรสภาพเรือเหล็กเก่า บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง และ มีค่าน้อยกว่าการศึกษาในบริเวณเดียวกันนี้ เมื่อปี 2533 และบริเวณอ่าวศรีราชา เมื่อเปรียบเทียบกับเอสทูรีในบริเวณต่าง ๆ ในโลก (ตารางที่ 2.5) พบว่าปริมาณที่พบในการศึกษาตะกอนผิวหน้าครั้งนี้มีค่า มากกว่าบริเวณ Chesapeake Bay สหรัฐอเมริกา แต่ถ้าเทียบกับบริเวณ Green Bay, Wisconsin บริเวณ Charles River และ อ่าว Bedford Harbour ซึ่งมีปริมาณ PAHs สูงถึง 87,000 - 120,000 ppb น้ำหนักเปียก และ 63,000 ppb น้ำหนักเปียก (Kennish,1992) ตามลำดับ พบว่าในบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีนในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณน้อยกว่ามาก เพราะบริเวณเหล่านี้เป็นแหล่งอุตสาหกรรม

ปริมาณสาร PAHs รวมที่พบในบริเวณตะกอนผิวหน้าในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าบริเวณที่มีสาร PAHs มากที่สุดคือ สถานี T6 รองลงมาคือ M1 C3 T4 และ D1 ตามลำดับ อธิบายปริมาณการสะสมในบริเวณดังกล่าวได้ว่า ในบริเวณตามลำน้ำท่าจีน ซึ่งพบว่าสถานี T6 มีการสะสมของสาร PAHs มากที่สุดรองลงมาคือ สถานี T4 เนื่องจากทั้งสองสถานี จะได้รับสาร PAHs ซึ่งมีแหล่งที่มาจากการปล่อยน้ำเสียจากคลองภาษีเจริญ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสาร PAHs เช่น การปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว ที่มาจากแหล่งชุมชน โดยเฉพาะมาจากกรุงเทพมหานครลงสู่คลองภาษีเจริญ โดยน้ำเสียในคลองภาษีเจริญจะพัดพาตะกอนแขวนลอยที่มีสาร PAHs ติดจับอยู่ที่ผิว ไหลลงสู่แม่น้ำท่าจีน และเนื่องจากบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีนเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล ดังนั้นในช่วงที่มีการขึ้นของน้ำทะเล ตะกอนแขวนลอยที่มาจากคลองภาษีเจริญจะถูกพัดพาขึ้นไปตามลำน้ำโดยพบว่าลักษณะลำน้ำท่าจีนในบริเวณที่อยู่เหนือปากคลองภาษีเจริญ (ดังรูปที่ 3.1) มีลักษณะที่คดเคี้ยว ดังนั้นจึงทำให้อนุภาคของสารแขวนลอยสามารถที่จะถูกกักขังและตกตะกอนทับถมในบริเวณสถานี T6 ได้มาก เมื่อมีการลงของน้ำทะเลอนุภาคของสารแขวนลอยที่มาจากคลองภาษีเจริญ จะถูกพัดพาลงมากับน้ำทะเลทำให้เกิดการสะสมได้ดีในบริเวณสถานี T4 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใต้คลองภาษีเจริญ (ดังรูปที่ 3.1) ดังนั้นจึงพบการสะสมของสาร PAHs ในบริเวณสถานี T4 และ T6 ในระดับสูง ในบริเวณคลองมหาชัยพบว่าสถานี M1 ซึ่งเป็นสถานีที่พบว่าปริมาณของสาร PAHs มากที่สุด เนื่องจากเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับปากคลองโดยเป็นที่ตั้งของท่าเรือเทศบาล ซึ่งมีเรือข้ามฟากสัญจรไปมาอยู่ตลอดเวลา และมีการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง มีการปล่อยถ่ายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วในเรือลงสู่แหล่งแม่น้ำท่าจีนหรือจากการเผาไหม้เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะทั้งบนบกและในน้ำ การถ่ายเทน้ำเสียที่มีน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วลงสู่บริเวณท่าเรือ ซึ่งล้วนแต่เป็นแหล่งที่มาที่สำคัญของสาร PAHs ดังนั้นเมื่อมีการขึ้นของน้ำทะเลจึงทำให้อนุภาคของสารแขวนลอย ในบริเวณ

ท่าเรือเทศบาลถูกพัดพาเข้าไปในคลองมหาชัยและเกิดการตกตะกอนที่บึงมดสมบูรณ์ในสถานี M1 ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้ที่สุดเมื่อเทียบกับสถานี M2 และ M3 ซึ่งอยู่ไกลออกไปจากท่าเรือเทศบาล นอกจากนี้ในขณะที่น้ำทะเลขึ้นอนุภาคของสาร PAHs จะถูกพัดพาไปตามกระแสไหลเข้าไปสะสมได้ในบริเวณคลองสุนัขหอน ซึ่งบริเวณสถานี C3 ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับท่าเรือเทศบาลที่สุดเมื่อเทียบกับสถานี D1 และ D2 ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในคลองสุนัขหอน และเนื่องจากในคลองสุนัขหอนเป็นคลองปิดดังนั้นจึงมีอัตราการตกตะกอนที่สูงที่สุด จากการผลการศึกษาพบว่าอัตราการตกตะกอนในบริเวณสถานี C3 จะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับบริเวณปากแม่น้ำ (ตารางที่ 4.2) จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้มีการสะสมของอนุภาคของสาร PAHs ได้ดีในบริเวณนี้

จากการศึกษาของ Page และคณะ (1999) พบว่า PAHs ที่มาจากการกระทำของมนุษย์มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากสองแหล่งใหญ่ๆคือ

1. PAHs ที่มาจากปิโตรเลียม (petrogenic PAHs) คือสาร PAHs ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปิโตรเลียมหรือผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยคุณสมบัติที่พบได้บ่อยคือ เป็นสารที่เป็นกลุ่มโมเลกุลหลักของ PAHs (Parent) ได้แก่ naphthalene fluorene phenanthrene dibenzothiophene และ chrysene ซึ่งมีจำนวนวงแหวนตั้งแต่ 2-4 วง กับกลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่ในโมเลกุล โดยพบว่าปริมาณของสารกลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่มักจะพบว่ามีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มหลักๆ
2. PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ถ่านหินหรือน้ำมันและจากไฟไหม้ โดยโมเลกุลที่พบมักจะเป็นโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs โดยมีจำนวนวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 3-5 วง พบ PAHs โมเลกุลหลัก เช่น fluoranthene และ pyrene โดยพบว่าปริมาณของสารกลุ่มหลักมักจะพบว่ามีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่

ดังนั้นในการพิจารณาดัชนี $\Sigma MP/P$ ซึ่งพบว่าถ้าค่า ΣMP มีค่ามากกว่า P(Phenanthrene) แสดงว่าปริมาณของ PAHs ที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่จะพบได้มากกว่า PAHs กลุ่มหลักซึ่งทำให้อัตราส่วนของ $\Sigma MP/P$ มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงให้เห็นว่า PAHs ที่พบจะมีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม (petrogenic) และหาก $\Sigma MP/P$ มีค่าน้อยกว่า 1 จะแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดที่ได้มาจาก pyrolytic ซึ่งจะพบ PAHs กลุ่มที่มีหมู่ฮัลคิลมาแทนที่ได้มากกว่ากลุ่มหลักๆ (Budzinski,1997)

ตารางที่ 5.1 ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

ratio	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
(2+3)-ring PAHs/(4+5)-ringPAHs	0.53	0.60	2.17	3.70	0.48	3.80	0.56	1.18	1.12	0.66	0.55	1.44	1.04	0.20	0.21	0.30
ผลรวมMP/P	0.33	0.29	0.14	0.19	0.55	0.39	0.28	0.32	0.21	0.21	0.50	0.42	0.58	-	0.81	0.57
Fluoranthene/Pyrene	1.31	1.31	0.49	-	1.06	0.02	-	1.38	1.20	1.05	0.65	1.31	1.33	0.06	0.14	0.03
Phenanthrene/Anthracene	2.93	7.77	4.58	4.58	7.00	11.03	7.76	14.03	7.40	1.27	7.65	2.61	0.93	-	0.14	0.03
แหล่งกำเนิดหลัก	pyro	pyro	pyro	petro	pyro	petro	pyro	petro	petro	pyro	pyro	petro	pyro	pyro	pyro	pyro

ตารางที่ 5.2 ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1

ratio	ความลึก (ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 -39
(2+3)-ring PAHs/(4+5)-ringPAHs	0.26	0.35	0.25	0.24	0.44	0.36	0.29	0.49	0.43	0.83	0.94	1.14	0.60
ผลรวมMP/P	0.97	0.23	0.42	-	0.18	0.45	0.17	0.70	0.55	1.41	0.80	-	1.36
Fluoranthene/Pyrene	1.14	1.48	-	0.91	0.84	1.23	1.21	1.37	1.31	0.81	0.72	1.36	1.55
Phenanthrene/Anthracene	3.14	4.7	3.75	-	4.17	3.05	3.77	3.53	5.12	-	16.65	-	1.68
แหล่งกำเนิดหลัก	pyro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ pyro = pyrolytic origin , petro = petrogenic origin

- = ไม่จำเป็นต้องบอกแหล่งที่มาเนื่องจากที่ลึกลงไปอาจจะเกิดกระบวนการที่ทำให้ PAHs เปลี่ยนแปลงรูปได้

ตารางที่ 5.3 ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C2

ratio	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
(2+3)-ring PAHs/(4+5)-ringPAHs	1.48	0.51	0.09	1.37	1.44	0.27	0.93	14.43	0.59	0.29	1.21	2.52	0.54
ผลรวมMP/P	1.22	1.27	0.49	-	1.08	0.05	-	-	0.15	0.04	0.84	0.85	0.87
Fluoranthene/Pyrene	1.15	0.77	-	1.23	1.14	1.05	1.30	1.59	1.44	1.51	0.08	1.72	1.55
Phenanthrene/Anthracene	8.90	3.03	1.53	0.78	10.91	3.96	5.05	0.65	3.42	6.07	4.61	4.20	4.24
แหล่งกำเนิดหลัก	petro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 5.4 ค่าดัชนีที่ใช้พิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C3

ratio	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
(2+3)-ring PAHs/(4+5)-ringPAHs	4.14	1.66	0.28	2.31	1.97	1.39
ผลรวมMP/P	0.55	-	-	0.89	1.12	1.07
Fluoranthene/Pyrene	2.55	-	0.50	1.45	1.40	1.43
Phenanthrene/Anthracene	7.35	-	-	5.08	5.53	5.37
แหล่งกำเนิดหลัก	Petro=pyro	-	-	-	-	-

หมายเหตุ pyro = pyrolytic origin , petro = petrogenic origin

- = ไม่จำเป็นต้องบอกแหล่งที่มาเนื่องจากที่ลึกลงไปอาจจะเกิดกระบวนการที่ทำให้ PAHs เปลี่ยนแปลงรูปได้

ในการพิจารณาดัชนี Phenanthrene/Arthracene (P/A) (Budzinski,1997) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ ปริมาณ Phenanthrene ก็จะน้อยลง ทำให้อัตราส่วนของ P/A มีค่าน้อย ดังนั้นในแหล่งกำเนิดที่มาจาก Petrogenic จะมีค่าดัชนีสูงมีค่ามากกว่า 10

ดัชนี Fluoranthene/Pyrene พบว่าในการใช้ถ่านหินที่ประเทศออสเตรเลียมีค่าดัชนีอยู่ในช่วง 0.3-0.7 (Masclat และคณะ,1987)

ดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) โดยทั่วไป (2+3-ring) PAHs มักจะพบได้มากใน PAHs ที่มาจาก petrogenic และ (4+5-ring) PAHs มักจะพบใน PAHs ที่มาจาก pyrolytic ดังนั้นถ้าค่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic แต่ถ้าค่า (4+5-ring) มีค่ามากกว่า (2+3-ring) ก็จะได้อัตราส่วนน้อยกว่า 1 นั่นก็แสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจาก pyrolytic

จากการพิจารณาดัชนี เพื่อบ่งบอกแหล่งกำเนิดของสาร PAHs สามารถอธิบายแหล่งที่มาของสาร PAHs จากบริเวณที่ทำการศึกษาคั้งนี้ โดยแบ่งบริเวณตามประเภทของแหล่งกำเนิดหลักออกได้เป็น 2 ประเภท คือ บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก pyrolytic และบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก petrogenic โดยยกตัวอย่างการพิจารณาแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้

สถานี T6 จากการพิจารณามีค่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.53 ซึ่งมาค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าพบปริมาณ (4+5-ring) PAHs มากกว่า (2+3-ring) PAHs ซึ่งโดยปกติ (4+5-ring) PAHs เป็นลักษณะของ PAHs ที่พบได้ใน petrogenic ดังนั้นจึงสอดคล้องกับดัชนี P/A ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 11.03 ซึ่งมีค่ามากกว่า 10 แสดงให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดมาจาก petrogenic เช่นกัน และเมื่อพิจารณาการปรากฏของ UCM พบว่ามี UCM ปรากฏ ซึ่งก็ยืนยันว่ามีการปนเปื้อนเนื่องจากน้ำมัน แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนี $\Sigma MP/P$ พบว่ามีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงว่า PAHs ที่พบส่วนใหญ่จะเป็น phenanthrene ซึ่งเป็นลักษณะของ PAHs ที่พบได้ในกระบวนการเผาไหม้ มากกว่า substituted phenanthrene ดังนั้นจึงบอกให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจาก pyrolytic

ดังนั้น จากการพิจารณาแหล่งกำเนิดของ PAHs โดยรวมทุกดัชนีพบว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสถานี T6 มาจาก petrogenic รองลงมาคือมาจากการ pyrolytic

สถานี T11 พบว่าเมื่อพิจารณาค่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs จะมีค่าเท่ากับ 0.55 ดัชนี $\Sigma MP/P$ มีค่าเท่ากับ 0.5 และดัชนี Fluoranthene/Pyrene มีค่าเท่ากับ 0.65 (ซึ่งอาจจะ มีแหล่งกำเนิดมาจากถ่านหิน) ซึ่งทั้งสามค่าดัชนีบอกให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดเดียวกันคือ มาจาก pyrolytic แต่เมื่อพิจารณาการปรากฏของ UCM พบว่ามี UCM ปรากฏ ดังนั้นบริเวณนี้จึงมีการ

ปนเปื้อนเนื่องมาจากน้ำมันร่วมด้วย อย่างไรก็ตามแนวโน้มของทุกดัชนีบ่งชี้ให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในบริเวณนี้มาจากการเผาไหม้

จากการพิจารณาของแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในลักษณะเดียวกับสถานี T6 และ T11 ทำให้สามารถแบ่งแยกบริเวณที่ทำการศึกษาครั้งนี้ ออกได้เป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจาก pyrolytic ได้แก่ บริเวณสถานี T1 T2 T3 T5 T7 T10 T11 M2 M3 D1 และ D2 และบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs มาจาก petrogenic ได้แก่ บริเวณสถานี T4 T6 T8 T9 และ M1 ดังแสดงรายละเอียดของค่าดัชนีต่างๆ ในตารางที่ 5.1

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ที่พบได้มากที่สุด ในบริเวณ เอสทูรีแม่น้ำท่าจีนมาจากการเผาไหม้ ในที่นี้ จะมาจากควันเสียจากยานพาหนะที่วิ่งผ่านสะพานมหาชัยข้ามคลองมหาชัย และจากการใช้เชื้อเพลิงของเรือที่สัญจรไปมาในคลองมหาชัย รวมทั้งจากควันเสียของแหล่งชุมชน จากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสองข้างฝั่งแม่น้ำท่าจีน และการปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ แหล่งกำเนิดรองลงมาคือ มาจาก petrogenic เช่น บริเวณท่าเรือเทศบาล ซึ่งมีการล้างเรือ และปล่อยน้ำทิ้งที่มีคราบน้ำมันเกาะติดลงสู่แหล่งน้ำ บริเวณโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำเสียที่มีคราบน้ำมันปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ

ข) ชนิดและปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนตามความลึก

สถานี C1 เป็นสถานีปากแม่น้ำตะวันออก มีปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 98.8-314.8 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในบริเวณนี้จะพิจารณาจากดินตะกอนที่ผิวหน้า ที่ชั้นความลึก 0-3 ซม. พบว่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs มีค่าเท่ากับ 0.26 แสดงว่ามีปริมาณ (2+3-ring) PAHs มากกว่า (4+5-ring) ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้และดัชนี $\Sigma MP/P$ มีค่าเท่ากับ 0.97 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากไหน แต่เมื่อพิจารณาลักษณะ UCM ที่ปรากฏในโครมาโทแกรมของสารอะลิฟาติกพบว่ามี UCM ปรากฏชัด ดังนั้น PAHs ในบริเวณสถานีปากแม่น้ำซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่มาจากทั้งการเผาไหม้และจากน้ำมัน ดังแสดงรายละเอียดของค่าดัชนีต่างๆ ในตาราง 5.2

สถานี C2 เป็นสถานีปากแม่น้ำฝั่งตำบลบางหญ้าแพรก ซึ่งพบว่ามีปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 43.5-731.6 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในบริเวณนี้จะพิจารณาจากดินตะกอนที่ผิวหน้า ที่ชั้นความลึก 0-3 ซม. พบว่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs มีค่าเท่ากับ 1.48 และดัชนี $\Sigma MP/P$ มีค่าเท่ากับ 1.22 ซึ่งทั้งสองค่าบ่งบอกแหล่งที่มาจากน้ำมัน และยืนยันโดยลักษณะ UCM ที่ปรากฏในโครมาโทแกรมของสาร

อะลิฟาติก ดังนั้นแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในบริเวณนี้ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน ดังแสดงรายละเอียดของค่าดัชนีต่างๆในตารางที่ 5.3

สถานี C3 เป็นสถานีบริเวณคลองสุนัขหอน ซึ่งพบว่าปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 0.28-0.92 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในการพิจารณาแหล่งที่มาของสาร PAHs ในบริเวณนี้จะพิจารณาจากดินตะกอนที่ผิวหน้า ที่ชั้นความลึก 0-3 ซม. พบว่าดัชนี (2+3-ring) / (4+5-ring) PAHs มีค่าเท่ากับ 4.14 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจาก petrogenic และดัชนี $\Sigma MP/P$ มีค่าเท่ากับ 0.55 ซึ่งน้อยกว่า 1 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจาก pyrolytic แต่พบว่ามี UCM ที่ปรากฏในโครมาโทแกรมของสารอะลิฟาติก ดังนั้นแหล่งกำเนิดหลักของสาร PAHs ในบริเวณนี้ซึ่งมาจากการปนเปื้อนของน้ำมัน ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าบริเวณนี้มีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากทั้งการปนเปื้อนเนื่องจากน้ำมันและจากการเผาไหม้ ดังแสดงรายละเอียดของค่าดัชนีต่างๆในตารางที่ 5.4

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟลูออแรนทีน และแนพธาซีนตามความลึกในสถานี C1 การเปลี่ยนแปลงของแอนทราซีนและพีแนนทีนตามความลึกในสถานี C2 (ดังรูป 4.8 ก-ข) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนทั้งสองบริเวณ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ถูกรบกวนโดยกิจกรรมของมนุษย์ เช่น อาจจะมีชุดลอก ซึ่งทำให้การทับถมของตะกอนไม่เป็นไปตามธรรมชาติ

การศึกษาปริมาณของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เพื่อเป็นองค์ประกอบร่วมในการอธิบายผลการศึกษา PAHs

ในการอธิบายผลการศึกษานิตและปริมาณของสาร PAHs ทำให้สามารถบอกถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของการสะสมของสาร PAHs ได้ในระดับหนึ่งจากการพิจารณาค่า ดัชนีต่าง ๆ แต่ทั้งนี้ แหล่งที่มาของสารไฮโดรคาร์บอนในแม่น้ำ ยังมีแหล่งกำเนิดได้หลายแหล่ง ฉะนั้นการพิจารณานิตและปริมาณของสารอะลิฟาติกเพิ่มเติมจะช่วยยืนยันให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนมากขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก). ชนิดและปริมาณอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า

1) ปริมาณรวมของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าสถานี มีค่าอยู่ในช่วง 0.84 – 36.60 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.65 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมอยู่ในช่วง 0.76 – 35.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในการศึกษาในลักษณะเดียวกันนี้พบว่า การศึกษาของ เกศินี สรรวานิช (2533) พบนอร์มัลอัลเคนรวมในแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 20.99 ± 0.46 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 15.39 ± 3.15 ไมโครกรัมต่อกรัม ในเดือนมีนาคมและเดือนสิงหาคม

การศึกษาของ จรุงญู สารินทร์ (2537) พบปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมในตะกอนจากชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอยู่ห่างจากฝั่งประมาณ 68 กิโลเมตร มีค่า 0.06 – 0.87 ไมโครกรัมต่อกรัม การศึกษาของ วรรณญา วิรุฬห์ผล (2532) ซึ่งศึกษาในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และท่าเรือคลองเตย มีค่า 0.40 – 45 ไมโครกรัมต่อกรัมในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และมีค่า 1.2 – 8.2 ไมโครกรัมต่อกรัมบริเวณท่าเรือคลองเตย การศึกษาของ เซาว์น นกอยู่ (2537) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พบนอร์มัลอัลเคนเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคมและกันยายน เท่ากับ 5.20 และ 5.82 ไมโครกรัมต่อกรัม การศึกษาของ พรศรี สุทธนารักษ์ (2533) บริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปเกลือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง พบสารนอร์มัลอัลเคนรวมเท่ากับ 0.35 และ 0.36 ไมโครกรัมต่อกรัมในเดือนตุลาคมและมิถุนายน ตามลำดับ การศึกษาของกฤตยาพร ทักษะทัต (2538) ศึกษาในบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยองพบว่าปริมาณนอร์มัลอัลเคนเฉลี่ย 2.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง การศึกษาของวราภรณ์ ศรีมูล (2544) บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบว่ามีปริมาณนอร์มัลอัลเคนเฉลี่ย 1.84 ± 0.63 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณนอร์มัลอัลเคนในการศึกษาครั้งนี้กับปริมาณนอร์มัลอัลเคนที่ผ่านมาพบว่าปริมาณนอร์มัลอัลเคนเฉลี่ยในการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณใกล้เคียงกับนอร์มัลอัลเคนที่ได้จากการศึกษาในบริเวณท่าเรือคลองเตย แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และชายฝั่งจังหวัดระยอง และมีปริมาณมากกว่าบริเวณห่างฝั่งอ่าวไทย อ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี และมาบตาพุด และมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณแม่น้ำท่าจีนเมื่อปี 2533 ค่าที่พบในครั้งนี้ มีค่าอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่กล่าวแล้ว โดยที่ปริมาณอะลิฟาติกเฉลี่ย สถานีตามลำน้ำท่าจีนมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือ คลองมหาชัย และคลองสุนัขหอนตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาบริเวณอื่น ๆ ในต่างประเทศ เช่น การศึกษาของ Choiseul , 1998 บริเวณชายฝั่ง East และ South Irish ซึ่งเป็นท่าเรือ พบปริมาณของนอร์มัลอัลเคนอยู่ในช่วง 0 – 137 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้พบว่าบริเวณนี้มีปริมาณที่สูงกว่าบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีนมาก

2) แหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า

พิจารณาแหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน สามารถพิจารณาได้โดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ประกอบกัน ได้แก่ ลักษณะของโครมาโทแกรม คาร์บอนอะตอมที่เด่น และค่าดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ CPI_1 CPI_2 C_{17}/Pr C_{18}/Phy Pr/Phy และ C_{29}/C_{17} ดังตารางที่ 5.5

2.1 การพิจารณาค่าดัชนีต่าง ๆ

ในการศึกษาถึงแหล่งที่มาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่สะสมอยู่ในตะกอนดินผิวหน้าโดยใช้ดัชนีต่าง ๆ

การพิจารณาดัชนี CPI (Carbon Preference Index) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณปริมาณนอร์มัลอัลเคนที่มีคาร์บอนอะตอมเลขคี่กับคาร์บอนอะตอมเลขคู่ โดยที่มีค่า CPI ที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 แสดงถึงแหล่งกำเนิดของไฮโดรคาร์บอนที่มาจากน้ำมัน และค่า CPI มากกว่า 1 แสดงถึงแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (Steinhauer, 1992) และค่า CPI ที่มีค่า 5-7 แสดงถึงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากพีชชั้นสูง (Choiseul, 1998)

การพิจารณาดัชนี C_{17}/Pr และ C_{18}/Phy มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 แสดงถึง petrogenic source และค่าอัตราส่วนที่มากกว่า 1 แสดงถึงแหล่งกำเนิดที่มาจาก biogenic input (Dreau, 1997)

การพิจารณาดัชนี Pr / Phy ทั้งนี้เนื่องจากทั้งพริสเทนและไฟเทนเป็นไอโซพรีนอยด์ที่มักตรวจพบเสมอในตะกอน โดยพริสเทนเป็นไอโซพรีนอยด์ที่สามารถสังเคราะห์ได้โดยสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพวกโคพิพอด (copepod) ส่วนไฟเทนนั้นจะพบในตะกอนที่ปนเปื้อนจากน้ำมัน ดังนั้นการพบไฟเทนในตะกอนจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ที่ได้รับการปนเปื้อนเนื่องจากน้ำมัน ดังนั้นค่าดัชนีที่มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 แสดงถึง petrogenic source และถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการทางชีวภาพ

การพิจารณาดัชนี C_{29}/C_{17} ทั้งนี้เนื่องจาก C_{29} เป็นคาร์บอนอะตอมที่พบได้มากในพีชชั้นสูง โดย C_{17} มักจะพบใน phytoplankton หรือมาจากสาหร่ายทะเล (Dreau, 1997) ดังนั้นถ้าดัชนีมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากพีชชั้นสูง (terrestrial) และค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากสาหร่ายทะเลและแบคทีเรีย แต่อัตราส่วนนี้ใช้สำหรับตัวอย่างที่มีแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติเท่านั้น

การพิจารณาลักษณะนอร์มัลอัลเคนเด่น พบว่านอร์มัลอัลเคนที่เด่นอยู่ในช่วง $C_{17}-C_{31}$ จะแสดงแหล่งกำเนิดที่มาจาก terrestrial และ C_{17} กับ C_{19} เด่น แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากไฟโตแพลงตอน และนอร์มัลอัลเคนที่เด่นในช่วง $C_{27} - C_{31}$ ก็แสดงถึงแหล่งกำเนิดที่มาจากพีชชั้นสูง (Colombo และคณะ, 1989)

จากตารางที่ 5.4 แสดงค่าดัชนีต่าง ๆ ในการศึกษาสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในครั้งนี้ พบว่าสามารถสรุปแยกบริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลัก ๆ ออกเป็น 2 แหล่งคือ

1. บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมันเป็นหลัก เช่น สถานี T1 จากการพิจารณาค่า CPI1 และ CPI2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.69 และ 0.22 ตามลำดับ โดยทั้งสองมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมัน ยืนยันได้ด้วยดัชนี C_{17}/Pr และ C_{18}/Phy มีค่าเท่ากับ 0.53 และ 0.88 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 และจากการปรากฏของ UCM จึงทำให้แหล่งกำเนิดหลักมาจากน้ำมัน อย่างไรก็ตามก็ยังมีแหล่งกำเนิดของอะลิฟาติกที่มาจากพีชชั้นสูง พิจารณาได้จากดัชนี Pr/Phy และมีนอร์มัลอัลเคนเด่นในช่วง $C_{21}-C_{31}$ พิจารณาแหล่งกำเนิดของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

ในลักษณะเดียวกันนี้ และพบว่าแหล่งกำเนิดหลักที่มาจากน้ำมันเช่นเดียวกับสถานี T1 ได้แก่ สถานี T2 T3 T6 T7 T8 M3 และ D1 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดของค่าดัชนีต่าง ๆ ในตารางที่ 5.5

2. บริเวณที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากพีชชั้นสูง เช่น สถานี D2 จากการพิจารณาค่า CPI1 และ CPI2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.38 และ 2.46 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 และใกล้เคียง 3 ฉะนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากพีชชั้นสูง ยืนยันได้โดยการพิจารณาเพิ่มเติมจากดัชนี C_{17}/Pr และ C_{29}/C_{17} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.99 และ 9.47 โดยพบว่ามีค่ามากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดที่มาจากพีชชั้นสูง และเมื่อพิจารณานอร์มัลอัลเคนเด่นพบว่า $C_{27} - C_{31}$ เด่น ซึ่งเป็นนอร์มัลอัลเคนที่เด่นในพีชชั้นสูง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาดัชนี C_{18}/Phy และ Pr/Phy ก็พบว่ามีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งแสดงว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมัน ดัชนีโดยรวมของการพิจารณาแหล่งกำเนิดของสารอะลิฟาติกในสถานี D2 บ่งให้ทราบว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากพีชชั้นสูง โดยการพิจารณาแหล่งกำเนิดในลักษณะเดียวกันนี้ พบว่า บริเวณสถานีที่มีแหล่งกำเนิดเช่นเดียวกับสถานี D2 ได้แก่ สถานี T5 T10 T11 M1 D2 C1 C2 และ C3 ดังแสดงในตารางที่ 5.5 รายละเอียดดังแสดงใน

ตารางที่ 5.5 ดัชนีพิจารณาแหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

สถานี	ดัชนี						นอร์มัลอัลเคนเด่น	ลักษณะโครมาโตแกรม
	CPI 1	CPI 2	C_{17}/Pr	C_{18}/Phy	Pr/Phy	C_{29}/C_{17}		
T1	0.69	0.22	0.53	0.88	1.48	2.05	$C_{21}, C_{23}, C_{25}, C_{29}, C_{31}$	มี UCM ช่วง $C_{17}-C_{30}$
T2	0.80	0.67	0.46	-	-	10.62	$C_{21}, C_{23}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	มี UCM ช่วง $C_{21}-C_{30}$
T3	1.05	0.50	0.52	0.26	5.51	7.06	C_{25}, C_{29}, C_{31}	มี UCM ช่วง $C_{16}-C_{32}$
T4	0.83	0.92	5.38	1.82	0.59	12.05	$C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	มี UCM สูงในช่วง $C_{24}-C_{28}$
T5	1.63	0.88	2.27	-	-	-	C_{29}, C_{31}	ไม่มี UCM
T6	0.37	0.21	-	0.37	3.77	-	$C_{21}, C_{24}, C_{23}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{30}$	UCM สูงและกว้างสุดช่วง $C_{21}-C_{31}$
T7	1.41	0.94	-	0.2	-	22.25	$C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	มี UCM แต่น้อย
T8	1.03	1.98	0.42	0.88	0.87	13.76	$C_{21}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	UCM สูงช่วง $C_{25}-C_{31}$
T9	2.38	1.61	1.96	0.42	0.37	5.04	$C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$ ก่อนข้างชัดเจน	มี UCM แต่น้อย
T10	0.97	0.67	2.64	-	1.3	3.36	$C_{17}, C_{21}, C_{24}, C_{23}, C_{25}, C_{29}, C_{30}$	UCM เด่นในช่วงหลังคือ $C_{25}-C_{31}$
T11	1.44	1.37	1.11	-	1.16	2.78	$C_{21}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	UCM จะสูงและกว้าง
M1	1.94	3.05	0.92	0.3	2.28	2.17	$C_{21}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
M2	0.84	1.58	1.25	0.26	1.39	0.75	$C_{21}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
M3	0.77	1.46	1.67	0.38	0.2	4.41	$C_{21}, C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}$	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
D1	1.23	1.45	1.02	-	-	3.38	C_{27}, C_{29}, C_{31}	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
D2	2.38	2.46	2.99	0.89	0.71	9.47	C_{27}, C_{29}, C_{31}	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง

$$CPI_1 = \frac{\sum \text{conc. odd Carbon number}}{\sum \text{conc. even Carbon number}} \quad CPI_2 = \frac{2(C_{27} + C_{29})}{C_{26} + 2C_{28} + C_{30}}$$

โดยสรุปลักษณะแหล่งกำเนิดที่มาของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างดินตะกอนผิวหน้าในเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน มีแนวโน้มโดยรวมมาจากแหล่งกำเนิดทั้งที่จากน้ำมันและพีซชั้นสูง โดยบริเวณที่พบว่ามีการปนเปื้อนจากน้ำมันเป็นหลักได้แก่ บริเวณสถานี T2 T3 T6 T7 T8 M3 และ D1 ทำให้บริเวณนี้สามารถยืนยันการปนเปื้อนที่มาจากน้ำมันเช่นเดียวกับการพิจารณาโดยใช้ดัชนีของ PAHs

การเปลี่ยนแปลงของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกดังรูป 4.9 พบว่าในบริเวณปากแม่น้ำ (C1 และ C2) โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารอะลิฟาติกที่ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเนื่องจากในที่ลึกลงไป แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารอะลิฟาติกได้ทำให้พบว่าเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณสารอะลิฟาติกจะลดลง หรืออาจจะเนื่องจากในอดีตมีแหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกน้อยกว่าในปัจจุบัน แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสารอะลิฟาติกตามความลึกในสถานีคลองสุนัขหอน พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนเหมือนกับในบริเวณสถานีปากแม่น้ำ เนื่องจากเป็นตะกอนที่มีอายุน้อยที่สุด (11ปี) ดังนั้นจึงทำให้เห็นแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนนักเมื่อเทียบกับบริเวณปากแม่น้ำที่มีอายุมากกว่าคือมีอายุ 34 และ 21 ปี ตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

1. การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า

1. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ใน ตะกอนผิวหน้าพบว่ามีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.23 – 1.52 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.62 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยพบว่าบริเวณสถานี T6 มีการสะสมของ สาร PAHs มากที่สุดรองลงมาคือ M1 C3 T4 และ D1 ตามลำดับ และพบสารอะโรมาติกที่มี โครงสร้างตั้งแต่ 2 – 6 ring โดยมีการกระจายของชนิดและปริมาณต่าง ๆ กัน ชนิดของ PAHs ที่ พบมากที่สุดคือ naphthalene biphenyl acenaphthene fluorene phenanthrene chrysene pyrene benzo(a)pyrene perylene anthracene fluoranthene ปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดที่ พบในตะกอนดินผิวหน้า

2. แหล่งกำเนิดของการสะสมของสาร PAHs โดยส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกันในทุกสถานี โดยส่วนใหญ่จะเป็น PAHs ที่มีลักษณะโมเลกุลที่เป็น unsubstituted PAHs มากกว่า substituted PAHs ดังนั้นแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ ได้แก่ การปล่อยน้ำเสียที่มีน้ำมันเครื่องที่ใช้ แล้วปนลงสู่แหล่งน้ำ และฝุ่นละอองที่เกิดจากเขม่าควันรถที่ถูกระด้างลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งควัน เสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสองข้างฝั่ง และแหล่งกำเนิดรองลงมาคือ มีการปนเปื้อนจาก น้ำมันเช่น มาจากการล้างทำความสะอาดถังน้ำมัน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมร่วมด้วย

2. การสะสมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามลำดับความลึก

ปริมาณของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกของสถานี C1 C2 และ C3 มีค่าปริมาณ PAHs รวมอยู่ในช่วง 78.8 – 314.8 , 43.5 – 731.6 และ 280 - 920 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

สถานี C1 สาร PAHs ที่พบได้มากที่สุดที่สุดในสถานีนี้คือ perylene รองลงมาคือ chrysene phenanthrene fluoranthene และ indeno(1,2,3-cd)pyrene ตามลำดับ สาร PAHs ตัวที่พบ มากที่สุด คือ perylene ซึ่งเป็นสารที่พบจากสิ่งแวดล้อมที่มาจากธรรมชาติ เช่น จากพืชชั้นสูง พบว่าแนวโน้มจะมีแหล่งกำเนิดของการสะสมของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ ในบริเวณนี้จะมี

กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเดินเรือ การปล่อยน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ การเผาไหม้ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ PAHs รวมตามความถี่บริเวณปากแม่น้ำพบว่าแนวโน้มไม่ชัดเจน

สถานี C2 สาร PAHs ที่พบได้มากที่สุดก็คือ indeno(1,2,3-cd)pyrene รองลงมาคือ benzo(g,h,i)perylene phenanthrene benzo(k)fluoranthrene chrysene ตามลำดับ โดยลักษณะของสาร PAHs เป็น unsubstituted PAHs แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ บริเวณปากแม่น้ำ ตำบลหญ้าแพรก โดยพบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาร PAHs ตามความถี่ไม่ชัดเจนเช่นเดียวกับในสถานี C1

สถานี C3 บริเวณคลองสุนัขหอน PAHs ที่พบได้มากที่สุดก็คือ indeno(1,2,3-cd)pyrene รองลงมาคือ benzo(g,h,i)perylene benzo(b)fluoranthene phenanthrene และ anthracene ตามลำดับ โดย PAHs เหล่านี้เป็นประเภท unsubstituted PAHs ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แนวโน้มการสะสมของสาร PAHs รวมในตะกอนตามความถี่ในคลองสุนัขหอนพบว่าแนวโน้มลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการสะสมของสาร PAHs จากในอดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ปริมาณสาร PAHs ที่พบในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ในประเทศไทย เช่น บริเวณอุตสาหกรรมแปรสภาพเรือมาบตาพุด จังหวัดระยอง บริเวณชายฝั่งจังหวัดระยอง บริเวณท่าเรือคลองเตย พบว่าบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีน จะมีปริมาณสาร PAHs อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเอสทูรีอื่น ในต่างประเทศพบว่าปริมาณสาร PAHs ที่พบในบริเวณเอสทูรีแม่น้ำท่าจีนมีระดับที่ต่ำกว่ามาก

ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษพบว่าดัชนีของ PAHs บ่งบอกแหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งอาจจะมากับอากาศ หรืออาจจะเกิดจากการชะมาจากพื้นทวีป ซึ่งไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจน ดังนั้นหากได้มีการศึกษาปริมาณ PAHs ในอนุภาคในอากาศร่วมด้วย ก็น่าจะช่วยให้สามารถอธิบายแหล่งที่มาของ PAHs ได้ชัดเจนมากขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนตามความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในดิน ดังนั้นน่าจะมีการศึกษาชนิดและจำนวนของแบคทีเรีย และพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่มีอิทธิพลต่อเกิดขึ้นและลดลงของสาร PAHs เนื่องจากจะเป็นประโยชน์ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงการสะสมได้ดี และชัดเจนขึ้น

3. เพื่อให้เห็นผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้โดยตรงต่อมนุษย์ควรพิจารณาวิเคราะห์การสะสมของสาร PAHs ในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่เป็นผลต่อการดำรงชีวิตโดยตรงต่อมนุษย์ในบริเวณนั้น เช่น หอย กุ้ง หรือปลา ซึ่งเป็นอาหารของมนุษย์ร่วมด้วย

4. การศึกษาการสะสมของ PAHs ในดินตะกอนอันเนื่องจากการตกตะกอนของอนุภาคที่อยู่ในน้ำ เพื่อให้เห็นการเกิดการสะสมที่ชัดเจนน่าจะทำการศึกษา PAHs ในอนุภาคในน้ำร่วมด้วยก็สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการได้รับสาร PAHs และการสะสมที่บวมในตะกอนได้ชัดเจนขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤตยาพร ทัพพะทัต. 2538. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเล จ. ระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วัฒนการ. 2543. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเอสทูรีแม่น้ำเจ้าพระยา. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกศินี สรรวานิช. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna Viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, พุเกียรติ สีนาคม, มณฑา ปุณณชัยยะ, บุญสม พรเทพเกษมสันต์ และปฐม แหยมเกตุ. 2537. การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาอัตราการทับถมของตะกอนในอ่าวไทย โดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสี. การสัมมนาวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งชาติ ครั้งที่ 5 ณ จังหวัดระยอง. (22-24 สิงหาคม)
- จรรยา สารินทร์. 2537. การกระจายของอะลิฟาติกและอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนบริเวณอ่าวไทย. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เชาว์ นกอยู่. 2538. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรศรี สุทธารักษ์. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสภาวะแวดล้อมทางทะเลบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรัญญา วิรุฬผล. 2533. การสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณท่าเรือคลองเตยและปากแม่น้ำเจ้าพระยา. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วรารณ ศรีมูล.2544. การสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี.โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สนิท อักษรแก้ว และคณะ 2542. การฟื้นฟูและทรัพยากรป่าชายเลนเพื่อสังคมและเศรษฐกิจอย่างยั่งยืนของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: อักษรสยามการพิมพ์.

ภาษาอังกฤษ

- Al-Lihaibi, S. S., and L. Al.- Omran. 1996. Petroleum Hydrocarbons in Offshore Sediment from the Gulf. Marine Pollution Bulletin. 32 : 65-69.
- Al-Yakoob, S., T. Saeed, and H. Al-Hashash. 1993. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Tissue of fish from the Goft After the 1991 Oil Spill. Marine Pollution Bulletin. 21:15 –18.
- Asean-Canadian Cooperative Program on Marines Science, Region Sampling and Analysis Training Workshop.1990. Training Manual and Reference Document. 1-6 November.
- 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.
- Bernard, D., H. Pascaline., and J. – J. Jeremic. 1996. Distribution and Origin of Hydrocarbons in Sediments from Lagoons with Fringing Mangrove Communities. Marine Pollution Bulletin. 32 : 734 – 739.
- Bieri, R. H., D. Fur., P. Huggett., R. J. Macintyre., W. Shou., C. L . Smith., and C. W. Su. 1981. Organic Compounds in Surface and Sediments and Oyster Tissues from the Chesapeake Bay. Report on File with Chesapeake Bay Program: US.EPA. Environmental Research Lab.Annapolis.MD.
- Boonyatumanond, R. 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in water samples by using High Performance Liquid Chromatography. Master's Thesis. Department of applied analytical and inorganic chemistry. Graduate School. Mahidol University.

- Budzinski, H., I. Jones., J. Bellocq., C. Pierard., and P. Garriques. 1997. Evaluation of sediment Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. Marine Chemistry. 58:85-97.
- Cliftan, R. J, and E. I. Hamiton. Lead-210 chronology in relation to level of elements in dated sediment core profiles.1979.Estaries and Coastal Marine Science. 8:259-269.
- Cocchieri, R. A., A. Arnese., and A. M. Minicucei. 1990. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Marine Organisms from Italian Central Mediterranean Coasts. Marine Pollution Bulletin. 21: 469 – 473.
- Colombo,J.E., J. Morell., and A. Mendez.1989. Determination of hydrocarbon source using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes: Case study Rio de La Plata Estuary, Argentina.Environmental Science and Technology. 23:888-894.
- Choiseul, V., J. G. Wilson., and E. Nixon.1998. The distribution of Hydrocarbons on the east and south-west irish coasts and in the liffey estuary. Biology and Environment: Proceedings of The Royal Irish Academy. 98B:75-86.
- Christensen, E. R., and X. Zang. 1993. Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons to Lake Michigan determined from Sedimentary Records. Environmental Science Technology.27:139 – 145.
- Dreau, Y. L., F. Jacquot, P. Doumeng., M.Guiliano., J.C. Bertrand., and G.Mille.1997. Hydrocarbons Balance of a Site which had been Highly and Chronically Chronically Contaminated by Petroleum Wastes of a Refinery a (from 1956 to 1992). Marine Pollution Bulletin. 32: 456 – 468.
- Dung, N.T. 1996. Determination of some selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on particulates emitted from the thermal power plant of the Bai Bang paper company,Vietnam. Master's Thesis. Divisio of Environmental Engineering. Asian Institute of Technology.
- Eglinto,G.,and M.T.J.Murphy.1969.Organic geochemistry. Springer –Verlag Berkin Heidelberg Newyork .

- Escatin, E., and C. Porte. 1999. Hydroxylated PAHs in Bile of Deep-Sea Fish Relationship with Xenobiotic Metabolizing Enzymes. Environmental Science Technology. 33: 2710 – 2714.
- Fernandes, M. B., M.-A. Sicre., A. Boireau, and J. Troncqynski. 1997. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Distributions in the Seine River and its Estuary. Marine Pollution Bulletin. 34: 857 - 867
- Fowler, S. W. J. W. Readman., B. Oregoni., J. Oregoni, J. – P. Villeneuve., and K. McKay. 1993. Petroleum Hydrocarbons and Trace Metals in Nearshore Gulf Sediments Biota Before and After the 1991 War : An Assessment of Temporal and Spatial Trends. Marine Pollution Bulletin. 27 : 171 – 182.
- Frease, R. A., and J. G. Windsor. 1991. Behaviour of Selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Associated with Stabilized Oil and Coal Ash Artificial Reef. Marine Pollution Bulletin. 22: 15-19.
- Grariviat, H. 1999. A study on air pollution by airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere. Doctoral dissertation . School of Environment, resource and development. Asian Institute of Technology.
- Guzzella, L., and A. D. Palis. 1994. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments of the Adriatic Sea. Marine Pollution Bulletin. 28: 159 – 165.
- Hellou, J., G. Stenson., I – H. Ni., and J. F. Payne. 1990. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Muscle Tissue of Marine Mammals from the Northwest Atlantic. Marine Pollution Bulletin. 21: 469 – 473.
- [http:// www.nso.go.th/provweb/cwdweb/smsakorn/sproj15.htm](http://www.nso.go.th/provweb/cwdweb/smsakorn/sproj15.htm).
- IOC/UNESCO. 1982. Manuals and Guide, No. 11: The Determination of Petroleum Hydrocarbons in sediments. IOC/UNESCO. Paris
- Kim, G. B., K. A. Maruya., R. F. Lee., J. Lee., C. KOH., and S. Tanabe. 1999. Distribution and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Kyeonggi Bay, Korea. Marine Pollution Bulletin. 33: 7 – 15.
- Kennish, M. J. 1992. Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effect Marine Science Series. CRC Press Boca Raton Ann Arbor London.

- Lee, M. L., D. L. Vassilaros., C. M. White., and M. Novotny. 1979. Retention Indices for Programmed-Temperature Capillary-Column Gas Chromatography of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Analytical Chemistry. 51:768-773.
- Loring, D. H., and R. T. T. Rantala. 1977. Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Environmental Canada Technical Report. 700:22-25.
- Maldonado, C., M. B. Josep., and B. Laurent. 1999. Sources, Distribution, and Water Column Processes of Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Northwestern Black Sea Water. Environmental science & Tecnology. 33 (16):1693-2702.
- Marvin, C. H., E. McCarry., and D. W. Bryant. 1994. Determination and Genotoxicity of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Isolated from *Dreissina polymorpha* (Zebra Mussels) Sampled from Hamilton Harbour. Great Lake Res. 20(3):523-530.
- Masclet, P., M. A. Bresson., G. Mouvier. 1987. Polycyclic aromatic hydrocarbons emitted by power station , and influence of combustion conditions. Fleu. 66:556-562.
- Nittrouer, C. A., R. W. Stenberg., R. Carpenter., and J. T. Bennett. 1979. The Use of Pb²¹⁰ geochronology as a sedimentological tool. Application to the Washington continental shelf. Mar. Geol. 31:297-316.
- Norena-Barroso. E., G. Gold-Bouchot., O. Zapata-Perez and J. L. Sericano. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in American Oyster *Crassostrea virginica* from the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. Marine Pollution Bulletin. 38:637-645.
- Oanh, N. T. K., L. B. Reutergardh, and N. T. Dung. 1999. Emission of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of Selected Fuels. Environmental Science Technology. 33:2703 – 2709.
- Page, D. S., P. D. Boehm., G. S. Douglas., A. E. Bence ., W. A. Burn., and P. J. Mankiewicz. 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.
- Pendoley, K. 1992. Hydrocarbons in Rowley Shelf (Western Australia) Oyster and Sediments. Marine Pollution Bulletin. 24:210-215.

- Sharma, V. K., K. Rhudy., R. Brooks., S. Hollyfield., and F. G. Vazquez. 1997. Petroleum Hydrocarbons in Sediments of Upper Laguna Madre. Marine Pollution Bulletin. 34: 229 – 234.
- Shchekaturina, T. L., A. L. Knesina., O. G. Mironov., and L. G. Krivosheeva. 1995. Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Mussels from the Black Sea. Marine Pollution Bulletin. 30: 38 – 39 .
- Shore, R. F., W. Julian ., A. H. Janice., and H.S. Timothy. 1999. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Residues in the Eggs of Coastal-Nesting Bird from Britain. Marine Pollution Bulletin. 38:509 – 513.
- Smith, R. T. and K. Atkinson., Techniques in Pedology. 1975. A Handbook for Environmental and Resource Studies. London.
- Snedaker, S. C., P. W. Glynn., D. G. Rumbold., and E. F. Corcoran. 1995. Distribution of n-alkanes in Marine Samples from Southeast Florida. Marine Pollution Bulletin. 30:83-89.
- Steinhauer, M. S., and P. D. Boehm. 1992. The Composition and Distribution of Saturated and Aromatic Hydrocarbons in Nearshore Sediments, River Sediment And Coastal Peat of The Alaskan Beaufort Sea: Implication for Detecting Anthropogenic Hydrocarbon Inputs. Marine Environmental Research. 33 :223 -253.
- Sauer, T.C., J. S. Brown., P. D. Boehm., D.V. Aurand., J. Michel., and M. O. Hayes. 1993. Hydrocabons source identification and weathering charecterization of intertidal and subtidal sediments along the Saudi Arabian coast after the Gulf War oil spill. Marine Pollution Bulletin. 27:117-134.
- Su, M., E. R. Christensen., and J. F. Karls. 1998. Determination of PAHs sources in dated sediments from Green Bay, Wisconsin, by a chemical mass balance model. Environmental Pollution. 98: 411 – 419.
- Wade, T.L., M. C. Kennicutt II and J. M. Brooks. 1989. Gulf of Mexico Hydrocarbon Seep Communities: Part III. Aromatic Hydrocarbon Concentrations in Organisms, Sediments and Water. 27:19-30.
- Wakeham, S. G. 1996. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Black Sea Sediments. Marine Chemistry. 53:187-205.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำสถานีตามลำน้ำ (T1-T11) คลองมหาชัย (M1-M3) และ
คลองสุนัขหอน (D1และD2)

สถานี	%sand	%silt	%clay	texture	ปริมาณน้ำในตะกอน(%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน(%น้ำหนักแห้ง)	redox potential, Eh (mV.)	pH
T1(วัดกำแพง)	61.8	19.0	19.2	sandy loam	65.7	2.5	-396	6.6
T2(ท่าเรือ)	61.8	19.0	19.2	sandy loam	62.3	2.4	-133	6.6
T3(วัดศรีเมือง)	63.8	17.0	19.2	sandy loam	56.4	3.0	-372	6.8
T4(วัดพันธุวงศ์)	74.4	10.3	15.3	sandy loam	42.4	1.8	-469	6.8
T5(วัดอ่างทอง)	61.8	11.0	27.2	sandy clay loam	46.0	3.3	-341	6.8
T6(วัดนางสาว)	77.8	11.0	11.2	sandy loam	68.5	4.9	-321	6.8
T7(วัดเทียนดัด)	61.8	13.0	25.2	sandy clay loam	44.3	1.5	-328	6.8
T8(วัดบางช้างใต้)	66.4	9.9	23.6	sandy clay loam	44.8	2.3	-345	6.8
T9(วัดมงคลจินดาราม)	56.4	11.9	31.6	sandy clay loam	50.9	2.0	-259	6.7
T10(วัดหอมเกร็ด)	58.8	10.0	31.2	sandy clay loam	41.7	2.2	-293	5.4
T11(วัดประชานาถ)	55.8	13.0	31.2	sandy clay loam	54.4	2.4	-459	6.1
M1(วัดเจษฎาราม)	65.8	15.0	19.2	sandy loam	64.5	2.7	-408	6.8
M2(วัดบูรณาวาส)	67.8	16.0	16.2	sandy loam	60.2	3.4	-371	6.6
M3(วัดโสภณาราม)	59.8	15.0	25.2	sandy clay loam	54.0	2.4	-393	6.8
D1(วัดเจริญสุขาราม)	66.1	7.9	26.0	sandy clay loam	49.5	1.6	-361	6.9
D2(วัดวิสุทธิอาราม)	62.8	6.0	31.2	sandy clay loam	66.0	2.5	-338	6.7
	พิสัย				42.43 - 68.45	1.81 - 4.89	(-469) - (-133)	5.40-6.10
	ค่าเฉลี่ย				54.5	2.6	-349.19	6.6

ตารางที่ ก2. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ(C1)

สถานี C1 (ความลึก ซม.)	%sand	%silt	%clay	texture	ปริมาณน้ำในตะกอน(%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน(%น้ำหนักแห้ง)	redox potential,Eh(mV.)	pH
0 - 3	55.8	27.0	17.2	sandy loam	55.4	1.7	-190	6.7
3 - 6	56.1	23.9	20.0	sandy clay loam	55.5	1.9	-187	6.8
6 - 9	52.4	15.9	31.6	sandy clay loam	55.4	1.8	-243	6.8
9 - 12	51.7	25.9	22.4	sandy clay loam	59.6	1.8	-243	6.8
12 - 15	53.8	28.0	18.2	sandy loam	57.3	1.6	-264	6.8
15 - 18	54.1	26.9	19.0	sandy loam	54.8	1.7	-225	6.8
18 - 21	52.1	28.9	19.0	sandy loam	53.5	1.7	-264	6.8
21 - 24	52.4	29.9	17.6	sandy loam	51.5	1.8	-285	6.8
24 - 27	52.4	31.9	15.6	sandy loam	51.4	1.7	-302	6.8
27 - 30	55.4	27.2	17.4	sandy loam	53.5	1.5	-290	6.8
30 - 33	53.8	29.0	17.2	sandy loam	50.6	1.7	-292	6.8
33 - 36	55.8	27.0	17.2	sandy loam	52.7	1.7	-288	6.8
36 - 39	52.8	29.0	18.2	sandy loam	57.0	1.7	-291	6.8
	พิสัย				50.6 - 59.6	1.5 - 1.9	(-302)-(-190)	6.7- 6.8
	ค่าเฉลี่ย				54.5	1.7	-258.77	

ตารางที่ ก3. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C2)

สถานี C2 (ความลึก ซม.)	%sand	%silt	%clay	texture	ปริมาณน้ำในตะกอน(%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน(%น้ำหนักแห้ง)	redox potential,Eh(mv.)	pH
0 - 3	51.8	21.0	27.2	sandy clay loam	62.6	2.5	-231	6.7
3 - 6	54.8	20.6	24.6	sandy clay loam	61.3	2.5	-183	6.5
6 - 9	60.1	18.9	21.0	sandy clay loam	62.3	2.5	-322	6.4
9 - 12	50.8	19.0	30.2	sandy clay loam	58.0	2.5	-269	6.5
12 - 15	53.8	19.0	27.2	sandy clay loam	62.1	2.8	-341	6.4
15 - 18	53.8	17.0	29.2	sandy clay loam	62.2	2.6	-338	6.6
18 - 21	55.1	19.6	25.4	sandy clay loam	62.4	2.4	-323	6.6
21 - 24	50.8	20.0	29.2	sandy clay loam	63.2	2.5	-293	6.7
24 - 27	55.8	21.0	23.2	sandy clay loam	55.4	2.0	-324	6.7
27 - 30	50.8	20.0	29.2	sandy clay loam	56.2	1.6	-364	6.7
30 - 33	53.8	17.0	29.2	sandy clay loam	54.0	2.1	-380	6.7
33 - 36	52.8	18.0	29.2	sandy clay loam	55.8	2.3	-352	6.7
36 - 39	51.8	19.0	29.2	sandy clay loam	57.2	2.8	-398	6.7
	พิสัย				54.0 - 63.2	1.6 - 2.8	(-341)-(-183)	6.4 - 6.7
	ค่าเฉลี่ย				59.4	2.4	-316.77	

ตารางที่ ก4. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณคลองสุนัขหอน (C3)

สถานี C3 (ความลึก ซม.)	%sand	%silt	%clay	texture	ปริมาณน้ำในตะกอน(%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน(%น้ำหนักแห้ง)	redox potential,Eh(mV.)	pH
0 - 6	56.4	16.9	26.6	sandy clay loam	57.2	2.5	-404	6.6
6 - 12	57.1	16.9	26.0	sandy clay loam	61.3	2.4	-375	6.6
12 - 18	55.8	17.0	27.2	sandy clay loam	62.4	2.4	-352	6.6
18 - 24	55.8	17.0	27.2	sandy clay loam	57.7	2.4	-356	6.6
24 - 30	58.8	25.0	16.2	sandy loam	55.2	2.2	-428	6.6
30 - 39	56.8	18.6	24.6	sandy clay loam	58.2	2.2	-294	6.5
	พิสัย				55.2 - 62.4	2.2 - 2.5	-428	6.5 - 6.6
	ค่าเฉลี่ย				58.7	2.3	-368	

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข1 . ปริมาณสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
naphthalene	7.91	11.43	25.48	70.08	5.59	28.31	23.35	19.76*	3.19	21.25	16.67	21.82	10.85*	9.59	15.38	9.42*
quinoline	-	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-methylbenzo(b)thiophene	1.09	4.16	3.15	12.23	2.56	15.21	3.89	14.86	-	2.57	4.48	4.74	3.28	2.61	4.94	3.17
quinoxaline	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75	-
3-methylbenzo(b)thiophene	-	-	-	-	-	-	-	-	3.55	-	-	-	-	-	-	-
8-methylquinolene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.35	-	-	-	2.75	-
biphenyl	2.28	5.23	7.40	12.75	4.82	24.45	5.28	6.72*	-	3.70	5.76	7.28	3.41*	2.67	8.68	4.53*
2-ethylnaphthalene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-ethylnaphthalene	-	-	0.48	2.60	-	1.57	-	-	-	-	-	2.90	4.87	-	-	2.40
3-methylindole	-	2.34	-	-	0.86	1.00	2.67	3.89	-	0.51	6.00	-	-	1.36	11.74	-
5-ethylbenzo(b)thiophene	4.52	5.65	3.70	11.61	4.77	14.06	7.11	14.03	-	5.28	7.17	7.67	4.62	6.86	7.19	6.10
2-methylbiphenyl	-	-	-	-	-	-	-	-	3.30	-	-	-	-	-	-	-
1,3-dimethylbiphenyl	2.55	1.57	1.25	2.83	1.78	2.65	1.49	3.38	-	3.33	2.19	2.35	2.53	2.57	4.40	2.15
1,4-napthoquinoline	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.14	-	-	1.28	-	-	-
1,6-dimethylnaphthalene	-	3.18	0.70	3.36	1.01	3.74	1.55	3.19	-	-	2.02	2.45	-	-	1.82	1.82
1,4-dimethylnaphthalene	-	-	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.24	-	-	-
acenaphthylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.68	-	-	-	-	-
1,2-dimethylnaphthalene	-	-	16.12	36.90	-	13.89	8.15	-	-	12.46	4.82	10.76	-	-	-	-
1,8-dimethylnaphthalene	-	1.14	-	-	-	2.15	-	-	-	-	-	2.88	-	-	-	0.94
acenaphthene	1.75	1.72	4.17	9.27	2.21	893.34	7.45	8.41*	-	2.41	7.48	10.48	7.52	2.78	10.15	3.53*
3-methylbiphenyl	-	-	-	-	-	254.85	-	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-
2,3-dimethylindole	-	2.18	-	21.96	-	-	0.55	35.96	-	2.61	-	-	4.67	68.12	5.51	2.70

ตารางที่ ๑1. (ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าบริเวณตามลำน้ำ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
anthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33.87	-	-
2-phenylnaphthalene	1.04	-	1.40	-	-	-	-	-	9.00	-	63.39	2.83	-	-	-	-
9-ethylphenanthrene	1.23	-	-	-	1.16	14.51	-	2.89	4.51	-	-	-	-	-	4.25	-
2-ethylphenanthrene	-	1.20	-	18.50	-	-	2.63	-	-	1.08	-	8.35	-	-	-	-
3,6-dimethylphenanthrene	3.44	0.08	5.49	-	-	4.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,7-dimethylphenanthrene	-	0.28	-	29.83	1.96	-	-	15.19	-	-	3.49	-	-	-	-	-
1,2,3,6,7,8-hexahydropyrene	-	-	3.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.54	-	-	-
6-phenylquinoline	4.26	2.14	2.74	35.09	4.84	13.97	8.36	-	4.64	5.20	29.48	15.69	12.43	-	18.50	1.24
fluoranthene	29.52	30.30	5.68	192.96	23.85	2.45	-	110.05*	23.79	52.07	14.62	109.08	44.85*	35.38	9.23	0.70*
9-isopropylphenanthrene	11.67	5.34	6.85	23.74	15.59	17.76	13.01	10.22	12.37	5.58	-	28.85	18.05	8.72	44.16	6.69
1,8-dimethylphenanthrene	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-phenylindole	5.17	0.24	-	31.73	-	18.42	-	6.19	-	-	35.98	-	-	-	-	3.62
indole(1,2,3-ij)-isoquinoline	-	2.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9-n-hexylfluorene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.87	-	-	-	-	-
9-n-propylphenanthrene	-	16.07	-	60.28	-	-	13.17	-	-	9.30	-	19.13	14.44	-	-	3.90
pyrene	22.60	23.12	11.55	-	22.48	117.65	90.03	79.47*	19.80	49.47	22.51	83.22	33.74	-	64.97	25.83*
9,10-dimethylanthracene	-	4.81	3.95	12.70	9.64	14.90	4.60	16.74	5.38	2.90	4.57	9.18	7.51	-	-	3.48
benzo(lmn)phenanthridine	-	10.04	-	24.88	-	-	14.28	-	-	7.20	-	-	-	-	27.57	-
9-methyl-10-ethylphenanthrene	0.74	2.16	1.55	-	0.74	-	1.17	-	-	0.27	-	1.76	1.64	-	-	0.69
m-terphenyl	4.49	4.39	5.12	14.74	4.10	14.80	8.25	11.60	-	4.02	-	10.35	1.63	-	-	3.25
benzo(k)l)xanthrene	-	1.79	-	-	-	-	-	-	-	-	16.05	-	0.88	-	14.67	-
4H-benzo(def)carbazole	4.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.96	-	-	-	8.15	-
p-terphenyl	0.63	12.86	-	-	0.34	18.20	-	-	-	3.38	-	-	0.80	-	6.02	4.74
benzo(a)fluorene	0.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.21	-	-	-
11-methylbenzo(a)fluorene	-	-	20.09	-	-	-	-	-	-	-	4.19	-	-	-	7.22	4.57

ตารางที่ ข1. (ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนผิวน้ำบริเวณตามลำน้ำ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
9,10-diethylphenanthrene	-	2.00	-	56.20	-	114.43	-	-	24.46	-	6.91	7.07	-	-	5.77	-
1-methylisopropylphenanthrene	2.90	-	1.70	-	-	17.40	-	127.34	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(b)fluorene	-	-	4.90	35.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-methylpyrene	-	1.53	-	-	8.51	6.71	-	16.71	-	2.15	-	11.50	13.44	-	-	2.00
2-methylpyrene	15.31	2.86	-	-	-	-	6.64	-	-	-	46.04	-	-	-	19.95	-
4,5,6-trihydrobenz(de)anthracene	5.13	1.35	6.07	9.50	3.52	11.17	-	2.23	-	-	-	11.59	13.15	-	-	0.60
1-methylpyrene	-	1.47	-	-	-	-	5.87	-	11.27	-	6.21	-	-	-	12.95	-
3,5-dephenylpyridine	4.75	1.55	9.50	12.90	5.19	14.28	-	2.16	-	2.68	-	11.23	15.77	-	-	0.90
1-ethylpyrene	-	-	3.63	-	1.29	2.95	-	0.97	-	-	-	1.72	-	-	-	-
3,7-dimethylpyrene	-	2.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophene	-	-	-	-	-	2.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(g,h,i)fluoranthene	0.63	1.87	-	-	-	-	-	3.40	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(c)phenanthrene	-	8.02	3.13	-	6.11	22.23	17.94	-	-	9.94	14.91	-	-	-	11.41	-
benz(c) acrodine	-	0.60	0.52	-	0.27	22.86	-	5.14	8.14	1.01	-	20.09	16.82	-	-	1.87
9-phenylanthracene	3.97	2.07	-	-	-	30.22	-	-	-	0.12	3.34	-	-	-	-	-
cyclopenta(cd)pyrene	-	-	4.63	-	-	-	-	-	48.28	-	-	11.41	-	-	-	-
benz(a)anthracene	40.08	4.93	-	8.45	21.02	13.69	9.76	-	40.19	9.14	13.41	7.12	86.31	-	7.48	58.56
benz(a)acridine	-	-	23.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
chrysene	7.75	110.37	30.51	34.27	4.95	124.42	127.16	114.29	-	176.17	148.87	58.61	4.30	276.10	140.93	3.99
triphenylene	-	-	-	-	-	8.68	-	-	-	-	-	14.12	-	-	-	-
benzo(a)carbazole	-	34.64	-	50.05	15.73	37.60	-	74.50	-	50.12	-	14.96	75.38	76.59	-	39.32
1,2'-binaphthyl	-	-	1.21	-	-	-	-	-	-	-	66.01	-	-	-	-	-
7-benz(de)anthrene	-	-	-	-	-	33.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
naphthacene	-	7.81	-	30.27	-	22.00	58.47	-	-	61.43	-	-	-	81.01	37.86	-
benzo(b)carbazole	1.60	-	2.30	-	-	-	-	-	56.19	-	-	31.91	-	-	-	-

ตารางที่ ข1. (ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ที่พบในตัวอย่างตะกอนผิวหน้าบริเวณตามลำน้ำ (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
benzo(k)fluoranthene	15.33	14.16	-	69.67	17.12	126.54	-	60.29*	-	19.58	-	-	31.11	-	-	17.19
7,12-dimethylbenz(a)anthracene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.35	87.15	-	-	56.08	-
1,6,11-trimethyltriphenylene	4.37	8.44	10.72	18.65	4.35	-	7.81	15.19	-	4.05	-	8.22	-	37.40	19.43	-
dinaphtho(1,2-b,1,2-d)furan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(e)pyrene	17.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.28	-	-
dibenzo(c,k,l)xanthrene	-	20.91	24.35	23.92	-	179.10	8.82	-	186.96	23.25	-	49.23	-	-	-	-
benzo(a)pyrene	7.50	1.76	23.65	57.89	5.66	14.91	20.34	8.50	-	9.27	22.25	17.05	12.04	-	23.55	7.40
perylene	36.59	1.26	30.24	55.43	109.74	17.60	31.19	-	66.01	25.00	43.40	48.66	14.15	37.23	43.79	136.93*
1,3,6,11-tetramethylphenylene	-	-	-	-	-	-	-	72.39	-	-	-	-	-	-	-	-
3-methylcholanthrene	-	-	25.32	-	-	348.04	-	-	-	-	-	78.19	-	-	-	-
m-quaterphenyl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.32	-
indeno(1,2,3-cd)pyrene	58.40	8.10	-	-	-	-	-	-	94.81	26.66	70.97	329.79	60.82	-	-	-
pentacene	-	-	3.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p-quaterphenyl	-	-	-	-	-	-	2.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dibenz(a,h)anthracene	-	13.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	305.53	-
benzo(b)chrysene	-	23.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
picene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(g,h,i)perylene	21.88	-	155.31	-	92.56	26.97	37.82	-	-	49.51	23.96	-	141.20	-	28.51	101.02
total identified PAHs	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
เฉลี่ย	#REF!															
total identified PAHs 18	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	493.24	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	528.89	#REF!	#REF!	417.12
เฉลี่ย	#REF!															

หมายเหตุ: * = PAHs ที่ identified โดย GC-MS และ ARI

PAHs 18 = napht, biphenyl, acenl, acent, flu, phen, ant, flut, pyr, BaA, chry, BbF, BkF, BaP, Pery, Ind, DahA, BghiP

ตารางที่ ข2. ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 -39
naphthalene	6.39	7.45*	5.49	4.61	6.45	4.02	6.39	9.97	1.85	8.92	1.49	1.58	3.99
2-methylbenzo(b)thiophene	1.39	2.03	1.45	1.46	1.46	0.85	0.90	2.38	-	-	-	0.68	-
3-methylbenzo(b)thiophene	-	-	-	-	-	-	-	-	2.16	9.33	6.71	9.22	2.86
8-methylquinoline	-	-	-	-	-	-	-	0.51	5.00	3.34	5.03	5.09	0.94
6-methylquinoline	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.25	1.14	-	-
1,2,2a,3,4,5-hexahydroacenaphthylene	-	-	-	-	-	-	-	1.66	-	-	4.54	-	-
biphenyl	2.14	2.06*	1.66	1.72	1.67	0.92	1.26	1.68	-	22.36	-	4.30	2.15
2-ethylnaphthalene	-	-	2.06	-	-	-	-	3.24	-	-	-	-	-
1-ethylnaphthalene	2.18	1.48	-	3.18	1.88	-	2.24	4.39	-	-	-	-	-
3-methylindole	-	-	-	-	-	0.97	-	-	-	-	-	-	-
5-ethylbenzo(b)thiophene	5.33	4.73	4.61	4.85	4.78	2.84	3.88	4.75	2.20	8.68	1.32	1.70	1.51
2-methylbiphenyl	-	-	-	-	-	-	-	-	2.94	17.00	11.01	14.89	4.67
1,3-dimethylbiphenyl	2.01	1.63	2.90	2.04	2.05	1.24	1.60	1.68	1.42	6.09	0.91	1.11	1.59
1,6-dimethylnaphthalene	1.09	0.48	1.93	-	-	-	-	1.12	-	-	-	-	-
2,2-dimethylbiphenyl	-	-	-	-	-	-	-	-	3.07	4.65	2.29	5.42	-
1,8-dimethylnaphthalene	-	-	-	2.40	2.47	0.61	-	-	8.91	10.56	6.59	5.82	6.55
acenaphthene	1.69	1.79*	1.54	1.55	1.30	0.74	1.24	2.19	-	-	0.88	0.52	-
3-methylbiphenyl	4.93	1.61	-	-	-	-	-	-	-	-	2.44	3.97	6.19
2,3-dimethylindole	-	-	1.11	2.55	3.43	1.91	1.94	2.58	-	-	-	-	-
dibenzofuran	5.93	3.82	4.49	4.28	2.96	3.26	6.21	4.03	120.17	103.37	76.57	41.53	13.10
2-methyl-1,4-naphthalene	7.95	9.03	8.59	1.49	25.03	14.45	15.19	4.03	-	-	-	0.98	1.91
2,3,6-trimethylnaphthalene	8.02	-	-	-	-	-	-	22.52	-	-	-	-	-
1-methylacenaphthalene	-	-	-	-	-	-	-	0.71	1.28	-	-	-	-
2,3,5-trimethylnaphthalene	-	3.05	2.97	-	-	-	1.66	3.21	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข2. (ต่อ) ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 -39
dibenzo-p-dioxin	-	-	-	1.42	1.23	-	0.49	0.54	-	-	-	-	-
fluorene	2.03	2.75	1.61	5.65	1.16	0.74	1.08	1.00	3.85	5.96	2.63	24.71	4.26
tran-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrodibenzothiophene	195.00	-	-	-	-	-	-	-	1.46	-	-	24.64	4.77
cis-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrodibenzothiophene	-	-	-	-	-	-	-	5.44	5.18	-	-	-	-
3,3'-dimethylbiphenyl	-	-	-	-	-	-	-	3.97	-	-	-	-	-
9-methylfluorene	4.23	2.64	4.08	2.62	-	1.76	2.35	-	-	9.67	-	3.95	3.01
2,3,5-trimethylindole	-	-	-	-	2.06	-	-	-	2.44	-	-	-	-
4,4'-dimethylbiphenyl	2.45	1.68	2.09	2.58	1.95	1.86	2.35	1.94	9.52	-	-	-	-
5H-indeno(1,2-b)pyridene	-	-	-	-	-	-	-	0.75	1.81	-	1.77	4.98	2.43
xanthene	-	0.56	-	-	-	-	-	-	3.40	-	-	-	-
9,10-dihydrophenanthrene	3.95	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-
2-methylfluorene	-	1.53	-	-	-	-	0.76	1.27	0.69	-	-	-	0.87
1-methylfluorene	2.71	-	2.00	3.67	1.01	-	-	1.53	-	-	-	-	-
1,2,3,4,5,6,7,8,-octahydroanthracene	6.51	3.54	3.51	7.44	3.63	3.74	4.00	4.50	-	97.47	1.29	-	0.52
1,2,3,4-tetrahydrodibenzothiophene	2.37	2.07	1.42	-	1.38	1.32	1.48	1.88	3.18	6.72	3.51	2.42	3.97
9-fluorenone	9.58	1.70	1.74	226.69	1.44	1.48	1.67	2.27	1.76	7.25	6.38	4.18	5.25
dibenzothiophene	-	1.76	1.54	-	1.84	2.34	2.20	1.15	-	-	3.13	-	-
1,2,3,4-tetrahydrophenanthrene	-	-	-	-	-	-	-	0.81	-	-	2.90	-	-
phenanthrene	15.53	13.46*	14.58	-	12.73	11.77	12.84	10.63	10.35	60.86	37.94	-	14.69
anthracene	4.94	2.86*	3.89	3.07	3.05	3.86	3.41	3.02	2.02	-	2.28	-	8.73
benzo(h)quinoline	7.34	2.49	1.60	2.75	2.52	2.58	1.94	2.34	3.23	16.25	-	-	5.58
9,10-dihydroacridine	5.58	-	2.77	2.59	2.84	3.05	2.83	3.13	4.51	19.65	5.64	3.98	7.80
acridine	-	2.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2,3,4-tetrahydrocarbazole	9.23	4.35	4.04	4.53	4.20	4.68	4.38	4.31	17.34	184.12	55.97	68.37	24.65

ตารางที่ ข2. (ต่อ) ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 -39
phenanthridine	4.84	-	-	-	-	-	-	0.94	-	-	-	-	-
benzo(f)quinoline	-	0.69	0.55	-	0.95	1.06	0.77	1.05	-	-	-	-	-
carbazole	5.61	3.46	3.43	3.30	2.77	2.86	2.99	2.46	-	4.53	-	-	2.77
9-ethylcarbazole	5.00	5.02	-	2.19	-	1.35	0.82	1.76	1.37	18.11	5.85	5.04	2.75
1-phenylanthracene	2.75	1.31	0.91	0.93	1.12	1.02	1.20	1.80	0.92	-	2.90	-	1.19
1,2,3,10b-tetrahydrofluoranthene	-	2.44	-	2.28	-	1.44	-	1.79	3.71	-	-	-	-
9-n-propylfluorene	3.98	-	-	-	-	-	-	-	-	9.37	4.43	3.22	1.30
3-methylphenanthrene	2.62	1.34	1.46	1.53	1.14	1.07	0.87	1.36	-	-	-	-	0.74
2-methylphenanthrene	2.09	0.79	-	1.26	0.70	0.81	0.88	0.78	-	-	5.41	-	1.77
3-methylbenzo(f)quinoline	3.61	1.55	1.81	1.66	1.13	1.15	1.69	1.67	-	-	-	-	1.97
2-methylanthracene	3.61	-	-	-	-	-	-	1.73	-	-	-	-	-
4H-cyclopenta(def)phenanthrene	3.30	4.21	-	-	3.72	-	3.51	-	-	-	-	-	-
9-methylphenanthrene	-	-	3.80	4.31	-	3.37	-	3.52	-	-	25.04	-	8.83
4-methylphenanthrene	3.82	-	-	-	-	-	-	-	5.66	85.70	-	17.96	-
1-methylanthracene	2.94	0.69	0.85	0.63	0.49	-	0.49	-	-	-	-	-	-
1-methylphenanthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.60
2-methylacridine	-	-	-	-	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5,9,10-tetrahydropyrene	6.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
anthrene	3.24	6.14	13.90	15.90	7.71	13.52	15.34	8.79	9.49	13.61	9.56	5.91	20.78
2-phenylanthracene	-	2.82	1.90	-	-	2.59	1.76	2.91	1.33	6.52	3.38	-	1.50
9-ethylphenanthrene	1.22	1.00	-	-	-	-	0.87	0.85	2.19	9.28	7.75	3.25	-
2-ethylphenanthrene	4.51	-	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,6-dimethylphenanthrene	-	1.74	-	-	0.99	4.72	1.39	-	-	-	-	-	-
2,7-dimethylphenanthrene	1.84	-	-	1.03	0.87	-	-	-	-	148.86	-	-	5.21

ตารางที่ ข2. (ต่อ) ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 -39
1,2,3,6,7,8-hexahydroxyrene	3.01	-	-	-	-	-	-	-	3.04	-	-	-	-
6-phenylquinoline	1.76	6.53	4.07	3.29	5.30	5.71	5.56	5.23	-	5.37	2.23	-	3.74
fluoranthene	17.59	20.41	-	12.34	11.73	16.77	17.78	15.75	7.37	24.91	11.12	10.80	17.55
9-isopropylphenanthrene	8.65	6.24	7.47	4.80	5.18	7.20	6.54	10.30	1.45	12.89	4.00	1.80	6.05
1,8-dimethylphenanthrene	-	0.76	-	0.26	0.75	-	-	14.23	-	-	-	-	-
2-phenylindole	4.15	4.01	1.91	3.76	3.47	-	3.81	3.12	4.96	17.55	8.75	3.86	3.97
indole(1,2,3-ij)-isoquinoline	-	-	-	-	-	-	-	1.71	-	-	-	-	-
9-n-hexylfluorene	16.78	-	3.08	-	3.47	-	1.85	1.70	1.21	-	-	-	-
9-n-propylphenanthrene	6.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.89	-
pyrene	15.43	13.83	-	13.56	13.94	13.67	14.74	11.51	5.61	30.60	15.47	7.96	11.32
9,10-dimethylanthracene	3.40	-	2.46	1.42	-	-	-	-	3.41	8.46	3.05	-	-
benzo(lmn)phenanthridine	-	-	-	-	-	-	-	-	4.31	-	-	-	-
9-methyl-10-ethylphenanthrene	-	-	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	1.52	1.49
m-terphenyl	0.65	8.53	3.46	4.50	11.29	3.32	-	5.13	1.97	8.91	3.37	2.58	3.75
benzo(k)l)anthrene	4.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4H-benzo(def)carbazole	-	3.20	2.41	-	2.16	2.01	-	-	0.87	5.53	1.09	-	-
p-terphenyl	-	4.19	-	-	-	-	-	-	2.31	4.81	3.17	-	-
benzo(a)fluorene	-	1.49	0.90	0.97	1.19	1.23	2.65	1.48	-	-	-	-	-
11-methylbenzo(a)fluorene	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,10-diethylphenanthrene	5.54	2.77	-	-	2.14	2.45	2.33	1.64	5.72	8.27	20.39	18.54	11.30
1-methylisopropylphenanthrene	3.14	-	1.78	2.14	-	-	-	1.35	-	-	-	-	-
benzo(b)fluorene	12.79	-	9.19	10.20	-	8.89	7.83	2.37	0.96	-	-	-	1.61
2-methylpyrene	-	5.31	-	-	8.84	-	-	9.19	-	-	-	-	-
4,5,6-trihydrobenz(de)anthracene	5.15	2.28	3.71	3.50	3.91	4.43	3.00	3.68	2.02	0.44	2.40	-	2.72

ตารางที่ ข2. (ต่อ) ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
1-methylpyrene	-	-	2.00	-	-	2.06	1.87	2.29	1.63	0.59	1.74	2.57	1.96
3,5-dephenylpyridine	5.40	-	4.04	3.67	3.90	2.82	4.73	4.14	1.87	1.20	-	-	3.04
9-phenylcarbazole	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.28	-	-
1-ethylpyrene	0.60	-	-	2.80	1.72	-	2.09	1.14	5.05	-	-	-	-
benzo(c)phenanthrene	-	-	3.97	-	5.60	-	-	3.37	-	-	4.80	-	5.20
benz(c) acrodine	-	-	-	7.47	0.93	4.20	5.27	6.78	4.32	-	-	4.25	-
9-phenylanthracene	2.82	-	4.19	-	-	-	-	3.26	-	11.71	27.86	-	16.84
cyclopenta(cd)pyrene	5.89	3.56	-	-	3.02	-	2.95	2.61	8.15	-	-	30.52	-
benz(a)anthracene	1.60	63.59	48.19	43.49	-	38.51	41.29	20.38	-	-	3.32	3.90	-
benz(a)acridine	-	-	-	-	-	-	-	-	2.21	-	-	-	-
chrysene	73.01	-	29.91	29.25	56.99	-	26.15	15.36	3.91	56.27	7.25	3.76	28.39
benzo(a)carbazole	74.91	65.24	-	-	26.31	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2'-binaphthyl	3.68	1.46	-	-	-	-	1.52	-	0.78	-	-	-	-
benzo(b)carbazole	-	-	-	-	-	-	-	-	7.02	106.87	4.17	-	15.55
11-methylbenz(a)anthracene	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12	-	-	-	-
2-methylbenz(a)anthracene	7.57	-	-	-	1.57	-	2.19	5.36	4.45	-	-	-	2.93
1-methylbenz(a)anthracene	-	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	7.78	-	-
1-n-butylpyrene	-	0.71	-	-	1.37	-	-	-	-	-	-	-	-
1-methyltriphenylene	-	-	-	-	-	-	-	-	28.56	-	-	-	-
3-methylbenz(a)anthracene	-	-	46.11	46.26	-	40.31	-	24.97	-	62.55	-	-	36.34
9-methyl-10-phenylphenanthrene	134.49	103.46	-	-	57.01	-	45.20	-	-	-	-	27.05	-
6-methylbenz(a)anthracene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.89	-	-
3-methylchrysene	-	-	-	-	-	-	1.56	-	-	-	-	-	-
5-methylchrysene	-	2.19	2.97	-	-	-	1.11	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข2. (ต่อ) ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
6-methylchrysene	-	-	-	-	-	-	1.25	-	-	-	-	-	-
1-methylchrysene	24.22	17.50	11.72	10.89	15.28	11.65	17.53	6.45	4.06	23.17	-	4.07	9.49
2,(2-naphthyl)-benzo(b)thiophene	-	-	-	-	-	-	-	-	5.85	-	-	-	-
1,3-dimethyltriphenylene	-	-	-	-	-	-	-	10.45	5.11	-	-	-	-
benzo(j)fluoranthene	-	-	-	1.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(b)fluoranthene	13.82	-	-	-	8.77	-	1.47	-	-	-	-	-	-
benzo(k)fluoranthene	-	20.49	-	9.57	-	18.24	1.28	-	18.08	31.03	-	-	19.95
7,12-dimethylbenz(a)anthracene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.42	-
1,6,11-trimethyltriphenylene	7.66	5.77	11.39	9.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(e)pyrene	37.98	38.98	13.46	5.93	10.19	24.36	30.10	24.76	24.81	18.03	-	-	28.57
dibenzo(c,k,l)xanthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.69	-	31.72	-
benzo(a)pyrene	36.15	5.30*	4.90	3.11	3.82	-	5.48	3.93	4.04	-	8.56	-	5.63
perylene	32.76	31.79	29.49	26.99	1.09	31.25	41.71	20.48	20.57	42.89	25.21	21.23	25.69
1,3,6,11-tetramethylphenylene	-	-	-	-	3.83	-	7.87	-	7.05	-	-	-	-
3-methylcholanthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	10.06	-	-	-	8.48
indeno(1,2,3-cd)pyrene	-	-	-	-	33.30	36.66	-	-	30.45	30.97	16.76	-	24.63
pentacene	29.54	-	-	-	-	-	7.04	-	41.29	27.44	-	26.62	23.30
dibenz(a,c)anthracene	57.31	-	-	-	-	-	-	-	28.33	-	-	-	-
benzo(g,h,i)perylene	-	-	90.48	-	19.07	-	22.89	-	-	-	-	-	-
total PAHs identified	1041.12	524.08	456.50	589.01	443.88	381.69	455.80	396.66	559.38	1477.63	541.37	486.48	508.89
เฉลี่ย	132.92												
total PAHs 18	223.08	185.78	231.73	154.91	175.06	177.15	199.00	115.90	108.10	314.77	132.92	78.76	166.98
เฉลี่ย	174.17												

หมายเหตุ * = PAHs ที่ identified โดย GC-MS และ ARI

PAHs 18 = napht, biphenyl , acenl, acent, flu, phen, ant, flut, pyr, BaA, chry, BbF, BkF, BaP, Pery, Ind, DahA, BghiP

ตารางที่ ข3 (ต่อ) . ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C2) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
carbazole	-	-	2.23	0.79	-	-	-	-	-	1.75	-	1.56	1.99
9-ethylcarbazole	8.93	8.25	-	2.05	8.35	4.85	8.24	2.08	3.66	6.35	6.57	4.16	6.26
1-phenylnaphthalene	2.32	3.06	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17
1,2,3,10b-tetrahydrofluoranthene	16.07	-	-	4.49	-	-	-	5.65	-	-	-	-	-
9-n-propylfluorene	8.59	6.59	-	2.06	9.77	5.73	8.19	1.93	5.24	10.66	-	2.82	2.44
3-methylphenanthrene	-	-	4.72	-	-	1.47	-	-	-	1.84	5.04	-	-
2-methylphenanthrene	6.66	1.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.40	1.95
3-methylbenzo(f)quinoline	-	7.91	1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	1.56	1.13
4H-cyclopenta(def)-phenanthrene	-	-	7.11	15.60	-	37.62	37.89	16.26	19.37	39.94	-	-	-
9-methylphenanthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.53	-	-
4-methylphenanthrene	51.61	21.02	-	-	59.79	-	-	-	-	-	-	26.09	23.27
1-methylanthracene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-methylphenanthrene	3.18	25.64	-	-	-	-	-	-	3.43	-	-	-	-
9-n-butylfluorene	-	-	-	-	-	1.78	-	-	-	-	-	-	-
4,5,9,10-tetrahydropyrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.15	-
anthrene	6.98	29.42	5.47	2.59	-	-	-	6.86	2.68	-	-	2.30	9.75
2-phenylnaphthalene	4.05	4.35	1.21	0.80	5.48	-	-	0.54	-	3.55	-	0.87	3.76
9-ethylphenanthrene	9.30	6.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.50
3,6-dimethylphenanthrene	-	-	1.91	-	-	-	-	-	-	-	6.19	-	-
6-phenylquinoline	0.98	2.30	1.82	-	-	-	-	1.89	-	4.34	-	1.40	4.03
fluoranthene	9.04	14.34	-	3.25	11.56	7.75	10.18	4.48	8.44	11.91	1.01	8.32	7.75
9-isopropylphenanthrene	-	1.97	2.83	-	-	1.27	-	-	-	1.98	9.62	2.24	3.59
2-phenylindole	7.15	11.03	2.16	-	11.56	-	-	-	-	4.06	2.24	-	1.83
indole(1,2,3-ij)-isoquinoline	9.41	-	-	-	-	2.79	2.53	-	-	-	-	1.71	-
9-n-hexylfluorene	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9-n-propylphenanthrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.82	-
pyrene	7.85	18.64	7.58	2.64	10.17	7.40	7.81	2.82	5.84	7.87	13.01	4.85	4.99

ตารางที่ ๓3. (ต่อ) . ปริมาณของสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C2) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
1-n-butylpyrene	2.17	2.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-methyltriphenylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.28	-	-
3-methylbenz(a)anthracene	-	-	144.09	41.44	-	131.88	26.94	-	68.07	93.52	-	34.76	34.17
9-methyl-10-phenylphenanthrene	151.45	-	-	-	160.16	-	-	-	-	-	-	-	-
5-methylbenz(a)anthracene	-	2.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,2-biquinoline	-	2.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-phenylphenanthrene	12.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-methylchrysene	10.73	14.61	9.07	-	21.98	-	-	-	-	11.13	-	-	5.66
2,(2-naphthyl)-benzo(b)thiophene	-	-	6.05	13.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(j)fluoranthene	4.59	14.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(k)fluoranthene	26.44	49.21	-	-	113.33	22.56	74.60	-	33.71	70.34	4.09	-	-
1,6,11-trimethyltriphenylene	6.16	7.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(e)pyrene	9.93	109.09	131.61	-	-	-	-	-	-	130.05	2.46	-	-
dibenzo(c,k,l)xanthrene	74.80	-	-	-	276.39	170.89	132.85	-	136.07	27.25	10.17	127.38	-
benzo(a)pyrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.72	-	-
perylene	36.48	50.20	37.60	-	54.05	30.37	24.82	-	30.56	12.02	-	23.50	47.34
1,3,6,11-tetramethylphenylene	-	-	-	-	-	35.74	-	-	-	-	-	-	-
3-methylcholanthrene	-	104.79	-	-	-	-	2317.67	-	-	-	-	-	-
m-quaterphenyl	3.91	6.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
indeno(1,2,3-cd)pyrene	29.00	25.50	5.36	-	230.84	-	91.23	-	533.59	-	102.71	36.39	39.85
pentacene	520.23	1348.24	-	-	-	-	-	-	2024.03	-	-	-	-
p-quaterphenyl	283.74	426.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(b)chrysene	34.05	68.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
benzo(g,h,i)perylene	15.72	468.93	-	-	116.07	93.62	-	-	71.19	-	-	-	-
total PAHs identified	2241.07	3417.46	536.85	280.36	1717.23	960.53	3197.75	1093.06	3268.55	962.74	595.07	601.87	563.83
เฉลี่ย	1495.11												
total PAHs identified 18	232.40	731.59	130.52	61.77	403.82	315.84	168.28	43.50	211.50	220.63	142.65	99.89	186.19
เฉลี่ย	226.81												

PAHs 18 = napht, biphenyl , acenl, acent, flu, phen, ant, flut, pyr, BaA, chry, BbF, BkF, BaP, Pery, Ind, DahA, BghiP

ตารางที่ ๑๔. ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก (ซม.)					
	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
naphthalene	14.53	13.15	10.63	10.64	3.53	3.95
indole	0.45	-	-	-	-	-
2-methylbenzo(b)thiophene	1.58	-	1.81	1.50	-	0.65
3-methylbenzo(b)thiophene	11.62	24.14	3.96	6.51	18.61	22.55
biphenyl	5.39	7.03	3.71	5.90	3.93	3.93
1-ethylnaphthalene	-	-	0.69	-	-	-
2-methylbiphenyl	-	43.88	10.94	16.59	36.28	42.42
1,6-dimethylnaphthalene	-	-	0.70	-	-	-
1,2-dimethylnaphthalene	31.16	28.18	11.83	18.16	10.08	11.18
1,8-dimethylnaphthalene	2.72	-	-	-	-	-
acenaphthene	1.14	-	1.49	0.88	-	0.85
3-methylbiphenyl	0.43	2.70	1.05	-	-	-
dibenzofuran	24.88	49.72	12.72	21.67	45.11	55.66
2-methyl-1,4-naphthalene	2.30	-	11.11	1.83	-	-
2,3,6-trimethylnaphthalene	4.12	9.11	11.52	3.56	3.33	-
2,3,5-trimethylnaphthalene	-	-	4.47	-	-	-
dibenzo-p-dioxin	-	-	-	-	-	28.89
fluorene	18.82	34.79	-	7.92	25.47	8.71
tran-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrodibenzothiophene	6.63	8.80	-	-	-	-
5H-indeno(1,2-b)pyridene	-	-	-	-	6.85	-
xanthene	-	5.97	-	-	-	-
2-methylfluorene	2.10	-	-	-	-	-
1,2,3,4,5,6,7,8,-octahydroanthracene	8.35	-	4.42	-	-	-
1,2,3,4-tetrahydrodibenzothiophene	9.45	7.59	4.42	7.36	6.31	7.34
9-fluorenone	2.83	8.21	2.27	2.84	4.82	9.34

ตารางที่ ๗4.(ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก (ซม.)					
	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
dibenzothiophene	-	-	2.60	-	-	-
phenanthrene	96.18	-	-	85.65	71.36	80.13
anthracene	13.08	128.63	52.84	16.86	12.90	14.91
benzo(h)quinoline	-	-	-	-	-	144.96
9,10-dihydroacridine	4.13	-	-	2.22	-	-
1,2,3,4-tetrahydrocarbazole	91.16	-	9.90	99.63	119.99	-
phenanthridine	-	-	-	-	-	7.04
carbazole	2.98	-	54.98	3.95	-	-
9-ethylcarbazole	7.20	15.13	3.08	5.03	9.77	5.48
1-phenylnaphthalene	-	-	4.00	-	-	-
9-n-propylfluorene	3.31	17.31	1.86	2.41	5.04	-
3-methylphenanthrene	0.63	-	1.63	0.54	-	-
2-methylphenanthrene	2.77	12.30	0.50	3.53	2.62	-
3-methylbenzo(f)quinoline	-	-	2.59	2.37	-	-
4-methylphenanthrene	-	-	1.60	72.18	77.29	85.43
1-methylanthracene	43.76	2.66	-	-	-	-
1-methylphenanthrene	5.86	-	-	-	-	-
4,5,9,10-tetrahydropyrene	-	-	-	-	-	8.42
4,5-dihydropyrene	-	117.02	-	-	-	-
thianthrene	-	-	-	2.24	7.17	-
anthrene	-	-	-	-	-	14.5
2-phenylnaphthalene	-	-	-	7.06	7.24	7.56
9-ethylphenanthrene	15.36	2.16	-	23.73	20.44	24.9
2-ethylphenanthrene	-	26.05	-	-	-	-
2,7-dimethylphenanthrene	97.60	-	-	-	-	-

ตารางที่ ๗4. (ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก (ซม.)					
	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
1,2,3,6,7,8-hexahdropyrene	-	254.17	-	-	-	-
6-phenylquinoline	-	10.98	44.27	4.77	-	3.92
fluoranthene	14.53	-	4.28	53.83	41.38	50.47
9-isopropylphenanthrene	2.53	2.62	36.95	4.74	2.31	-
2-phenylindole	-	-	-	15.14	-	17.5
indole(1,2,3-ij)-isoquinoline	-	-	4.10	-	15.89	-
9-n-propylphenanthrene	-	-	-	9.83	-	-
pyrene	5.71	50.04	8.59	37.12	29.61	35.28
9,10-dimethylantracene	6.29	6.23	25.48	5.27	4.61	5.16
9-methyl-10-ethylphenanthrene	0.77	1.18	-	0.72	-	-
m-terphenyl	4.30	4.16	-	4.63	4.08	4.08
benzo(a)fluorene	8.06	-	-	-	-	-
9,10-diethylphenanthrene	37.94	-	3.56	31.95	35.43	41.92
benzo(b)fluorene	-	50.60	-	-	-	-
4-methylpyrene	2.64	-	-	-	-	-
4,5,6-trihydrobenz(de)anthracene	8.20	7.14	-	4.75	3.10	5.56
1-methylpyrene	-	3.97	-	4.14	3.07	-
3,5-dephenylpyridine	-	4.24	-	-	1.97	2.96
benzo(g,h,i)fluoranthene	-	-	15.19	4.15	-	-
benz(c) acrodine	17.14	-	-	11.04	-	-
9-phenylanthracene	-	-	4.42	74.84	-	88.74
cyclopenta(cd)pyrene	-	102.31	-	-	74.94	-
benz(a)anthracene	7.67	-	38.37	-	-	46.06
chrysene	-	-	198.03	-	-	-
triphenylene	141.79	-	-	31.08	11.65	-

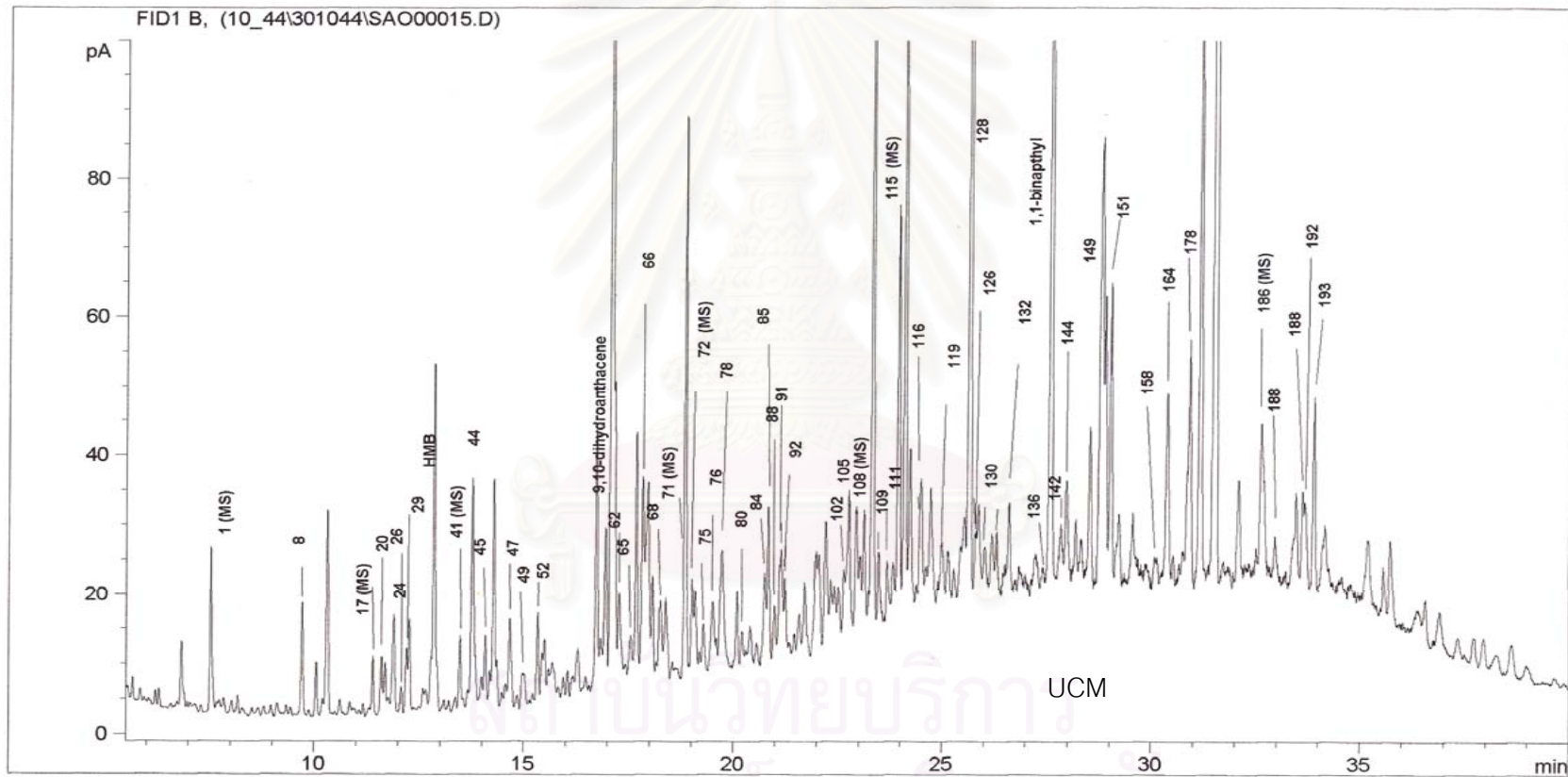
ตารางที่ ๑4.(ต่อ) ปริมาณสาร PAHs ในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C3) (นาโนกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)

PAHs	ความลึก (ซม.)					
	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
benzo(a)carbazole	37.16	-	-	-	-	-
benzo(b)carbazole	54.09	-	-	-	-	99.42
2-methylbenz(a)anthracene	-	-	-	8.87	-	-
3-methylbenz(a)anthracene	-	-	-	-	-	55.4
9-methyl-10-phenylphenanthrene	90.42	102.36	-	-	-	-
8-methylbenz(a)anthracene	-	-	45.47	97.35	51.25	-
1-methylchrysene	21.83	-	-	-	97.00	104.26
7-methylbenz(a)anthracene	-	92.68	-	-	-	-
o-quaterphenyl	-	-	88.62	440.78	-	-
benzo(b)fluoranthene	-	-	387.76	-	-	-
benzo(k)fluoranthene	-	-	-	-	128.62	-
7,12-dimethylbenz(a)anthracene	252.78	19.17	74.48	192.64	-	120.75
1,6,11-trimethyltriphenylene	29.61	-	-	-	-	-
dibenzo(c,k,l)xanthrene	330.45	59.64	250.12	400.53	350.65	480.97
benzo(a)pyrene	13.70	-	4.29	6.52	-	11.39
perylene	13.83	60.50	26.82	35.13	50.94	24.37
indeno(1,2,3-cd)pyrene	531.74	175.66	-	210.29	-	-
pentacene	-	-	-	-	-	78.93
benzo(g,h,i)perylene	65.46	48.67	187.45	102.71	58.07	-
total PAHs identified	2231.16	1620.88	1681.57	2225.58	1462.72	1865.94
เฉลี่ย	1847.98					
total PAHs identified 18	801.78	518.47	924.26	573.45	425.81	280.06
เฉลี่ย	587.30					

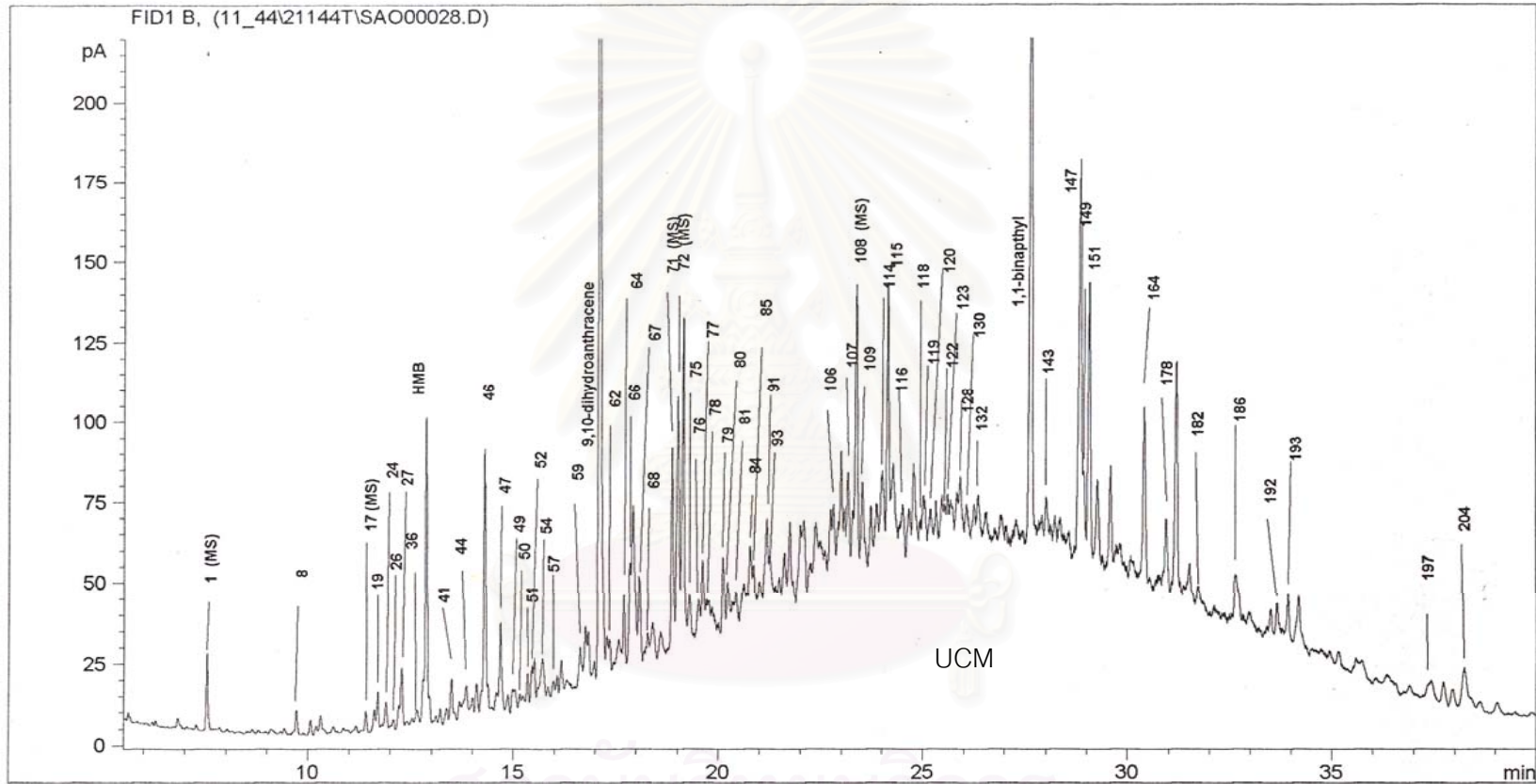
PAHs 18 = napht, biphenyl, acenl, acenl, flu, phen, ant, flut, pyr, BaA, chry, BbF, BkF, BaP, Pery, Ind, DahA, BghiP

ภาคผนวก ค

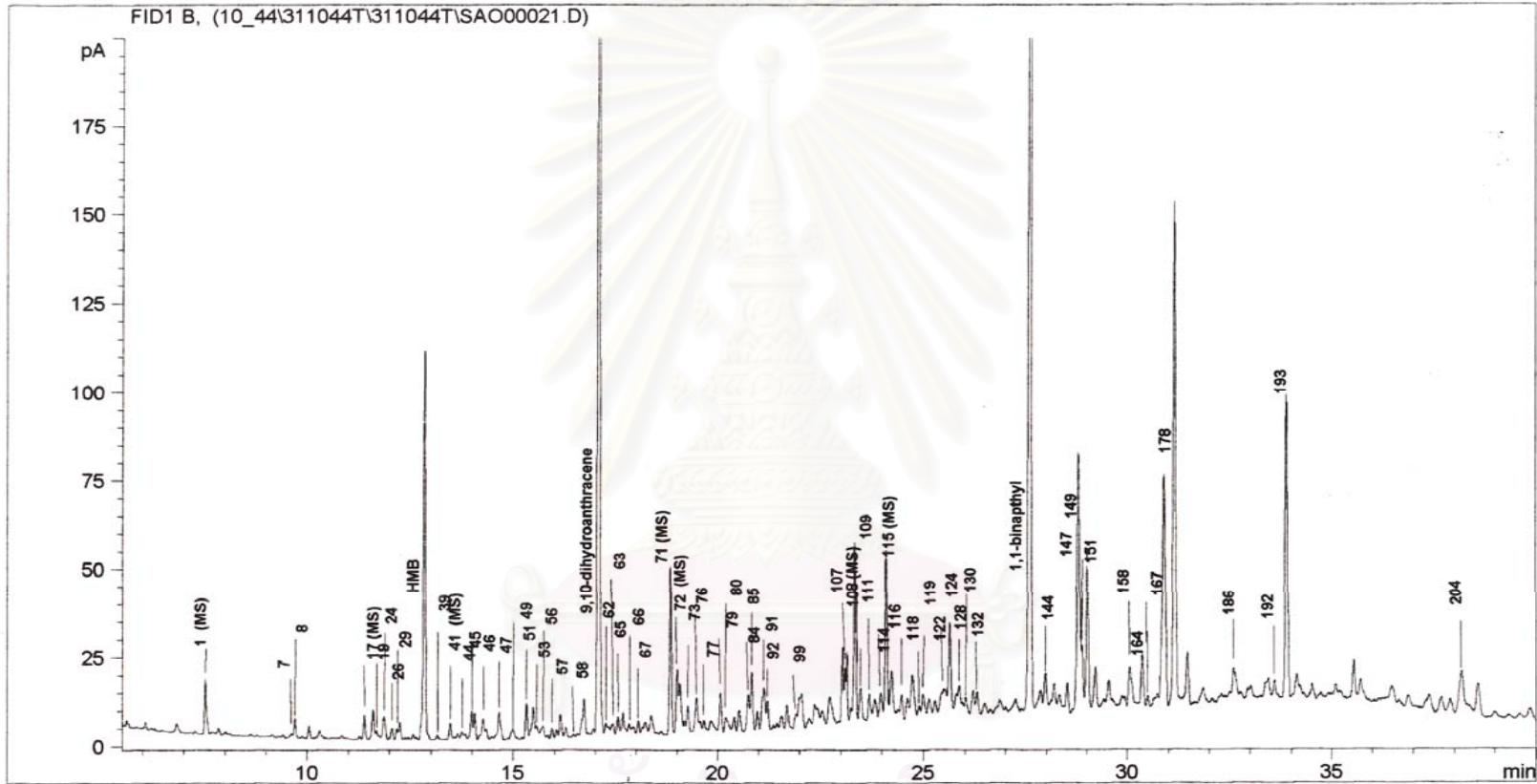
โครมาโทแกรมของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ ค1. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำที่สถานี T8

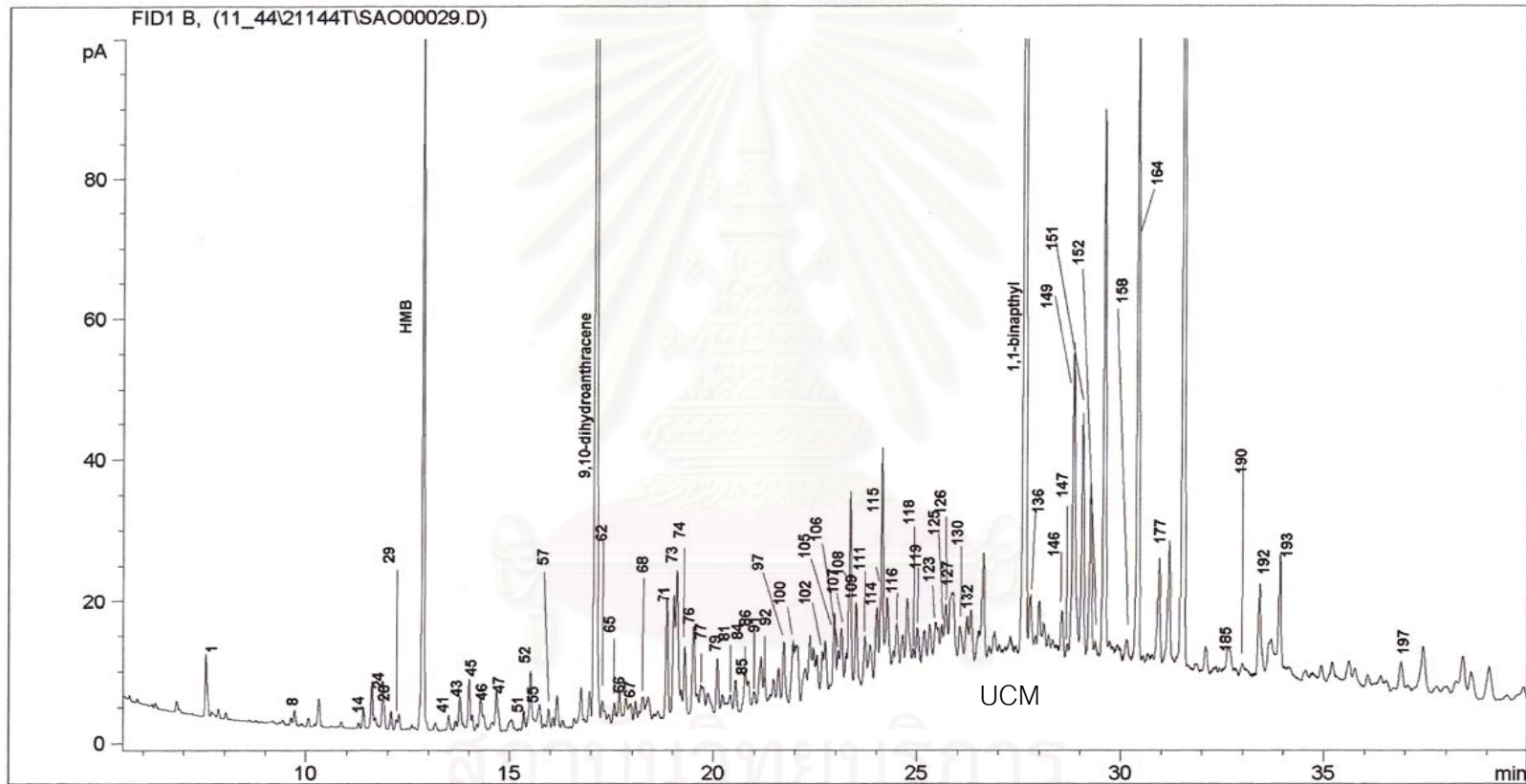


รูปที่ ค2. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำบริเวณสถานีคลองมหาชัย (M2)
 หมายเหตุ : (MS) หมายถึง สารที่สามารถยืนยันได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

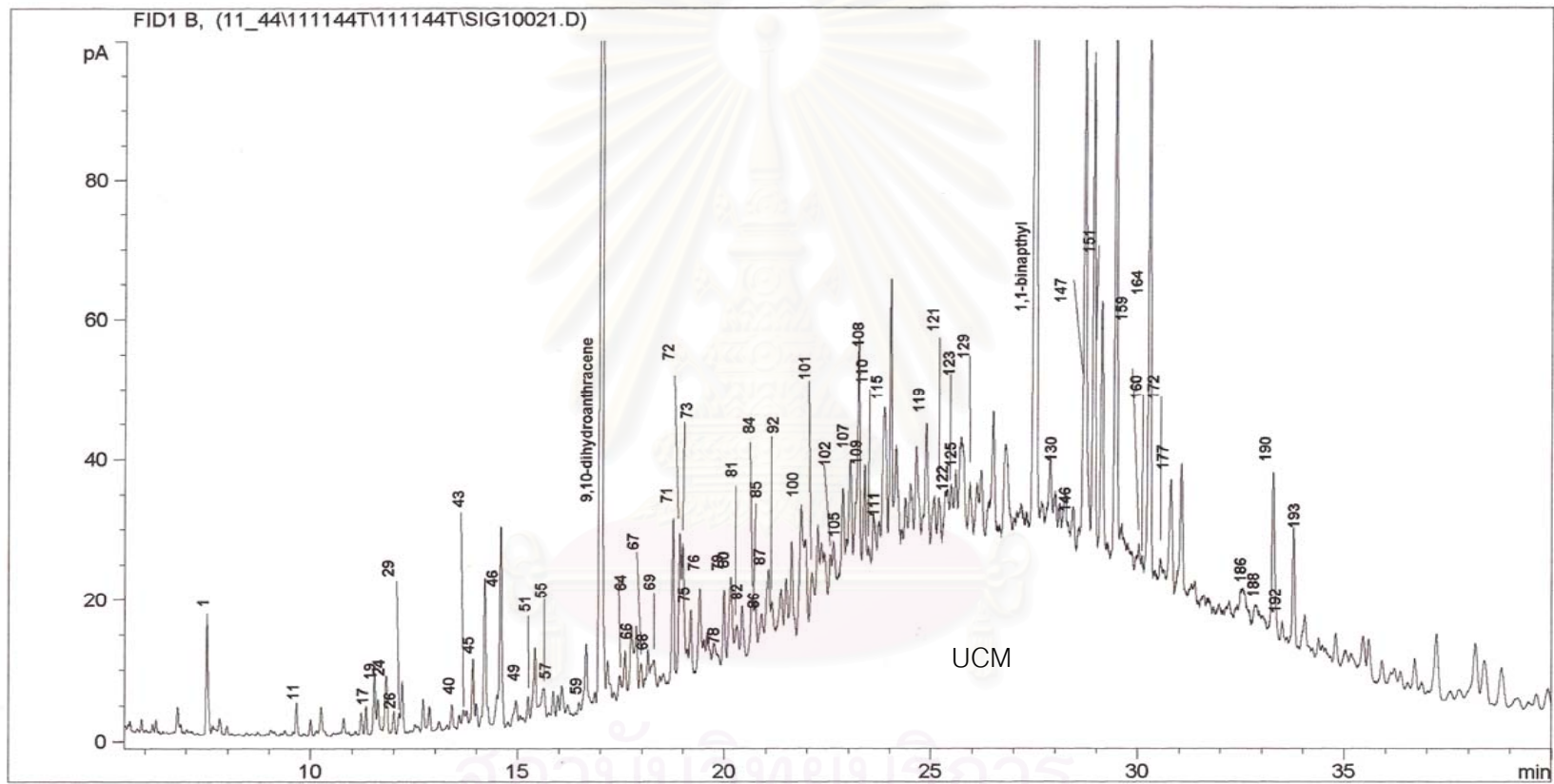


รูปที่ ค3. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำบริเวณสถานีคลองสุนัขหอน (D2)

หมายเหตุ : (MS) หมายถึง สารที่สามารถยืนยันได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

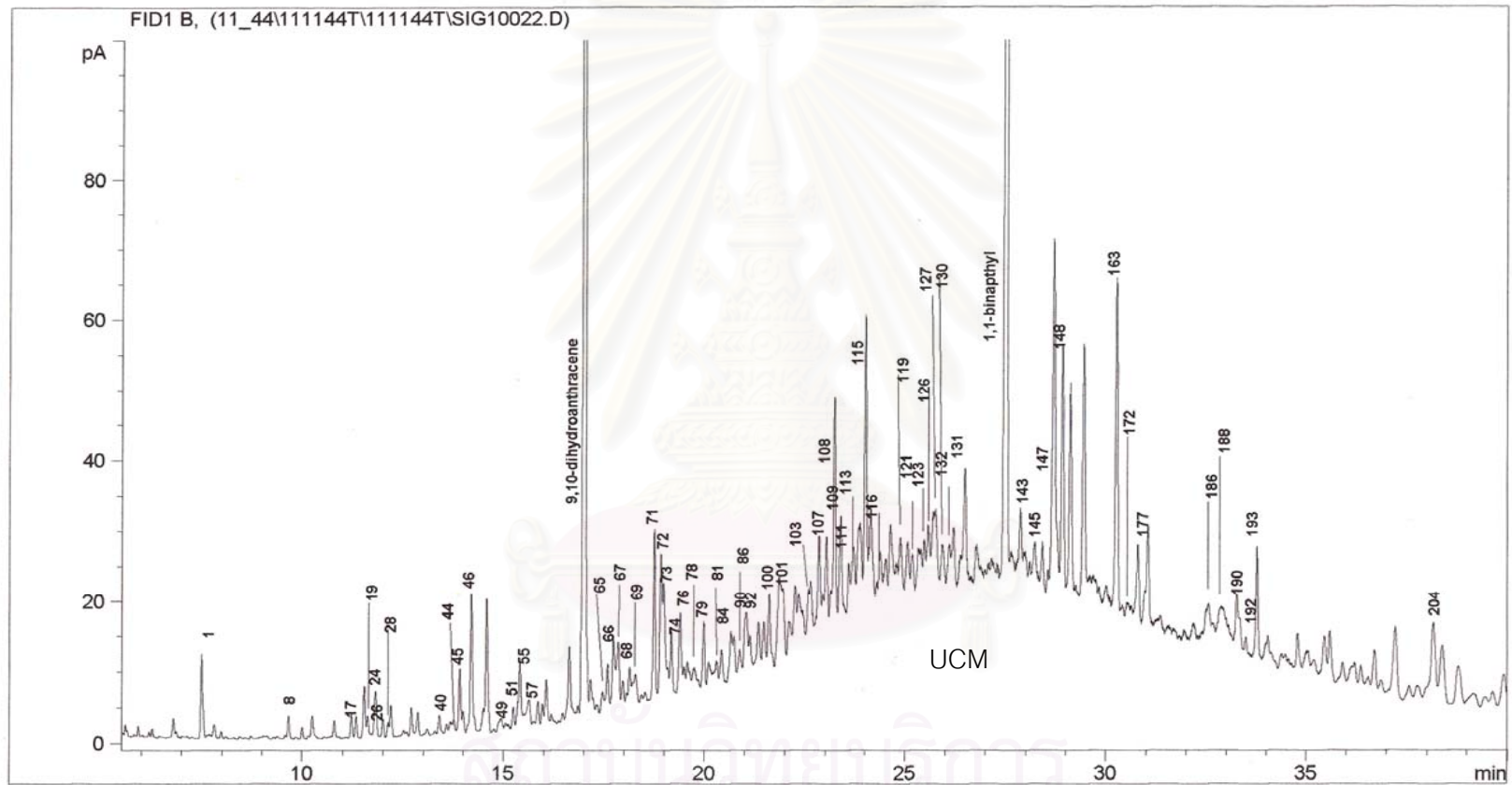


รูปที่ ค4. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 0 - 3 ซม.

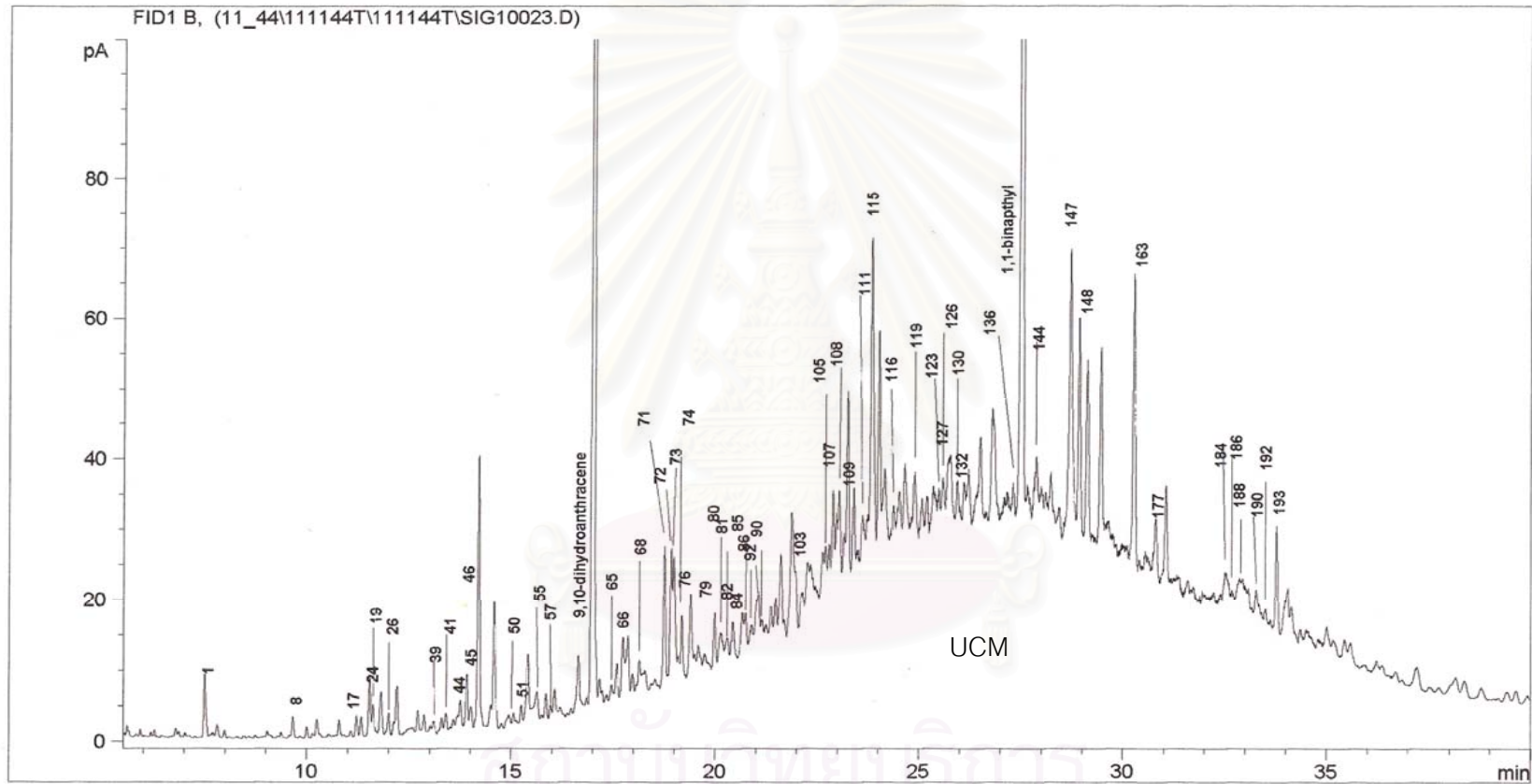


รูปที่ ค5. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 3 – 6 ซม.

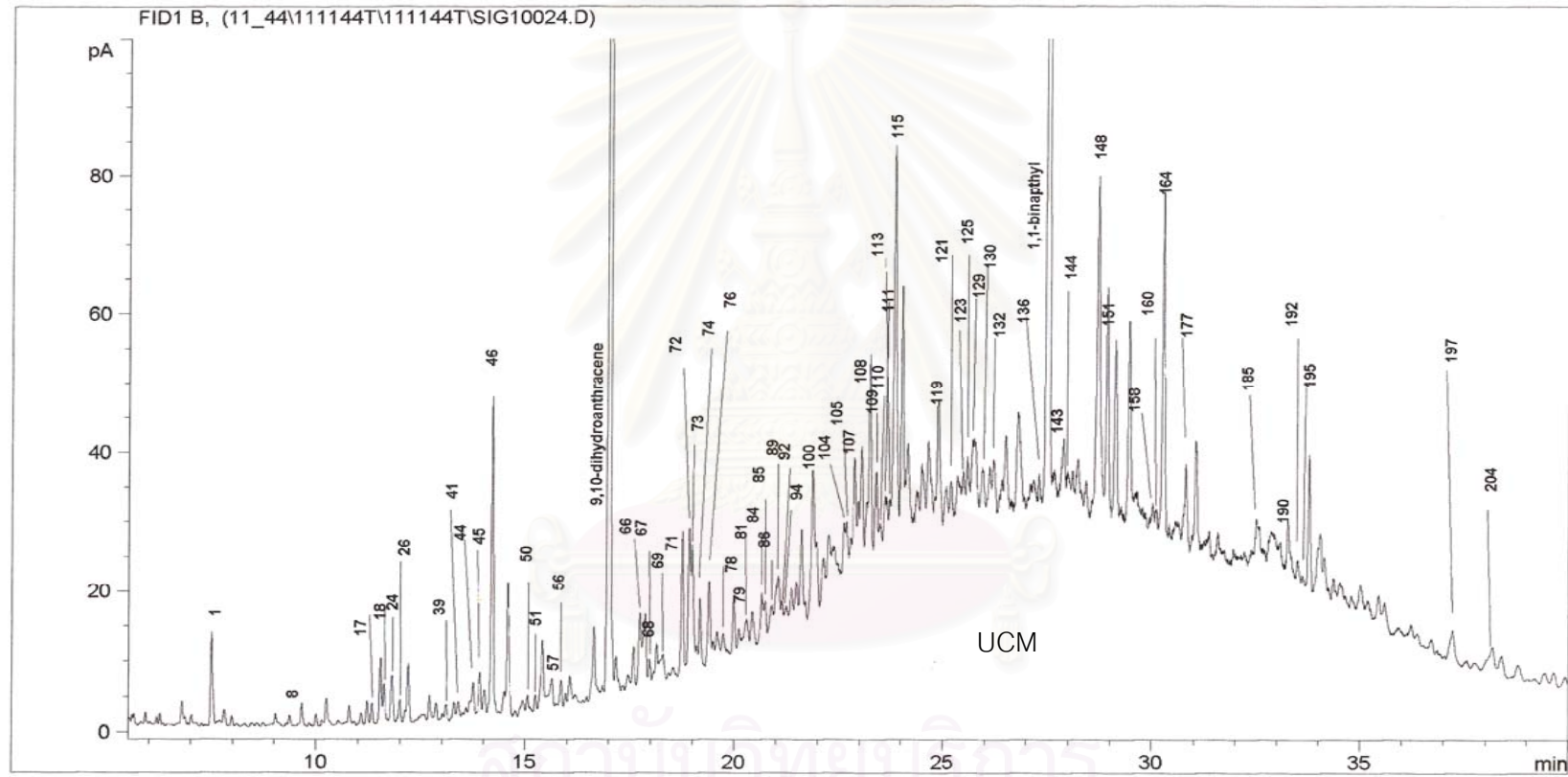
หมายเหตุ : (MS) หมายถึง สารที่สามารถยืนยันได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS



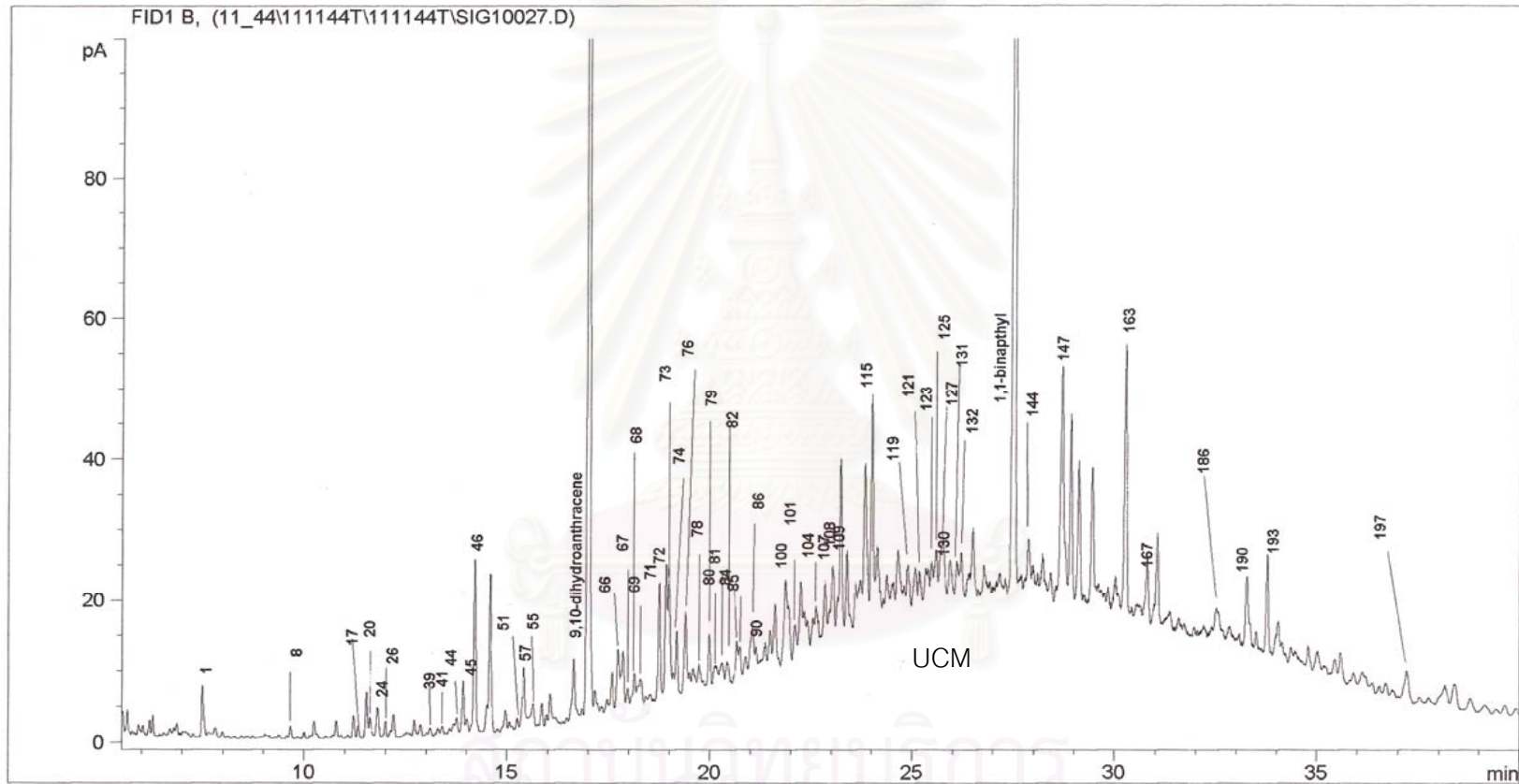
รูปที่ ค6. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 6 - 9 ซม.



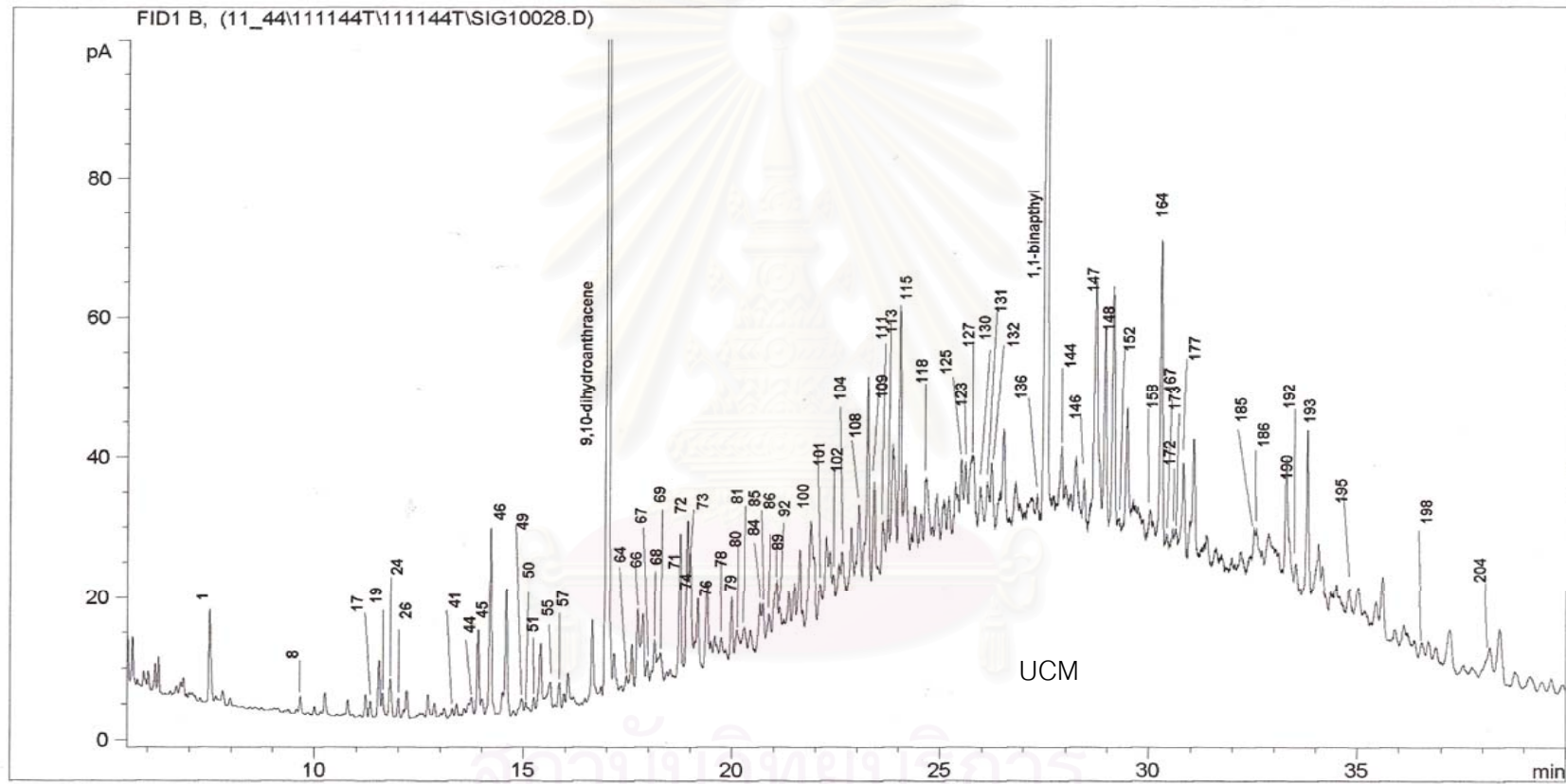
รูปที่ ค7. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 9 - 12 ซม.



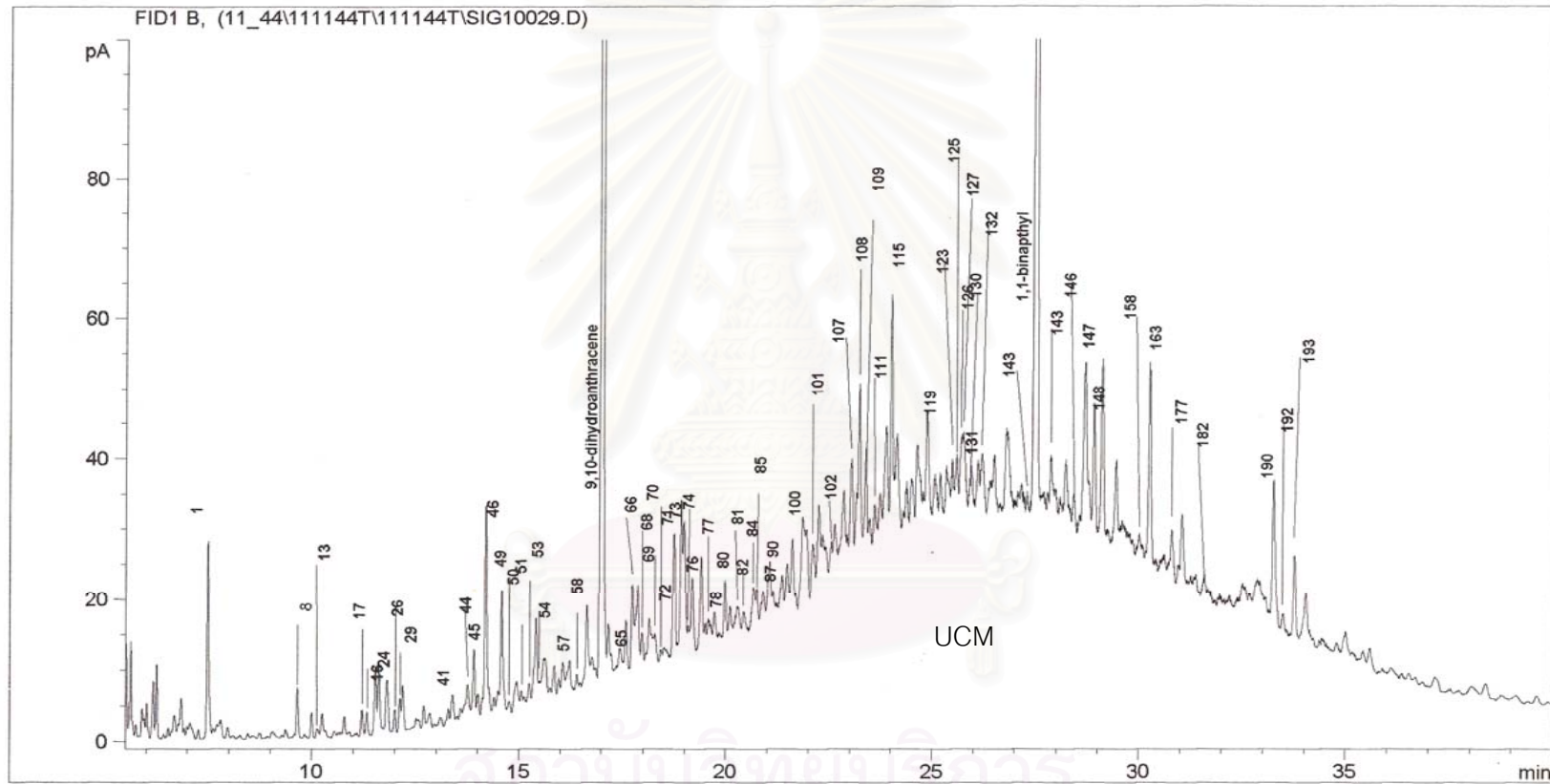
รูปที่ ค8. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 12 - 15 ซม.



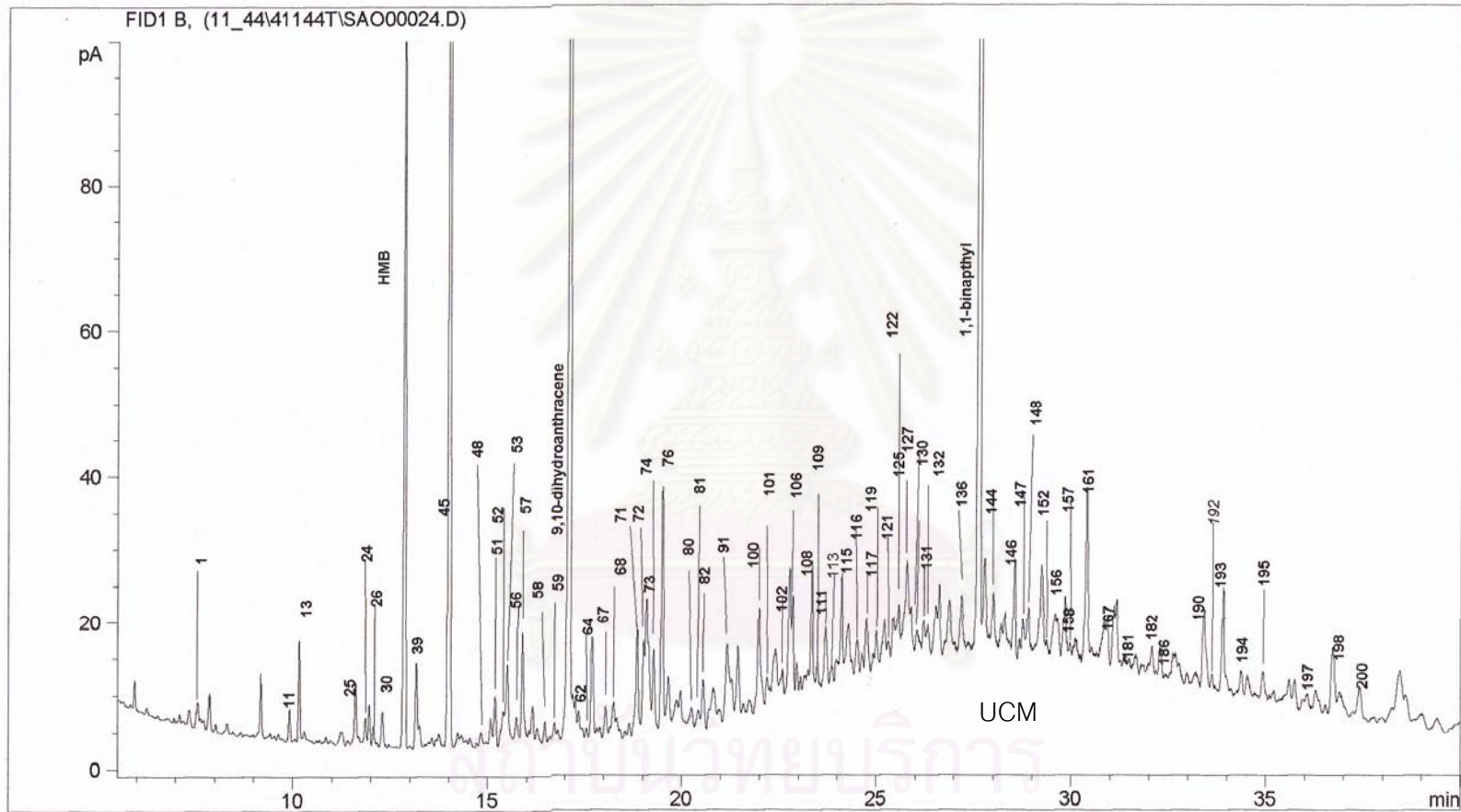
รูปที่ ค9. โคโรมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 15 – 18 ซม.



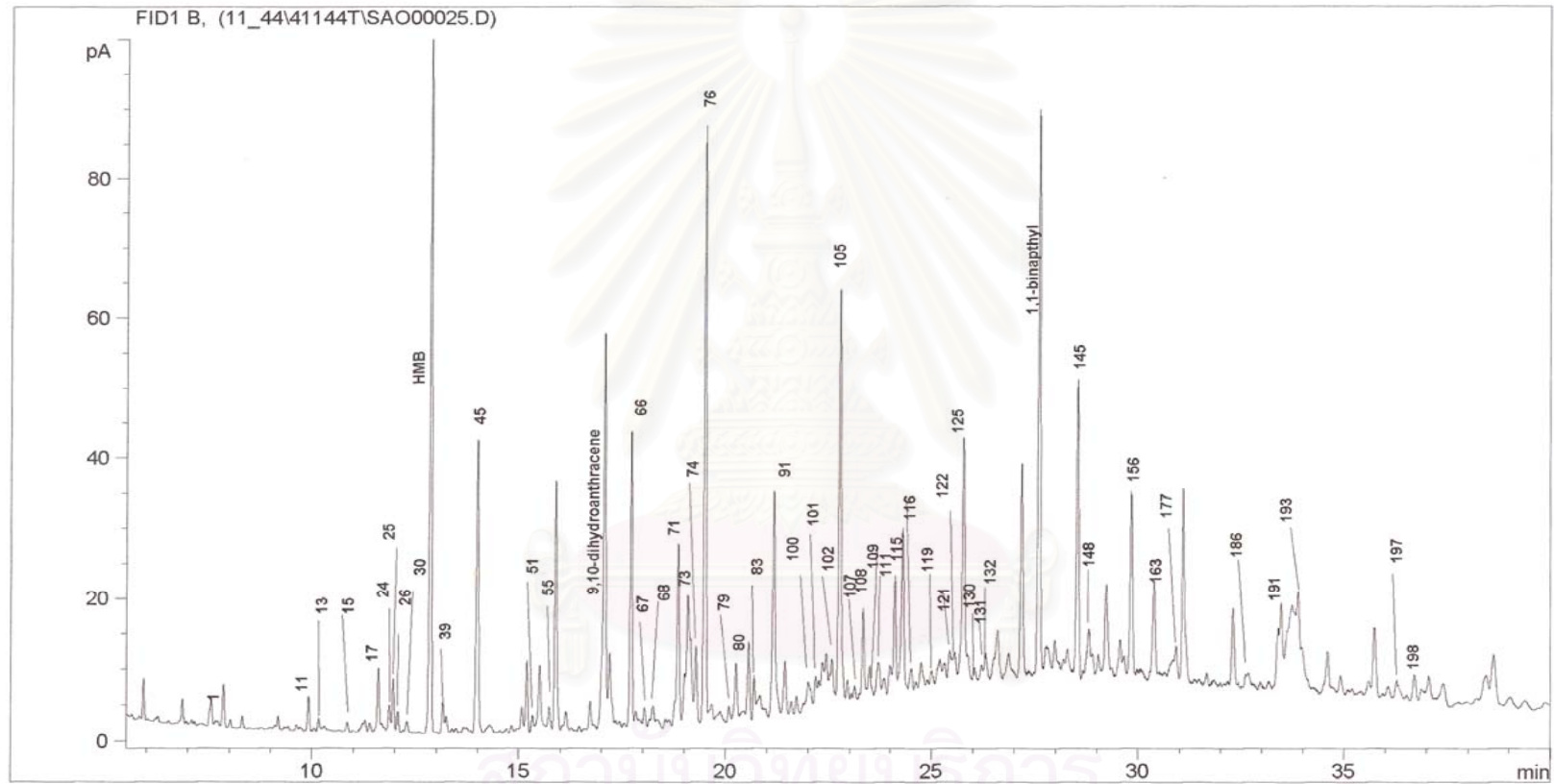
รูปที่ ค10. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 18 - 21 ซม.



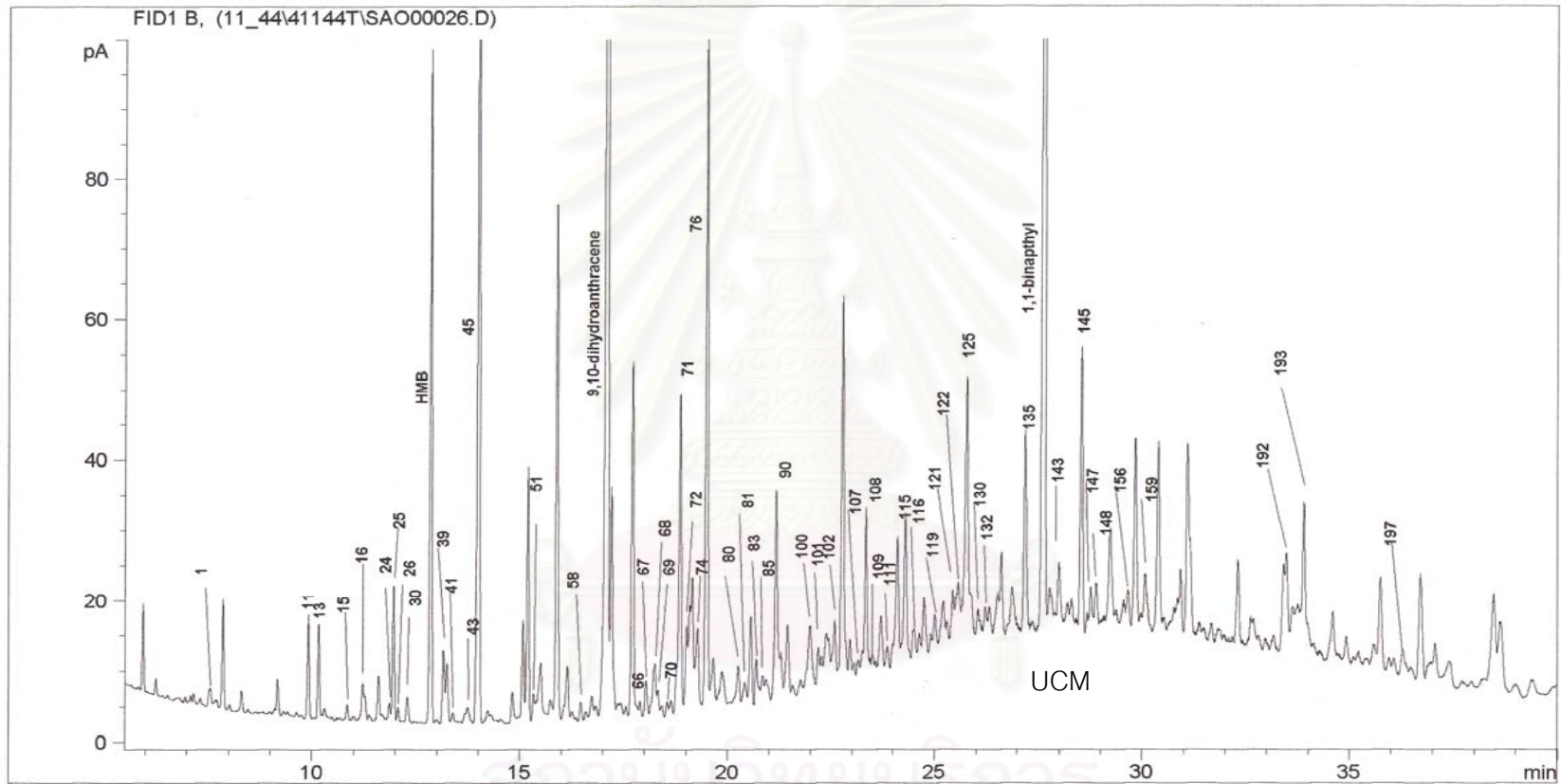
รูปที่ ค11. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 21 – 24 ซม.



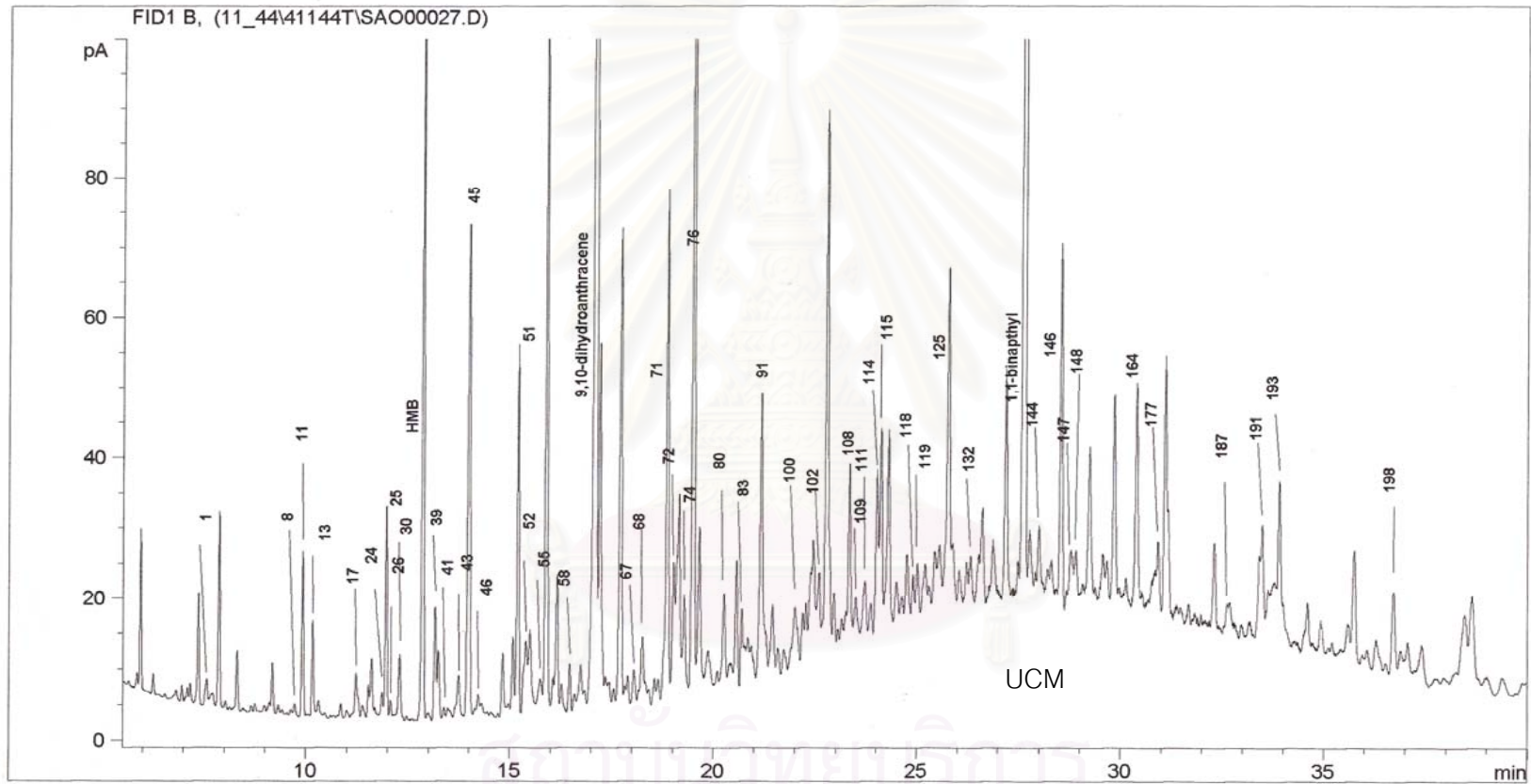
รูปที่ ค12. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 24 - 27 ซม.



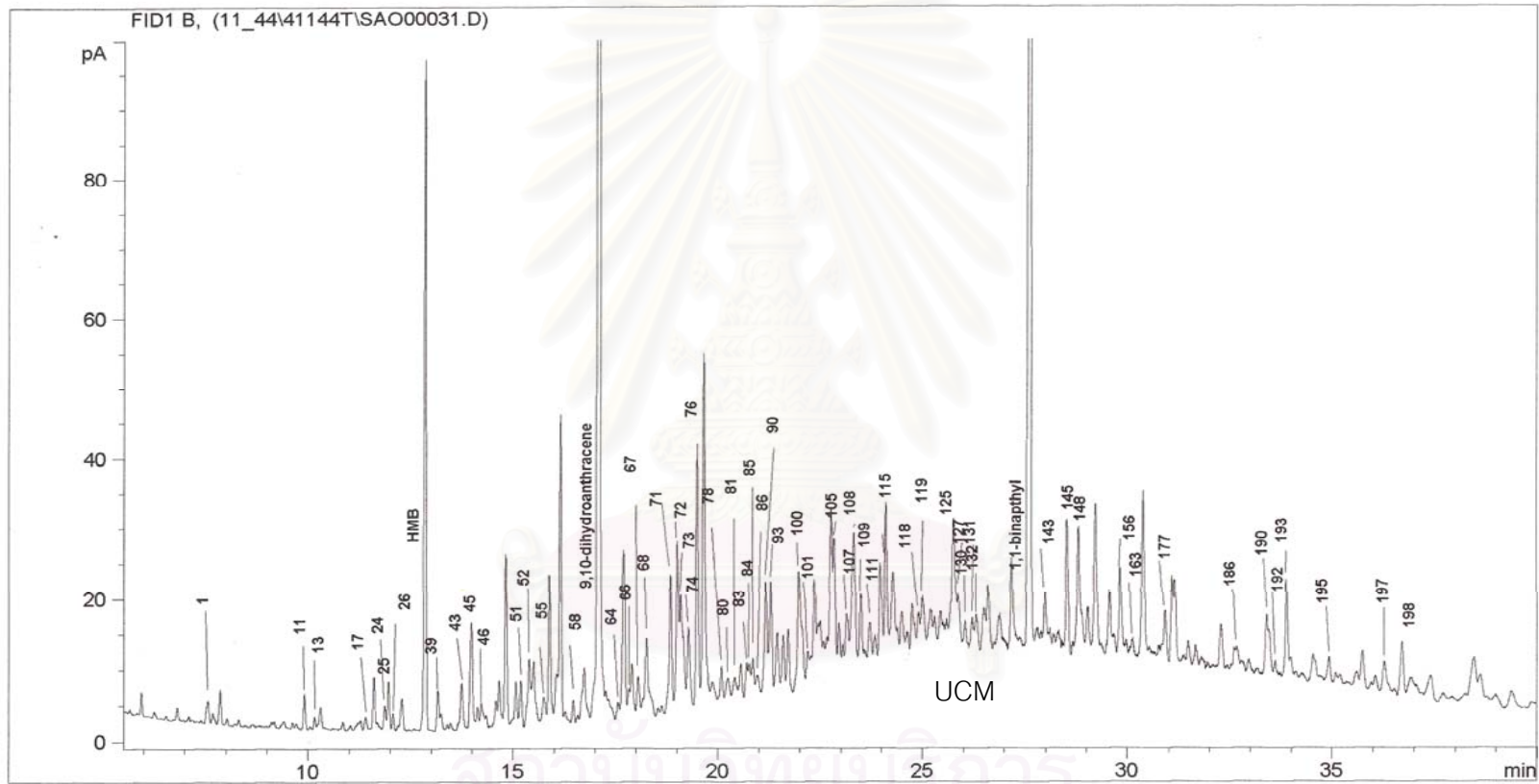
รูปที่ ค13. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 27 – 30 ซม.



รูปที่ ค14. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 30-33 ซม.



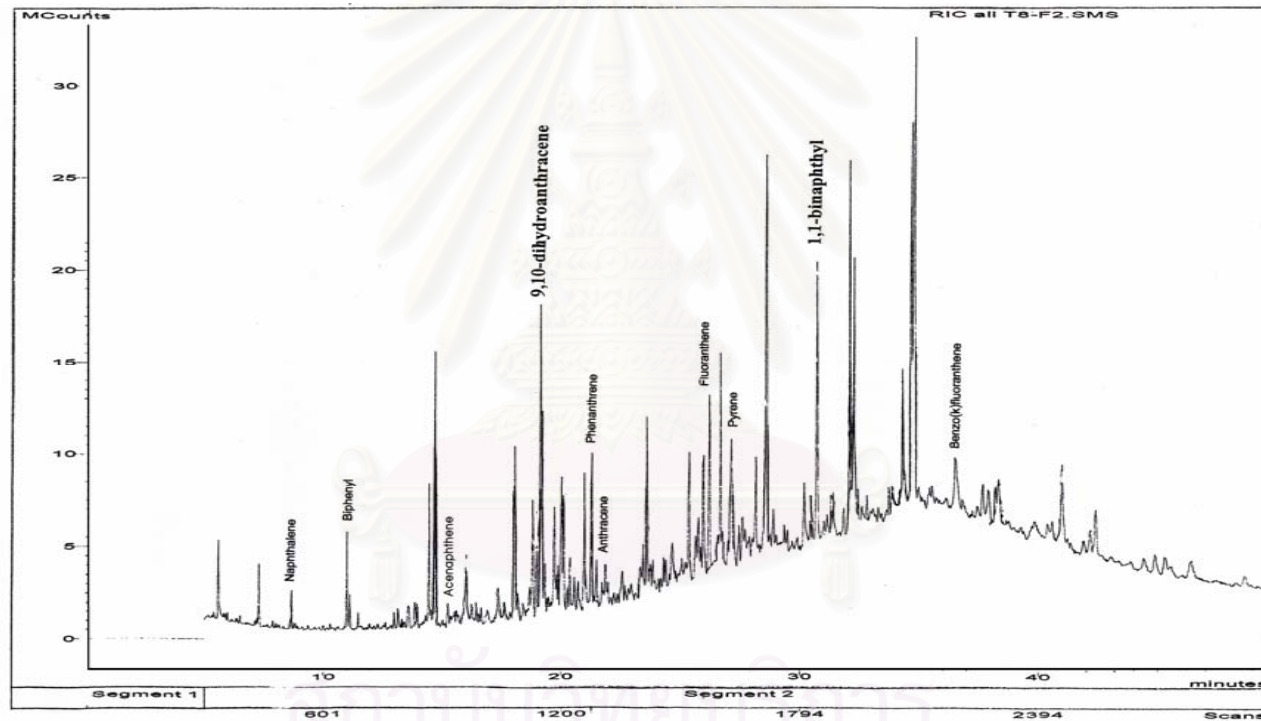
รูปที่ ค15. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 33 - 36 ซม.



รูปที่ ค16. โครมาโทแกรมของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 ที่ความลึก 36 - 39 ซม.

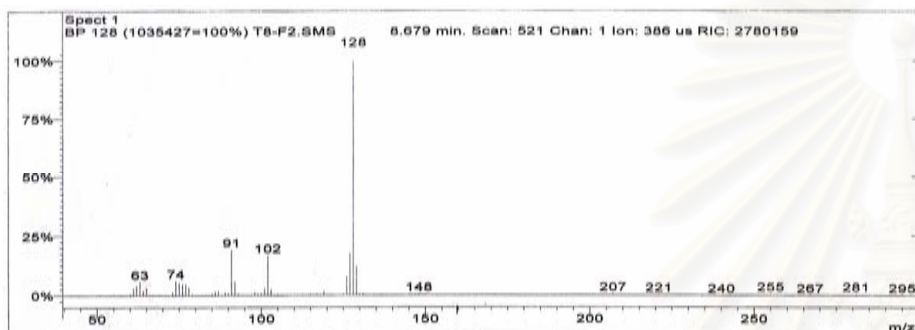
ภาคผนวก ง

โครมาโทแกรมและแมสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินสถานี T8 จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

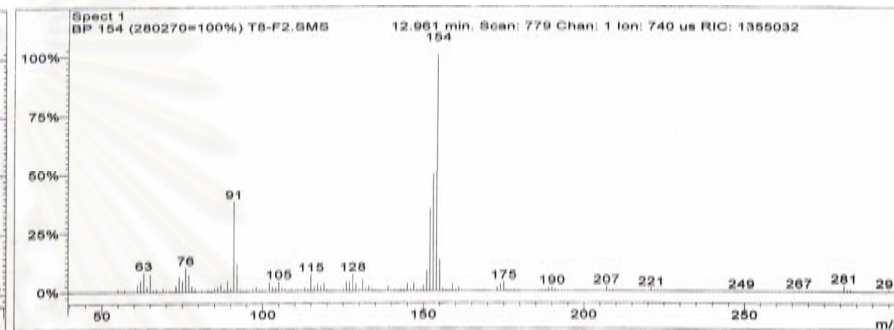


รูปที่ ง1 โครมาโทแกรมของสาร PAHs ของตะกอนดินผิวหน้าสถานี T8 ทำการวิเคราะห์โดยเทคนิค GC-MS

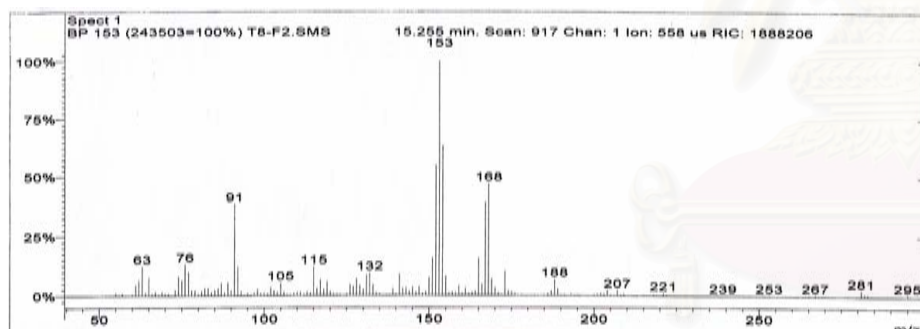
ก)



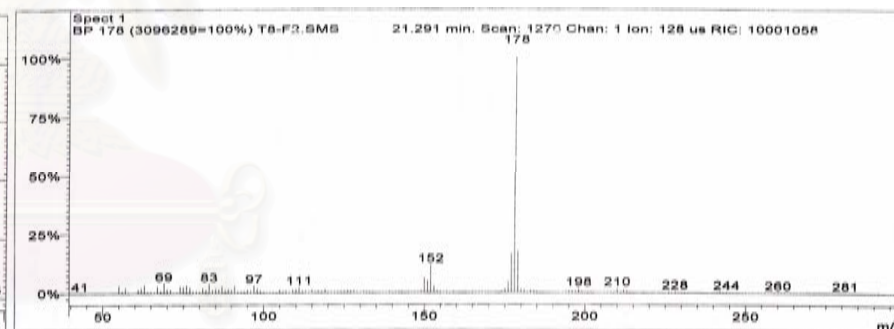
ข)



ค)



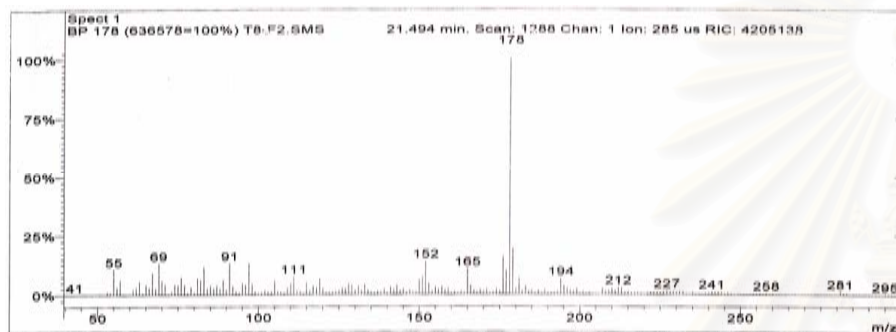
ง)



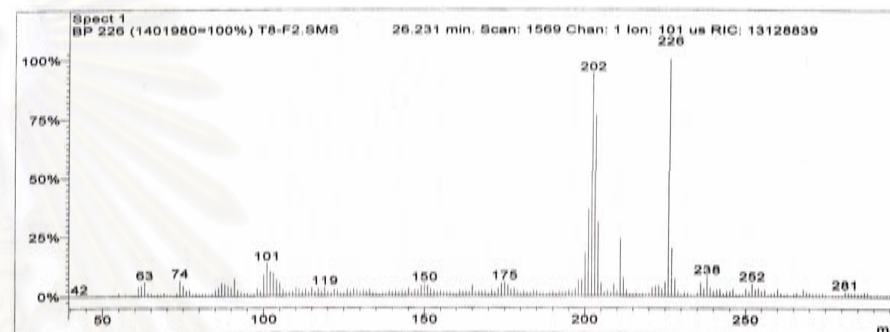
รูปที่ ๒ แมสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำบริเวณสถานี T8

- ก) แมสเปกตรัมของ naphthalene ข) แมสเปกตรัมของ biphenyl
 ค) แมสเปกตรัมของ acenaphthene ง) แมสเปกตรัมของ phenanthrene

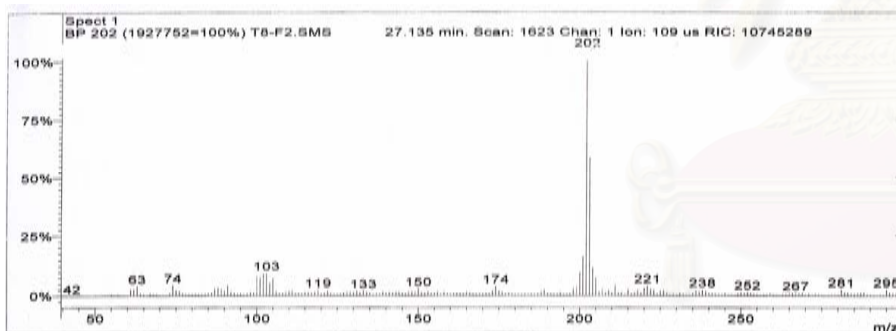
จ)



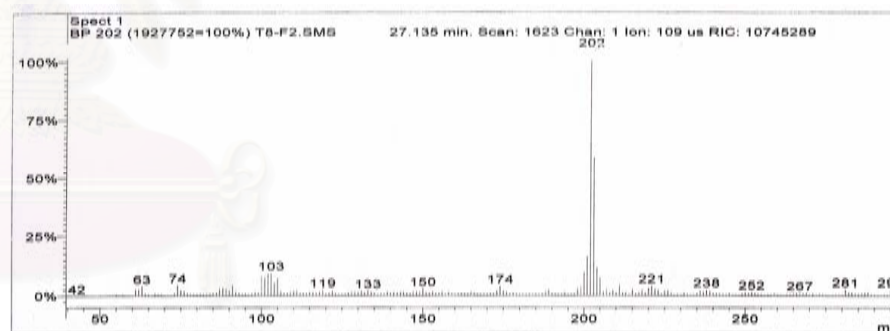
ข)



ค)



ง)



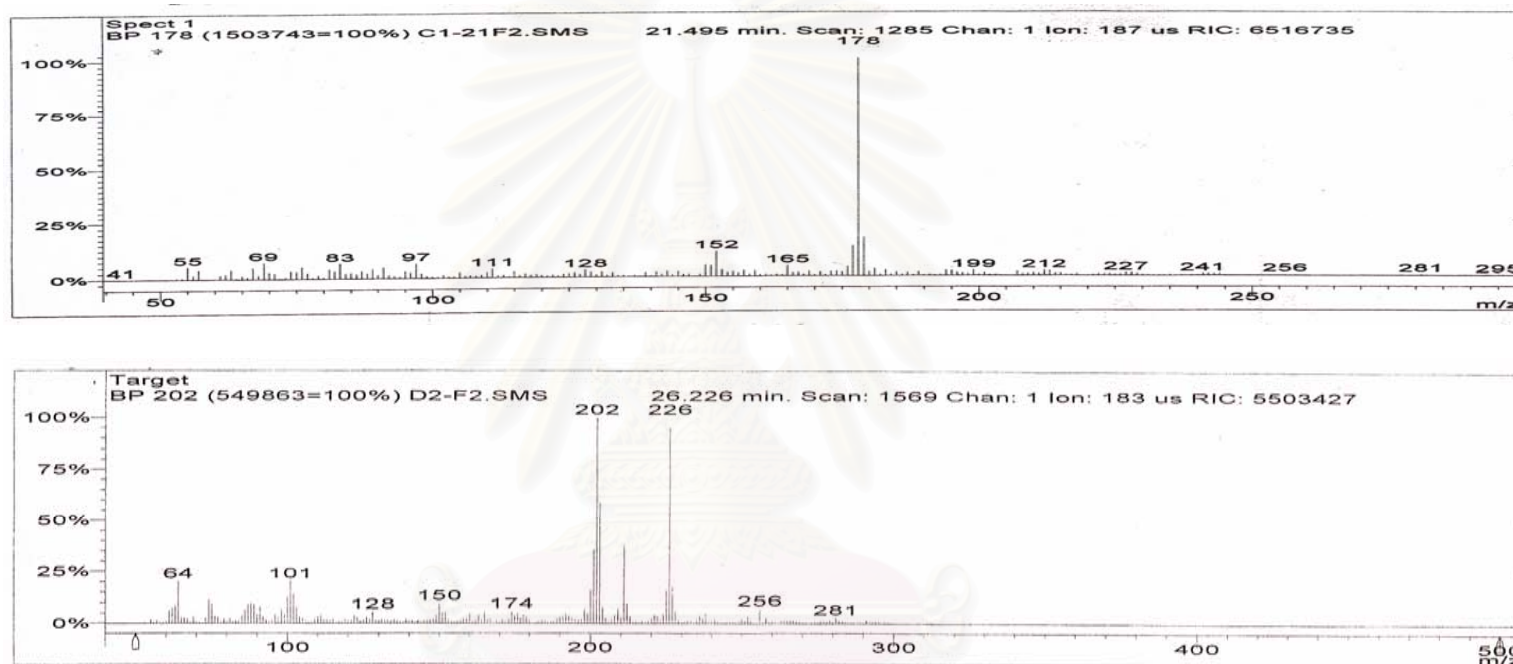
รูปที่ 2 แมสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินผิวหน้าบริเวณสถานี T8

จ) แมสเปกตรัมของ anthracene

ข) แมสเปกตรัมของ fluoranthene

ค) แมสเปกตรัมของ pyrene

ง) แมสเปกตรัมของ benzo(k)fluoranthene



รูปที่ 3. แมสสเปกตรัมของตัวอย่างตะกอนดินจากการวิเคราะห์โดยเทคนิค GC-MS สถานี C1 และ D2

ก) แมสสเปกตรัมของ anthracene จากตัวอย่างสถานี C1 ที่ความลึก 3 – 6 ซม.

ข) แมสสเปกตรัมของ fluoranthene จากตัวอย่างสถานี D2

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ1 แสดงอัตราส่วนของ Σ MP/ P ของตัวอย่าง
ตะกอนผิวหน้าในทุกสถานี

สถานี	Phen	Σ MP	Σ MP/ P
T1	19.75	6.51	0.33
T2	30.36	8.84	0.29
T3	124.70	17.13	0.14
T4	194.90	36.69	0.19
T5	30.58	16.91	0.55
T6	122.53	47.57	0.39
T7	90.93	25.47	0.28
T8	70.42	22.21	0.32
T9	97.03	20.31	0.21
T10	52.07	10.81	0.21
T11	65.32	32.63	0.50
M1	99.35	41.95	0.42
M2	35.70	20.68	0.58
M3	22.81	0.00	-
D1	58.19	47.33	0.81
D2	36.71	21.09	0.57

$$\Sigma \text{ MP} = 3\text{MP} + 2\text{MP} + 2\text{MA} + 9\text{MP} + 4\text{MP} + 1\text{MA} + 1\text{MP}$$

(Budzinski และคณะ, 1997)

MP = Methyl phenanthrene

MA = Methyl anthracene

หมายเหตุ - คือ ไม่สามารถคำนวณค่าได้

ตารางที่ ๑2 แสดงอัตราส่วนของ Σ MP/ P ของตัวอย่างตะกอนตาม
ความลึกสถานี C1

สถานี C1(ความลึก ซม.)	Phen	Σ MP	Σ MP/ P
0 - 3	15.53	15.08	0.97
3 - 6	13.46	3.03	0.23
6 - 9	14.58	6.11	0.42
9 - 12	-	7.73	-
12- 15	12.73	2.33	0.18
15 - 18	11.77	5.25	0.45
18 - 21	12.84	2.24	0.17
21 - 24	10.63	7.39	0.70
24 - 27	10.35	5.66	0.55
27 - 30	60.86	85.70	1.41
30 - 33	37.94	30.45	0.80
33 - 36	-	17.96	-
36 - 39	14.69	19.94	1.36

$$\Sigma \text{ MP} = 3\text{MP} + 2\text{MP} + 2\text{MA} + 9\text{MP} + 4\text{MP} + 1\text{MA} + 1\text{MP} \text{ (Budzinski et al.,1997)}$$

MP = Methyl phenanthrene

MA = Methyl anthracene

- คือ ไม่สามารถคำนวณค่าได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑3 แสดงอัตราส่วนของ Σ MP/ P ของตัวอย่างตะกอน
ตามความลึกสถานี C2

สถานี C2(ความลึก ซม.)	Phen	Σ MP	Σ MP/ P
0 - 3	50.19	61.45	1.22
3 - 6	38.16	48.38	1.27
6 - 9	9.62	4.72	0.49
9 - 12	13.16	0.00	-
12- 15	55.28	59.79	1.08
15 - 18	27.94	1.47	0.05
18 - 21	27.47	0.00	-
21 - 24	13.20	0.00	-
24 - 27	22.25	3.43	0.15
27 - 30	41.12	1.84	0.04
30 - 33	41.15	34.57	0.84
33 - 36	32.28	27.49	0.85
36 - 39	29.12	25.22	0.87

ตารางที่ ๑4 อัตราส่วนของ Σ MP/ P ของตัวอย่างตะกอน
ตามความลึกสถานี C3

สถานี C3(ความลึก ซม.)	Phen	Σ MP	Σ MP/ P
0 - 6	96.18	53.02	0.55
6 - 12	-	14.96	-
12 - 18	-	3.73	-
18 - 24	85.65	76.25	0.89
24 - 30	71.36	79.91	1.12
30 - 39	80.13	85.43	1.07

$$\Sigma \text{ MP} = 3\text{MP} + 2\text{MP} + 2\text{MA} + 9\text{MP} + 4\text{MP} + 1\text{MA} + 1\text{MP} \text{ (Budzinski et al., 1997)}$$

MP = Methyl phenanthrene

MA = Methyl anthracene

ตารางที่ ๑5 ดัชนี Fluoranthene/Pyrene และ Phenanthrene/ Anthracene
ของตัวอย่างตะกอนดินผิวน้ำ

สถานี	F/Py	P/A
T1	1.31	2.93
T2	1.31	7.77
T3	0.49	4.58
T4	0.00	4.58
T5	1.06	7.00
T6	0.02	11.03
T7	0.00	7.76
T8	1.38	14.03
T9	1.20	7.40
T10	1.05	1.27
T11	0.65	7.65
M1	1.31	2.61
M2	1.33	0.93
M3	0.00	0.00
D1	0.14	7.38
D2	0.03	6.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๖ ดัชนี Fluoranthene/Pyrene และ Phenanthrene/ Anthracene ของ
ตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C1 และ C2

C1 (ความลึก ซม.)	F/Py	P/A	C2(ความลึก ซม.)	F/Py	P/A
0-3	1.14	3.14	0-3	1.15	8.90
3-6	1.48	4.70	3-6	0.77	3.03
6-9	0.00	3.75	6-9	0.00	1.53
9-12	0.91	0.00	9-12	1.23	0.78
12-15	0.84	4.17	12-15	1.14	10.91
15-18	1.23	3.05	15-18	1.05	3.96
18-21	1.21	3.77	18-21	1.30	5.05
21-24	1.37	3.53	21-24	1.59	0.65
24-27	1.31	5.12	24-27	1.44	3.42
27-30	0.81	0.00	27-30	1.51	6.07
30-33	0.72	16.65	30-33	0.08	4.61
33-36	1.36	0.00	33-36	1.72	4.20
36-39	1.55	1.68	36-39	1.55	4.24

ตารางที่ ๑๗ ดัชนี Fluoranthene/Pyrene และ Phenanthrene/ Anthracene
ของตัวอย่างตะกอนดินตามความลึกสถานี C3

C3(ความลึก ซม.)	F/Py	P/A
0-6	2.55	7.35
6-12	0.00	0.00
12-18	0.50	0.00
18-24	1.45	5.08
24-30	1.40	5.53
30-39	1.43	5.37

ตารางที่ ๑8 ดัชนี (2+3)/(4+5) ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนที่ผิวหน้า

สถานี	2+3-ring	4+5-ring	(2+3)/(4+5)PAHs
T1	69.7	131.9	0.5
T2	92.3	154.6	0.6
T3	208.2	95.9	2.2
T4	576.6	156.0	3.7
T5	78.5	163.9	0.5
T6	1094.3	288.3	3.8
T7	156.7	278.5	0.6
T8	237.9	202.3	1.2
T9	141.3	126.0	1.1
T10	177.0	269.0	0.7
T11	137.8	250.4	0.6
M1	308.4	214.7	1.4
M2	156.4	150.5	1.0
M3	73.5	367.6	0.2
D1	125.9	586.3	0.2
D2	69.9	232.7	0.3

ตารางที่ ๑9 ดัชนี (2+3)/(4+5) – ring PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C1

C1(ความลึก ซม.)	2+3-ring	4+5-ring	(2+3)/(4+5)PAHs
0-3	50.3	196.9	0.3
3-6	53.8	153.5	0.4
6-9	31.7	125.9	0.3
9-12	28.9	122.3	0.2
12-15	38.1	86.0	0.4
15-18	38.8	107.8	0.4
18-21	45.7	159.5	0.3
21-24	47.5	96.4	0.5
24-27	25.4	58.9	0.4
27-30	123.0	147.8	0.8
30-33	56.3	59.8	0.9
33-36	41.9	36.9	1.1
36-39	60.0	99.6	0.6

หมายเหตุ 2+3 ring PAHs = Napht , 2M-Napht, 1M-Napht, 26-DM-Napht, 235-TM-Napht, Biph , Acent, Flu, Phen, Ant,

1M-Phen , Flut

4+5-ring PAHs = Pyrene, BaA, Chry, BeP, BaP, Pery, DahA

ตารางที่ ๑10 ดัชนี (2+3)/(4+5) ring - PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C2

C2(ความลึก ซม.)	2+3-ring	4+5-ring	(2+3)/(4+5)PAHs
0-3	121.7	82.3	1.5
3-6	116.9	231.2	0.5
6-9	22.4	239.8	0.1
9-12	35.7	26.1	1.4
12-15	92.4	64.2	1.4
15-18	42.8	156.9	0.3
18-21	45.2	48.5	0.9
21-24	40.7	2.8	14.5
24-27	40.6	69.4	0.6
27-30	62.7	217.7	0.3
30-33	77.1	63.9	1.2
33-36	71.5	28.4	2.5
36-39	65.5	120.7	0.5

ตารางที่ ๑11 ดัชนี (2+3)/(4+5) ring- PAHs ของตัวอย่างตะกอนตามความลึกสถานี C3

C32(ความลึก ซม.)	2+3-ring	4+5-ring	(2+3)/(4+5)PAHs
0-6	169.5	40.9	4.1
6-12	183.6	110.6	1.7
12-18	77.4	276.1	0.3
18-24	181.7	78.8	2.3
24-30	158.6	80.6	2.0
30-39	162.9	117.1	1.4

หมายเหตุ 2+3 ring PAHs = Napht , 2M-Napht, 1M-Napht, 26-DM-Napht, 235-TM-Napht, Biph , Acent, Flu, Phen, Ant,
1M-Phen , Flut

4+5-ring PAHs = Pyrene, BaA, Chry, BeP, BaP, Pery, DahA

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ.1. ดัชนี ARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ ของสถานีต่าง ๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos, 1979	จรูญ สารินทร์, 2537	T	D	M	C1	C2	C3
1	naphthalene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	benzo(b)thiophene	4.33	4.40	-	-	-	-	4.09	-
3	indole	15.49	15.76	-	-	-	-	-	15.34
4	quinoline	28.56	29.05	28.23	-	-	-	28.15	-
5	isoquinoline	45.97	46.76	-	-	-	-	46.37	-
6	2-methylnaphthalene	53.42	54.34	-	54.01	-	-	55.60	-
7	2-methylbenzo(b)thiophene	55.18	56.07	56.22	56.17	56.23	56.19	56.23	56.19
8	quinoxaline	59.98	60.77	-	60.41	-	-	-	-
9	3-methylbenzo(b)thiophene	61.90	62.65	61.64	-	-	61.60	61.41	61.48
10	8-methylquinoline	67.79	68.42	68.92	68.96	-	68.38	68.32	-
11	6-methylquinoline	87.81	88.05	-	-	-	86.07	85.72	-
12	1,2,2a,3,4,5-hexahydroacennaphthylene	96.29	96.36	-	-	-	98.16	97.71	-
13	biphenyl	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
14	2-ethylnaphthalene	103.21	103.19	-	-	-	101.95	-	-
15	1-ethylnaphthalene	103.94	103.91	103.92	103.97	103.90	103.95	103.97	103.96
16	3-methylindole	104.09	104.06	104.17	104.05	104.01	104.00	-	-
17	5-ethylbenzo(b)thiophene	106.81	106.77	106.70	106.61	106.66	106.45	106.80	-
18	2-methylbiphenyl	107.28	107.23	107.64	-	-	107.91	107.54	107.60
19	1,3-dimethylnaphthalene	109.52	109.46	109.17	109.15	109.13	109.07	109.14	-
20	1,4-naphthoquinone	110.39	110.31	110.91	-	110.86	-	110.82	-
21	1,6-dimethylnaphthalene	110.24	110.16	110.87	110.86	110.80	110.75	110.68	110.72
22	2,2-dimethylbiphenyl	112.08	112.00	-	-	-	112.11	112.14	-
23	1,4-dimethylnaphthalene	114.55	114.45	114.36	-	115.10	-	-	-
24	1,5-dimethylnaphthalene	116.69	116.57	-	116.60	-	-	-	-

ตารางที่ ๑1 (ต่อ) ดัชนี ARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ ของสถานีต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos, 1979	จรรยา สารนทร, 2537	I	D	M	C1	C2	C3
25	acenaphthylene	116.16	116.04	116.79	-	-	-	124.77	-
27	1,2-dimethylnaphthalene	118.91	118.84	118.74	-	118.67	-	118.59	118.67
28	1,8-dimethylnaphthalene	123.56	123.39	123.85	123.82	123.73	123.80	123.77	125.90
29	2-ethylbiphenyl	125.58	125.39	-	-	-	-	126.79	-
30	acenaphthene	126.24	126.06	128.16	128.17	128.12	127.55	126.95	127.26
31	4-methylbiphenyl	131.42	131.20	-	-	-	131.56	131.50	-
32	3-methylbiphenyl	131.57	131.35	131.71	-	131.99	131.94	131.71	131.90
33	2,3-dimethylindole	132.59	132.35	132.20	132.55	132.40	133.25	-	-
34	dibenzofuran	135.15	134.90	135.05	135.10	135.09	135.29	134.57	134.54
35	2-methyl-1,4-naphthalene	138.26	138.00	138.83	138.90	138.89	138.51	138.53	138.76
36	2,3,6-trimethylnaphthalene	144.44	144.15	144.19	144.19	144.15	141.38	-	144.04
37	1-methylacenaphthylene	147.52	147.21	-	-	-	146.26	-	-
38	2,3,5-trimethylnaphthalene	148.36	148.05	148.64	148.72	148.21	148.84	-	148.86
39	dibenzo-p-dioxine	150.04	150.11	150.65	150.55	150.55	151.09	151.25	150.98
40	fluorene	151.80	151.47	153.13	153.17	153.05	152.29	151.52	151.86
41	tran-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrodibenzothiophene	154.07	153.73	153.69	-	154.02	153.59	154.06	153.04
42	cis-1,2,3,4,4a,9a-hexahydrodibenzothiophene	156.68	156.32	156.40	156.46	156.40	155.11	-	-
43	3,3'-dimethylbiphenyl	157.40	157.04	157.77	-	157.80	158.08	-	-
44	9-methylfluorene	158.18	157.81	158.12	158.10	157.81	158.37	158.56	-
45	2,3,5-trimethylindole	158.46	158.10	158.47	158.51	-	159.72	-	-
46	4,4'-demethylbiphenyl	161.52	161.14	161.51	161.55	161.52	161.07	161.08	-
47	5H-indeno(1,2-b)pyridene	168.67	168.25	168.37	168.51	-	168.37	168.36	162.88
48	xanthene	170.44	170.02	170.01	169.81	170.41	176.17	-	169.88
49	9,10-dihydroanthracene	177.12	176.66	176.57	-	-	-	-	-
50	9-ethylfluorene	177.27	176.81	177.67	-	-	-	177.94	-
51	9,10-dihydrophenanthrene	180.45	179.98	179.43	179.16	179.79	179.71	180.27	-

ตารางที่ ๑1 (ต่อ) ดัชนี ARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ ของสถานีต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos,1979	จรรยา สารนทร,2537	T	D	M	C1	C2	C3
52	1,2,3,4,5,6,7,8-octahydroanthracene	181.36	180.88	181.21	181.51	181.22	-	181.38	-
53	2-methylfluorene	182.15	181.66	181.99	-	182.99	182.81	182.90	182.94
54	1-methylfluorene	183.39	182.90	183.13	183.14	-	183.79	-	-
55	1,2,3,4,5,6,7,8-octahydrophenanthrene	187.93	186.42	186.96	186.98	187.53	187.11	187.80	187.20
56	1,2,3,4-tetrahydrodibenzothiophene	191.37	189.09	190.34	189.97	189.94	189.90	189.39	189.57
57	9-fluorenone	192.11	189.66	192.44	-	192.34	192.33	192.15	192.22
58	dibenzothiophene	193.66	193.29	193.78	-	193.95	193.65	193.06	193.89
59	1,2,3,4-tetrahydrophenanthrene	195.78	195.53	195.84	-	-	197.88	-	-
60	phenanthrene	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.32	200.00	200.00
61	anthracene	203.30	202.88	203.65	203.74	204.07	203.37	203.17	203.42
62	benzo(h)quinoline	204.33	203.90	204.70	-	-	205.15	207.53	-
63	9,10-dihydroacridine	208.45	207.94	207.66	208.11	208.53	208.31	208.36	208.34
64	acridine	208.79	208.26	208.81	208.94	208.74	210.99	211.14	-
65	1,2,3,4-tetrahydrocarbazole	213.20	212.60	212.83	212.97	212.72	212.47	212.35	212.49
66	phenanthridine	217.16	216.49	216.31	216.40	216.67	217.47	216.70	-
67	benzo(f)quinoline	218.06	217.37	217.61	-	218.28	219.85	222.03	-
68	carbazole	223.68	222.89	223.68	223.80	223.90	224.02	224.11	223.76
69	9-ethylcarbazole	227.27	226.41	226.48	226.37	226.22	226.91	226.72	226.72
70	1-phenylnaphthlene	229.66	228.75	229.71	-	229.93	230.11	229.66	229.73
71	1,2,3,10b-tetrahydrofluoranthene	231.96	231.01	-	-	-	232.11	233.43	-
72	9-n-propylfluorene	235.16	234.15	234.62	234.01	-	235.47	235.08	235.27
73	3-methylphenanthrene	237.99	236.93	236.89	237.10	236.81	236.74	237.62	236.66
74	2-methylphenanthrene	239.38	238.29	238.48	238.50	238.52	238.45	238.32	238.24
75	3-methylbenzo(f)quinoline	240.55	239.44	240.85	-	240.93	240.59	239.85	240.72
76	2-methylanthracene	242.11	240.98	-	-	-	240.74	-	-
88	o-terphenyl	242.93	241.78	241.27	-	-	-	-	-

ตารางที่ ๑1 (ต่อ) ดัชนี ARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ ของสถานีต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos, 1979	จรูญ สารินทร์, 2537	T	D	M	C1	C2	C3
89	4H-cyclopenta(def)-phenanthrene	243.11	241.95	243.67	-	-	243.87	243.90	-
90	9-methylphenanthrene	245.02	243.83	245.28	-	-	243.94	244.54	-
91	4-methylphenanthrene	245.24	244.04	244.30	244.26	244.32	244.08	244.08	244.25
92	1-methylanthracene	245.55	244.35	245.17	245.43	245.76	245.50	-	244.42
93	1-methylphenanthrene	246.66	245.44	246.30	246.69	246.05	246.44	246.35	246.73
94	2-methylacridine	247.75	246.53	-	-	-	247.59	-	-
95	9-n-butylfluorene	256.60	255.33	255.16	255.56	-	-	254.35	-
96	9-methylanthracene	256.87	255.61	-	-	-	-	-	-
97	4,5,9,10-tetrahydropyrene	257.97	256.69	-	-	-	257.36	257.71	257.72
98	4,5-dihydropyrene	258.59	257.32	258.40	-	258.23	-	-	258.15
99	thianthrene	258.82	257.55	-	258.77	-	-	-	257.84
100	anthrene	259.61	258.33	-	-	259.72	259.94	260.20	259.91
101	2-phenyl-naphthalene	263.63	262.33	263.30	-	263.92	263.71	263.61	263.78
102	9-ethylphenanthrene	272.34	271.00	271.89	271.95	-	271.72	271.13	271.68
103	2-ethylphenanthrene	273.21	271.87	273.23	-	273.20	273.55	-	273.65
104	3,6-dimethylphenanthrene	273.86	272.51	273.70	-	-	273.93	273.69	-
105	2,7-dimethylphenanthrene	276.59	275.23	275.86	-	-	275.33	-	276.29
106	1,2,3,6,7,8-hexahydropyrene	276.88	275.53	275.79	-	-	278.94	281.71	275.69
107	6-phenylquinoline	282.88	281.49	282.20	281.35	282.12	282.13	282.33	282.07
108	fluoranthene	285.92	284.52	285.71	284.74	285.96	285.72	285.55	285.69
109	9-isopropylphenanthrene	289.38	288.32	288.93	289.38	288.81	288.44	288.23	288.86
110	1,8-dimethylphenanthrene	290.32	289.35	290.67	-	-	290.76	-	-
111	2-phenylindole	292.68	291.95	292.24	292.94	-	292.52	292.50	292.71
112	indole(1,2,3,ij)-isoquinoline	292.87	292.17	292.97	-	-	292.71	292.81	292.73
113	9-n-hexylfluorene	294.77	294.25	294.93	-	-	294.80	297.07	300.00
114	9-n-propylphenanthrene	298.20	298.03	298.26	298.24	298.31	299.10	298.69	298.21
115	pyrene	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.84	300.00

ตารางที่ ๑1.(ต่อ) ดัชนี ARIของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ของสถานีต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos, 1979	จตุฎ สารินทร์, 2537	T	D	M	C1	C2	C3
116	9,10-dimethylanthracene	308.75	308.19	308.51	308.48	308.49	308.29	309.03	308.47
117	benzo(lm)phenanthridine	314.99	314.02	314.30	314.67	-	313.34	314.34	-
118	9-methyl-10-ethylphenanthrene	317.81	316.66	317.41	317.30	317.42	317.34	-	316.95
119	m-terphenyl	319.50	318.24	319.29	319.07	319.18	318.71	319.35	319.24
120	benzo(kl)xanthrene	320.83	319.48	320.73	320.03	319.73	-	319.86	-
121	4H-benzo(def)carbazole	326.65	324.93	325.73	326.22	-	325.11	326.39	-
122	p-terphenyl	330.50	328.53	329.90	329.79	329.88	330.54	330.88	-
123	benzo(a)fluorene	331.82	329.76	331.13	-	331.42	331.15	331.01	331.13
124	11-methylbenzo(a)fluorene	332.43	330.34	332.62	332.51	-	-	334.74	-
125	9,10-diethylphenanthrene	334.34	332.12	334.05	334.45	333.14	334.24	-	334.90
126	1-methylisopropylphenanthrene	335.77	333.46	334.46	-	-	334.69	-	335.04
127	benzo(b)fluorene	337.25	334.84	337.59	-	-	-	336.69	336.64
128	4-methylpyrene	337.56	335.13	337.52	337.57	337.65	337.25	-	337.54
129	2-methylpyrene	338.81	336.30	337.98	338.77	-	339.03	340.49	-
130	4,5,6-trihydrobenz(de)anthracene	340.26	337.66	340.79	340.94	340.78	343.64	340.50	340.46
131	1-methylpyrene	345.78	342.82	344.56	345.62	-	343.89	345.00	344.32
132	3,5-dephenylpyridine	346.27	343.28	346.11	346.83	346.87	346.13	346.26	346.50
135	9-phenylcarbazole	363.28	359.20	-	-	-	364.26	363.91	-
136	1-ethylpyrene	369.97	365.45	368.76	-	369.24	367.78	364.35	-
137	3,7-dimethylpyrene	372.00	367.35	372.64	-	-	-	-	-
140	1,1'-binaphthyl	376.18	371.26	373.29	-	-	-	-	-
141	benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophene	378.19	373.68	378.22	-	-	-	-	-
142	benzo(ghi)fluoranthene	378.68	374.28	378.84	-	-	-	378.69	378.92
143	benzo (c) phenanthrene	382.35	378.71	381.77	382.73	-	380.95	380.16	-
144	benz(c)acrodine	384.62	381.46	383.63	381.68	381.49	381.61	385.35	381.47

ตารางที่ ๑1. (ต่อ) ดัชนี ARI ของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากการศึกษาครั้งนี้ ของสถานีต่างๆ

ลำดับที่	ชื่อสารประกอบ	ดัชนี ARI							
		Lee and Vassilacos, 1979	จรูญ สารินทร์, 2537	T	D	M	C1	C2	C3
145	9-phenylanthracene	392.58	391.06	391.89	-	-	392.59	392.41	392.59
146	cyclopenta(cd)pyrene	392.91	391.45	392.61	-	392.90	393.75	392.70	392.76
147	benz(a)anthracene	396.92	396.31	395.58	396.46	397.38	397.80	397.96	397.67
148	benz(a)acridine	397.33	396.80	397.84	-	-	399.08	-	-
149	chrysene	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00	400.00
150	triphenylene	400.00	400.00	400.68	-	400.58	-	-	400.54
151	benzo(a)carbazole	403.22	403.20	403.56	403.32	403.46	403.28	403.97	403.08
152	1,2'-binaphthyl	409.52	409.46	409.36	-	-	409.66	409.16	-
155	naphthacene	414.76	414.68	414.34	414.82	414.17	-	418.87	-
156	benzo(b)carbazole	418.00	417.90	418.38	-	418.55	418.47	418.74	418.95
157	11-methylbenz(a)anthracene	422.63	422.49	422.35	-	-	421.90	422.22	-
158	2-methylbenz(a)anthracene	424.51	424.37	424.58	424.41	424.96	424.80	-	424.14
159	1-methylbenz(a)anthracene	425.56	425.41	425.51	-	-	425.23	-	-
160	1-n-butylpyrene	426.45	426.30	426.51	-	-	426.67	426.57	-
161	1-methyltriphenylene	429.03	428.86	428.53	-	-	429.85	429.74	-
162	9-methylbenz(a)anthracene	429.35	429.18	-	-	-	-	429.92	-
163	3-methylbenz(a)anthracene	429.58	429.41	429.76	-	-	429.92	429.83	429.93
164	9-methyl-10-phenylphenanthrene	430.52	430.35	430.55	430.36	430.28	430.14	430.17	430.14
165	8-methylbenz(a)anthracene	431.23	431.05	431.45	431.06	-	-	-	431.43
166	6-methylbenz(a)anthracene	431.25	431.07	-	-	-	431.51	-	-
167	3-methylchrysene	432.19	432.01	432.57	432.99	-	432.55	-	-
168	5-methylbenz(a)anthracene	433.30	433.11	433.35	-	433.06	-	-	-
172	5-methylchrysene	435.01	434.80	435.45	-	435.52	435.31	-	-
173	6-methylchrysene	436.66	436.45	436.32	-	-	436.94	-	-
174	4-methylchrysene	437.05	436.84	437.03	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ข

สารละลายมาตรฐานโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

ตารางที่ ข1. ผลการหาค่า Method Detection Limit (MDL) ของสาร PAHs

สารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้น (mg/l)	MDL (ng/g)
Naphthalene	0.66	0.25
Biphenyl	0.92	0.17
Acenaphthylene	1.02	0.27
Acenaphthene	0.94	0.24
Fluorene	0.70	0.10
9,10-dihydroanthracene	0.58	-
Phenanthrene	1.03	0.11
Anthracene	0.73	0.08
Fluoranthene	0.85	0.11
Pyrene	0.64	0.31
1,1-binaphthyl	1.05	-
Benzo(a)anthracene	0.51	0.13
Chrysene	1.04	0.15
Benzo(b)fluoranthene	1.20	0.11
Benzo(k)fluoranthene	1.36	0.59
Benzo(a)pyrene	1.84	0.47
Perylene	2.10	0.26
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	4.80	0.35
Dibenzo(a,h)anthracene	8.70	0.55
Benzo(g,h,i)perylene	8.16	0.98
พิสัย	-	0.08-0.98
เฉลี่ย	-	0.24

ภาคผนวก ซ

เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสาร PAHs

ตารางที่ ซ1.เปอร์เซ็นต์คืนกลับของตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

สถานี	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	สถานี	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ
T1	73	M1	93
T2	102	M2	95
T3	82	M3	75
T4	73	D1	99
T5	75	D2	101
T6	82		
T7	105		
T8	70		
T9	72		
T10	94		
T11	101		
พิสัย	70 - 105		
เฉลี่ย	85		

ตารางที่ ซ2.เปอร์เซ็นต์คืนกลับของตัวอย่างตะกอนตามความลึก

C1 (ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	C2 (ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	C3(ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ
0 - 3	90	0 - 3	102	0 - 6	90
3 - 6	103	3 - 6	85	6 - 12	99
6 - 9	102	6 - 9	96	12 - 18	74
9 - 12	89	9 - 12	67	18 - 24	96
12 - 15	100	12 - 15	113	24 - 30	96
15 - 18	86	15 - 18	104	30 - 39	108
18 - 21	99	18 - 21	96	พิสัย	74 - 108
21 - 24	103	21 - 24	67	เฉลี่ย	94
24 - 27	92	24 - 27	102		
27 - 30	77	27 - 30	83		
30 - 33	90	30 - 33	100		
33 - 36	106	33 - 36	97		
36 - 39	90	36 - 39	96		
พิสัย	77 - 106	พิสัย	67 - 113		
เฉลี่ย	94	เฉลี่ย	93		

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ1. ปริมาณอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวหน้า บริเวณตามลำน้ำ (T)
แม่น้ำท่าจีนคลองมหาชัย (M) และคลองสุนัขหอน (D)(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

อะลิฟาติก	สถานี															
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	M1	M2	M3	D1	D2
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	16	-	7	2	2	49	1	-	-	2	5	3	3	3	-	-
C15	-	11	6	3	-	48	1	5	2	3	9	9	4	5	8	7
C16	29	41	12	22	14	182	13	13	15	22	55	40	21	50	44	15
C17	20	45	97	31	23	423	9	8	34	89	78	60	69	123	86	19
pristane	39	99	187	107	10	851	-	19	17	34	70	59	23	133	69	12
C18	23	31	9	20	12	84	3	19	20	-	-	42	29	17	13	22
phytane	26	-	34	61	-	225	14	21	47	26	61	-	32	58	50	57
C19	30	150	128	34	19	396	18	6	-	38	76	55	-	111	55	7
C20	-	219	-	29	-	-	-	5	11	-	-	-	-	-	-	7
C21	38	54	-	43	56	338	51	27	90	92	163	148	103	142	101	32
C22	39	87	73	91	17	389	27	11	20	35	106	71	44	69	57	19
C23	42	111	182	100	59	852	57	-	66	82	124	115	137	121	84	-
C24	45	233	232	210	65	1425	65	33	42	81	129	111	112	117	94	35
C25	51	279	465	151	120	2585	102	-	134	148	160	126	320	228	141	-
C26	56	408	468	81	78	2572	68	30	44	111	120	91	138	166	88	42
C27	-	234	-	415	-	544	38	71	9	-	294	245	690	159	40	76
C28	87	559	652	273	142	5087	119	41	53	213	177	145	258	-	-	52
C29	42	479	686	355	282	1836	202	109	171	300	217	204	651	266	64	86
C30	117	444	791	309	218	7482	153	59	66	263	185	187	315	278	133	67
C31	35	316	422	199	225	764	159	83	37	239	-	136	463	179	135	62
C32	237	731	690	291	196	6173	166	68	52	298	-	206	358	193	132	81
C33	187	520	1078	489	599	2082	397	44	327	-	-	-	1188	404	294	46
C34	-	227	297	222	106	2210	119	60	53	-	-	-	243	-	-	96
UCM	มี	มี	มี	มี	ไม่มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี	มี
รวม 1	1094	4800	5998	3372	2233	35522	1769	682	1235	2018	1899	1994	4899	2628	1276	757
รวม 2	1159	4899	6219	3540	2243	36598	1784	722	1300	2077	2030	2053	4955	2820	1395	839
เฉลี่ย	5688											3276			1117	

รวม 1 = total n-alkanes - = วิเคราะห์ไม่พบ

รวม 2 = total identified aliphatic (n-alkanes + isoprenoids)

ตารางที่ ๑๒. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C1) (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

อะลิฟาติก	ความลึก(ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24-27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	-	10	-	8	6	6	6	9	-	6	-	4	-
C16	19	17	-	17	12	12	12	55	16	6	3	17	15
C17	33	38	-	30	29	29	30	28	16	12	8	18	24
pristane	11	13	10	8	8	11	9	8	-	-	3	8	16
C18	24	27	15	16	15	16	11	16	43	6	48	42	21
phytane	22	5	7	9	8	8	7	8	8	24	4	18	50
C19	-	145	138	114	126	96	81	45	-	41	8	12	27
C20	-	10	7	11	14	4	5	3	8	-	4	7	-
C21	103	170	155	141	131	131	137	57	49	53	34	58	67
C22	17	35	27	33	28	11	23	11	-	-	-	-	16
C23	82	82	65	70	60	51	58	31	22	-	21	30	36
C24	64	80	55	65	49	41	47	29	29	23	20	39	29
C25	126	134	89	92	93	88	90	47	45	-	44	66	62
C26	48	50	49	46	38	37	36	19	25	25	15	32	29
C27	-	170	131	118	125	119	123	66	-	71	-	-	-
C28	-	47	53	49	40	38	34	21	-	28	22	35	28
C29	92	168	138	76	114	61	70	42	90	41	112	67	52
C30	99	70	76	77	52	44	51	29	-	25	25	54	-
C31	129	107	78	69	64	58	56	56	-	22	233	71	61
C32	-	81	70	60	52	46	49	27	-	-	29	50	50
C33	-	545	373	318	301	317	267	164	-	595	137	232	199
C34	-	153	193	149	72	104	85	65	-	-	-	-	-
รวม 1	840	1986	1518	1409	1350	1204	1186	758	344	952	763	833	715
รวม 2	873	2004	1535	1426	1366	1223	1201	775	352	976	771	858	782
เฉลี่ย							1088						

รวม 1 = total n-alkanes

รวม 2 = total identified aliphatic (n-alkanes +isoprenoids) - = วิเคราะห์ไม่พบ

ตารางที่ ๓. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณปากแม่น้ำ (C2)(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

อะลิฟาติก	ความลึก (ซม.)												
	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24-27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39
C13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	2	13	8	5	10	8	4	8	7	7	3	5	8
C16	20	22	38	14	23	22	10	23	17	17	3	8	20
C17	49	60	58	27	52	45	22	22	37	42	7	25	38
pristane	19	21	22	11	14	14	5	5	13	12	1	6	14
C18	18	16	74	21	41	37	34	86	40	42	5	19	40
phytane	47	49	38	10	-	11	-	24	14	16	-	-	15
C19	14	27	90	54	105	84	37	21	70	74	16	52	52
C20	5	7	10	4	-	7	4	4	20	9	5	7	5
C21	117	187	146	82	134	127	69	95	100	124	35	124	118
C22	23	24	21	13	16	22	9	14	22	14	3	26	13
C23	85	131	93	-	95	92	36	-	62	79	18	69	66
C24	133	168	109	57	102	84	24	47	60	54	11	52	43
C25	211	256	179	-	173	154	51	-	105	144	24	135	132
C26	62	94	43	47	52	45	22	32	33	36	6	39	42
C27	-	651	286	179	275	232	89	86	161	202	23	193	178
C28	141	180	67	56	73	55	21	21	41	46	7	39	44
C29	490	673	309	105	284	249	136	125	169	202	46	233	193
C30	200	260	115	45	101	91	31	35	56	65	4	46	56
C31	486	643	307	107	297	227	292	93	137	151	81	91	94
C32	313	392	231	76	222	166	38	48	87	111	2	62	60
C33	1461	1852	1151	3645	1202	923	259	106	574	602	51	408	402
C34	111	121	78	370	43	94	28	70	-	39	46	96	81
รวม 1	3833	5659	3335	4536	3257	2668	1188	867	1799	2020	349	1633	1605
รวม 2	4010	5851	3473	4927	3314	2787	1221	966	1826	2088	395	1735	1716
เฉลี่ย							2639						

รวม 1 = total n-alkanes

รวม 2 = total identified aliphatic (n-alkanes +isoprenoids) - = วิเคราะห์ไม่พบ

ตารางที่ ๓.4. ปริมาณสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินตามลำดับความลึกบริเวณคลองสุนัขหอน (C3)(นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

อะลิฟาติก	ความลึก (ซม.)					
	0 - 6	6 - 9	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 39
C13	-	-	-	-	-	-
C14	-	-	-	-	-	-
C15	34	27	27	37	31	36
C16	44	43	27	30	35	34
C17	103	160	134	180	163	166
pristane	75	72	66	71	77	72
C18	52	83	51	51	76	76
phytane	88	108	83	106	109	114
C19	84	117	68	96	89	86
C20	-	-	43	-	35	31
C21	122	152	85	110	119	111
C22	47	61	29	49	37	34
C23	107	135	85	111	86	-
C24	179	167	84	115	89	72
C25	164	199	155	219	121	-
C26	136	120	75	125	84	86
C27	308	359	244	379	220	203
C28	167	162	96	159	103	147
C29	283	316	220	307	186	142
C30	188	191	112	173	102	127
C31	228	242	181	228	131	117
C32	146	175	111	160	101	139
C33	649	729	619	769	480	3028
C34	72	92	65	86	145	397
UCM	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
รวม 1	3113	3529	2514	3386	2432	5032
รวม 2	3277	3709	2662	3563	2618	5217
เฉลี่ย	3508					

รวม 1 = total n-alkanes

รวม 2 = total identified aliphatic (n-alkanes + isoprenoids) - = วิเคราะห์ไม่พบ

ภาคผนวก ญ

ตารางที่ ญ1. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้าของตะกอนสถานีตามลำน้ำ (T) คลองมหาชัย (M) และคลองสุนัขหอน (D)

สถานี	ดัชนี						นอร์มัลลัลเคนเด่น	ลักษณะโครมาโตแกรม
	CPI 1	CPI 2	C ₁₇ /Pr	C ₁₈ /Phy	Pr/Phy	C29/C17		
T1	0.69	0.22	0.53	0.88	1.48	2.05	C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ช่วง C ₁₇ -C ₃₀
T2	0.80	0.67	0.46	-	-	10.62	C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ช่วง C ₂₁ -C ₃₀
T3	1.05	0.50	0.52	0.26	5.51	7.06	C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ช่วง C ₁₆ -C ₃₂
T4	0.83	0.92	5.38	1.82	0.59	12.05	C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM สูงในช่วง C ₂₄ -C ₂₈
T5	1.63	0.88	2.27	-	-	-	C ₂₉ , C ₃₁	ไม่มี UCM
T6	0.37	0.21	-	0.37	3.77	-	C ₂₁ , C ₂₄ , C ₂₃ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₀	UCM สูงและกว้างสูงสุดช่วง C ₂₁ -C ₃₁
T7	1.41	0.94	-	0.2	-	22.25	C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM แต่น้อย
T8	1.03	1.98	0.42	0.88	0.87	13.76	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM สูงช่วง C ₂₅ -C ₃₁
T9	2.38	1.61	1.96	0.42	0.37	5.04	C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ ค่อนข้างชัดเจน	มี UCM แต่น้อย
T10	0.97	0.67	2.64	-	1.3	3.36	C ₁₇ , C ₂₁ , C ₂₄ , C ₂₃ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₀	UCM เด่นในช่วงหลังคือ C ₂₅ -C ₃₁
T11	1.44	1.37	1.11	-	1.16	2.78	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้าง
M1	1.94	3.05	0.92	0.3	2.28	2.17	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
M2	0.84	1.58	1.25	0.26	1.39	0.75	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
M3	0.77	1.46	1.67	0.38	0.2	4.41	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
D1	1.23	1.45	1.02	-	-	3.38	C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง
D2	2.38	2.46	2.99	0.89	0.71	9.47	C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM จะสูงและกว้างตรงกลาง

หมายเหตุ ;

$$CPI_1 = \frac{\sum \text{conc. odd Carbon number}}{\sum \text{conc. even Carbon number}}$$

$$CPI_2 = \frac{2(C_{27} + C_{29})}{C_{26} + 2C_{28} + C_{30}}$$

(Steinhauer, 1992)

ตารางที่ ๒. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C 1

สถานี C1 ความลึก(ซม.)	ดัชนี						นอร์มัลไลซ์เคนเดิน	ลักษณะโครมาโตแกรม
	CPI 1	CPI 2	C17/Pr	C18/Phy	Pr/Phy	C29/C17		
0 - 3	2.06	1.86	2.93	1.12	0.52	2.77	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁ เลขคี่จะเด่นชัดกว่ามาก	มี UCM เล็กน้อยช่วง C ₂₁ -C ₃₁
3 - 6	2.75	3.22	2.90	5.59	2.71	4.40	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ เลขคี่จะเด่นชัดกว่ามาก	มี UCM เล็กน้อยช่วง C ₂₁ -C ₃₁
6 - 9	2.14	2.30	-	2.06	1.38	-	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ เลขคี่จะเด่นชัดกว่ามาก	มี UCM เล็กน้อยช่วง C ₂₁ -C ₃₁
9 - 12	1.98	1.72	3.70	1.80	0.92	2.51	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ เลขคี่จะเด่นชัดกว่ามาก	มี UCM เล็กน้อยช่วง C ₂₁ -C ₃₁
12 - 15	2.81	2.76	3.51	1.81	1.01	3.36	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ เลขคี่จะเด่นชัดกว่ามาก	มี UCM ลดลง
15 - 18	2.71	2.29	2.68	1.91	1.28	2.09	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ลดลง
18 - 21	2.59	2.50	3.42	1.57	1.20	2.37	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM สูงกว่า ในชั้น C1-7
21 - 24	2.71	3.45	3.11	0.60	0.21	1.51	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁	UCM เพิ่มสูงขึ้น
24 - 27	1.55	-	-	5.16	-	5.52	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ลดลง
27 - 30	2.50	2.06	-	0.25	-	3.38	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM ลดลง
30 - 33	3.56	2.48	2.48	11.35	0.78	13.59	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM
33 - 36	2.02	1.03	2.31	2.35	0.43	3.77	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM
36 - 39	2.82	1.52	1.54	0.41	0.32	2.12	C ₂₁ , C ₂₅ , C ₂₉ , C ₃₁	มี UCM

หมายเหตุ ;
$$CPI_1 = \frac{\sum \text{conc odd Carbon number}}{\sum \text{conc even Carbon number}}$$

$$CPI_2 = \frac{2(C_{27} + C_{29})}{C_{26} + 2C_{28} + C_{30}}$$
 (Steinhauer, 1992)

ตารางที่ 3. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C 2

สถานี C2	ดัชนี						นอร์มัลลัลเคนเดิน	ลักษณะโครมาโตแกรม
	CPI 1	CPI 2	C17/Pr	C18/Phy	Pr/Phy	C29/C17		
ความลึก(ซม.)								
0 - 3	5.22	3.84	2.38	0.76	0.43	-	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ไม่สูงแต่ช่วงกว้าง C ₂₁ -C ₂₉
3 - 6	2.98	1.68	2.85	0.33	0.43	-	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ไม่สูงแต่ช่วงกว้าง C ₂₁ -C ₂₉
6 - 9	2.16	1.96	2.64	1.96	0.58	5.34	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ไม่สูงแต่ช่วงกว้าง C ₂₁ -C ₂₉
9 - 12	4.54	0.98	2.44	1.14	1.18	3.80	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ลดต่ำลง
12 - 15	3.90	3.49	3.62	-	-	5.46	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ลดต่ำลง
15 - 18	3.44	3.76	3.22	3.25	1.24	5.52	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ต่ำ
18 - 21	4.47	4.75	4.19	-	-	6.24	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ต่ำ
21 - 24	1.46	4.29	4.27	-	-	5.55	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ต่ำ
24 - 27	3.77	3.67	2.91	2.84	0.90	4.62	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	มี UCM เกือบเรียบ
27 - 30	3.76	4.00	3.47	2.55	0.74	4.79	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	มี UCM เกือบเรียบ
30 - 33	3.32	5.58	9.41	-	-	7.02	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ลดต่ำลง
33 - 36	3.39	5.23	4.47	-	-	9.37	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ลดต่ำลง
36 - 39	3.17	3.97	2.64	2.63	0.95	5.09	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ ,C ₃₁ เต้นชัด),C ₃₃	UCM ลดต่ำลง

ตารางที่ 4. การพิจารณาแหล่งที่มาของอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนตามความลึกสถานี C 3

สถานี C3	ดัชนี						นอร์มัลลัลเคนเดิน	ลักษณะโครมาโตแกรม
	CPI 1	CPI 2	C17/Pr	C18/Phy	Pr/Phy	C29/C17		
ความลึก (ซม.)								
0 - 6	2.02	1.71	1.37	0.58	0.85	2.74	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₄ ,C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	มี UCM สูงในช่วง C ₁₇ -C ₃₁
6 - 12	2.22	1.99	2.22	0.77	0.67	1.97	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	มี UCM สูงในช่วง C ₁₇ -C ₃₁
12 - 18	2.63	2.33	2.05	0.62	0.79	1.64	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	มี UCM สูงในช่วง C ₁₇ -C ₃₁
18 - 24	2.57	2.11	2.53	0.48	0.67	1.71	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	มี UCM สูงในช่วง C ₁₇ -C ₃₁
24 - 30	2.02	1.98	2.12	-	-	1.14	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	UCM ลดลงเล็กน้อย
30 - 39	3.40	1.21	2.30	0.67	0.63	0.86	C ₁₇ ,C ₂₁ , C ₂₃ , C ₂₅ ,C ₂₇ ,C ₂₉ เต้นชัด),C ₃₁ ,C ₃₃	UCM ลดลงเล็กน้อย

หมายเหตุ ;

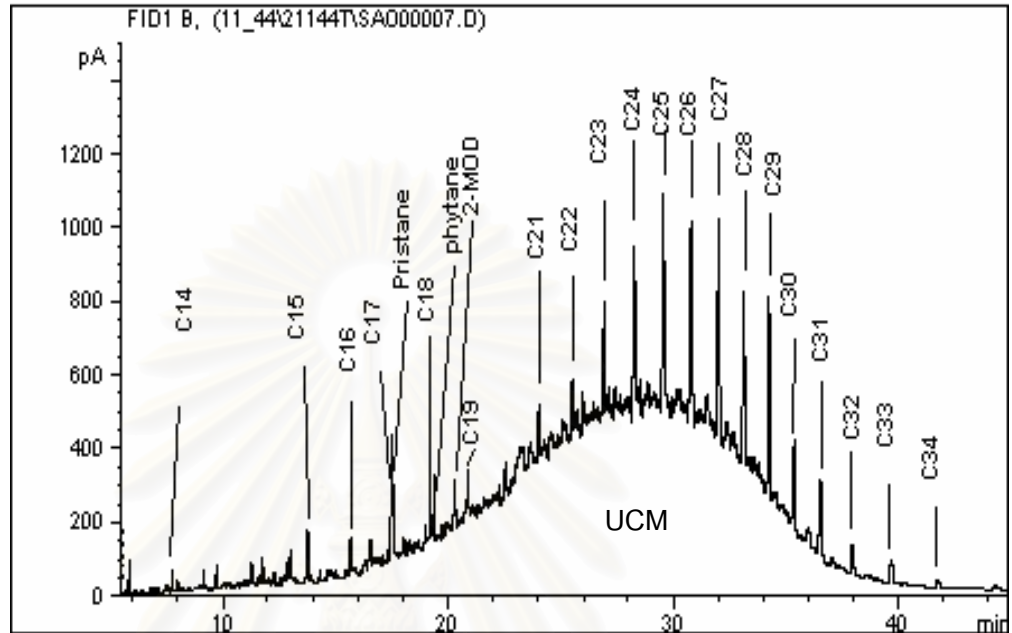
$$CPI_1 = \frac{\sum \text{conc odd Carbon number}}{\sum \text{conc even Carbon number}}$$

$$CPI_2 = \frac{2(C_{27} + C_{29})}{C_{26} + 2C_{28} + C_{30}} \quad (\text{Steinhauer,1992})$$

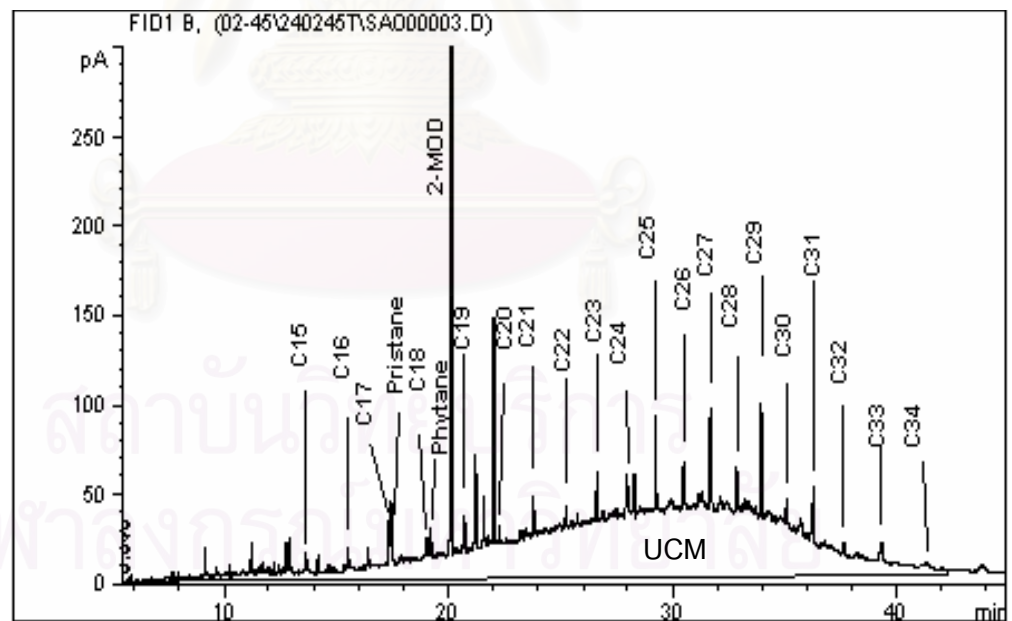
ภาคผนวก ก

โครมาโตแกรมของสารอะลิฟาติก

ก)

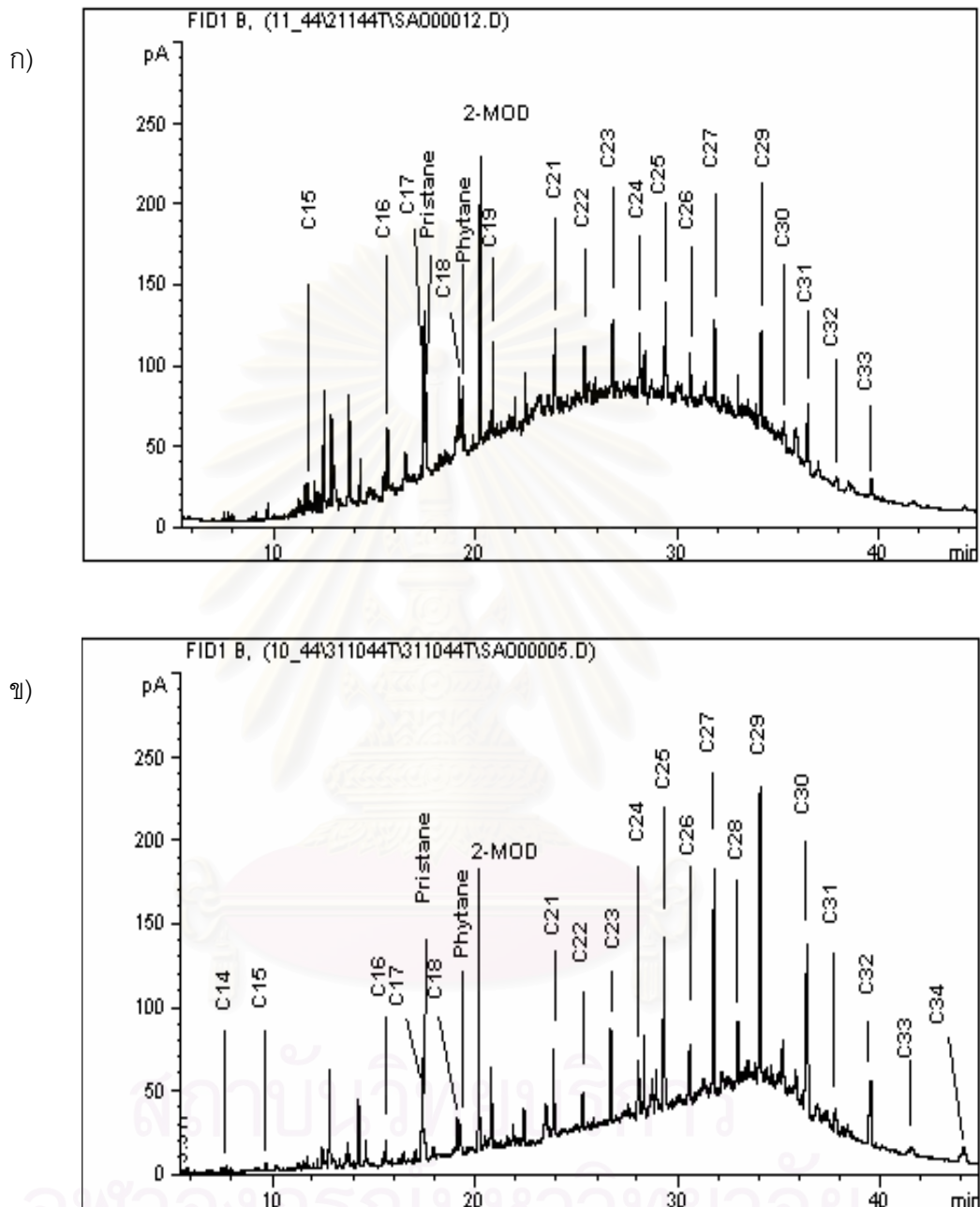


ข)



รูปที่ ๑1. โครมาโตแกรมของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนดินผิวน้ำ (T6, T8)

- ก) สถานี T6 แสดงลักษณะของ UCM ที่สูง บ่งชี้ให้ทราบภาวะการปนเปื้อนเนื่องจากน้ำมันที่มีมากกว่าบริเวณสถานี T8 (UCM เต็ม)
- ข) สถานี T8 แสดงลักษณะของ UCM ที่ต่ำ

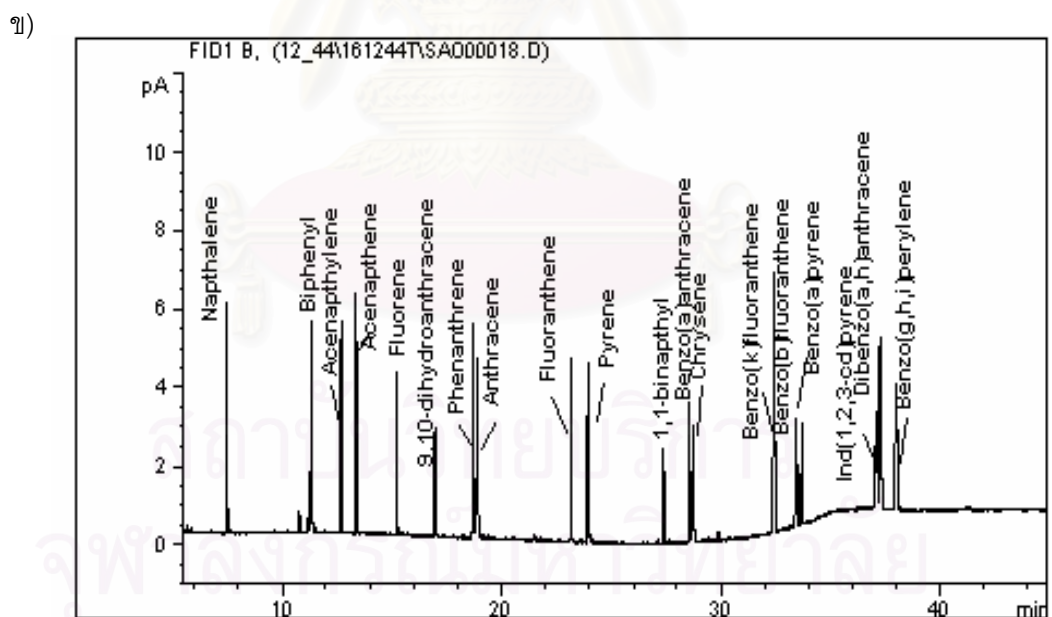
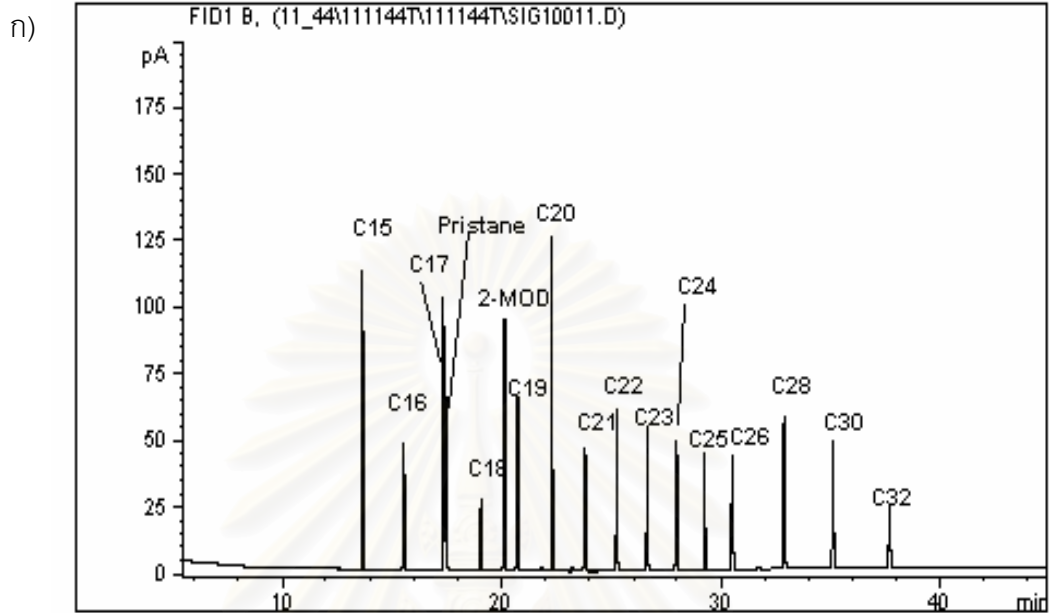


รูปที่ ๒. โครมาโตแกรมของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในตะกอนผิวหน้า (M2 , D2)

- ก) สถานี M2 แสดงลักษณะความแตกต่างของนอร์มัลอัลเคนเลขคี่กับคู่ที่ไม่มี ความแตกต่างอย่างชัดเจน แต่มีลักษณะ UCM เด่น แสดงแหล่งที่มาจากการปนเปื้อนที่มาจากน้ำมัน
- ข) สถานี D2 แสดงลักษณะของคาร์บอนอะตอมเลขคี่เด่น โดยเฉพาะ C_{29} บวกแหล่งที่มาของสารอะลิฟาติกที่มาจากพืชชั้นสูง

ภาคผนวก ก

โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ ๑1. โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานไฮโดรคาร์บอน

ก). สารมาตรฐานอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

ข) สารมาตรฐาน PAHs

ภาคผนวก ฉ.

สารละลายมาตรฐานอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

ตารางที่ ฉม1. ผลการหาค่า Method Detection Limit (MDL) ของสารอะลิฟาติก

สาร	ความเข้มข้น (mg/l)	Peak area ของ สารมาตรฐาน	MDL (ng/g)
C ₁₅	8.6	2.6	1.5
C ₁₆	6.9	3.5	1.3
C ₁₇	11.4	2.5	0.7
Pristane	12.5	1.1	0.6
C ₁₈	8.1	2.8	1.0
Phytane	9.6	-	-
2-MOD	52.0	-	-
C ₁₉	11.0	1.8	0.7
C ₂₀	11.9	4.6	1.0
C ₂₁	8.2	5.6	2.4
C ₂₂	10.6	2.4	1.0
C ₂₃	9.9	6.6	2.9
C ₂₄	9.0	6.4	3.0
C ₂₅	8.5	3.4	1.8
C ₂₆	9.0	2.3	1.4
C ₂₇	14.0	-	-
C ₂₈	19.0	1.1	1.2
C ₂₉	9.1	-	-
C ₃₀	25.6	2.5	1.6
C ₃₁	5.8	-	-
C ₃₂	29.8	1.5	1.5
เฉลี่ย	-	-	1.5

หมายเหตุ : 2-MOD = 2-Methyloctadecane

ภาคผนวก ณ.

เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

ตารางที่ ณ1.เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนผิวหน้า

สถานี	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	สถานี	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ
T1	68	M1	90
T2	84	M2	93
T3	86	M3	66
T4	72	D1	81
T5	96	D2	90
T6	82		
T7	92		
T8	61		
T9	90		
T10	85		
T11	100		
พิสัย	61 - 100		
เฉลี่ย	83		

ตารางที่ ณ2. เปอร์เซ็นต์คืนกลับของสารอะลิฟาติกในตัวอย่างตะกอนตามชั้นความลึก

C1 (ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	C2 (ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ	C3 (ซม.)	เปอร์เซ็นต์คืนกลับ
0 - 3	86	0 - 3	89	0 - 6	90
3 - 6	85	3 - 6	100	6 - 12	88
6 - 9	88	6 - 9	90	12 - 18	67
9 - 12	87	9 - 12	52	18 - 24	92
12 - 15	90	12 - 15	85	24 - 30	93
15 - 18	79	15 - 18	81	30 - 39	98
18 - 21	88	18 - 21	94	พิสัย	67 - 98
21 - 24	91	21 - 24	101	เฉลี่ย	88
24 - 27	93	24 - 27	84		
27 - 30	64	27 - 30	66		
30 - 33	89	30 - 33	100		
33 - 36	71	33 - 36	93		
36 - 39	92	36 - 39	85		
พิสัย	64 - 93	พิสัย	52 - 101		
เฉลี่ย	85	เฉลี่ย	86		

ภาคผนวก ด

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกอน

ในการวิเคราะห์ชนิดของสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนจะพิจารณาจากค่ารีเทนชันไทม์ ของพีคตัวอย่างเทียบกับรีเทนชันไทม์ของพีคของสแตนดาร์ด ประกอบกับการใช้ค่าดัชนี Kovat ในการพิจารณาชนิดของสารอะลิฟาติก

1). การคำนวณดัชนี Kovat

Kovat Index (K.I) เป็นดัชนีที่ใช้เปรียบเทียบโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างกับสารมาตรฐานนอร์มัลอัลเคน สามารถคำนวณได้จากสูตร (Lee และคณะ, 1979)

$$K. I. = [(100 \times T_{R(\text{substance})} - T_{R(\text{CZ})}) / (T_{R(\text{CZ}+2)} - T_{R(\text{CZ})})] + 100 Z$$

โดยที่ $T_{R(\text{substance})}$ คือ retention time ของสารที่ต้องการหาค่าดัชนี Kovat

$T_{R(\text{CZ})}$ คือ retention time ของสารที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม = z

$T_{R(\text{CZ}+2)}$ คือ retention time ของสารที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม = z + 2

Z คือ จำนวนคาร์บอนอะตอมของสารที่ถูกชะออกมาก่อนสารที่ต้องการหาค่าดัชนี Kovat

ตารางที่ ด1 ดัชนี Kovat ของสารมาตรฐานอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

สารมาตรฐาน	ดัชนี Kovat
C ₁₅	1500
C ₁₆	1600
C ₁₇	1700
Pristane	1706.5
C ₁₈	1800
Phytane	1814.8
MOD	-
C ₁₉	1900
C ₂₀	2000

ตารางที่ ๑1 (ต่อ) ดัชนี Kovat ของสารมาตรฐานอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน

สารมาตรฐาน	ดัชนี Kovat
C ₂₁	2100
C ₂₂	2200
C ₂₃	2300
C ₂₄	2400
C ₂₅	2500
C ₂₆	2600
C ₂₇	2700
C ₂₈	2800
C ₂₉	2900
C ₃₀	3000
C ₃₁	3100
C ₃₂	3200

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ตัวอย่างที่ใช้หาปริมาณสารอินทรีย์ และหาอายุตะกอน เตรียมตัวอย่างโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
2. ตัวอย่างที่ใช้ในการหา grain size โดยการผึ่งแห้ง

1. การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอนดินโดยวิธี Walkley Black Method (Jackson, 1975)

1.1 สารเคมี

- 1) 85% H₃PO₄
- 2) Solid NaF
- 3) Conc. H₂SO₄
- 4) Ag₂SO₄
- 5) 1 N K₂Cr₂O₇
- 6) 0.5 N Ferrous ammonium sulphate solution
- 7) Diphenylamine indicator
- 8) Standard Dextose

1.2 วิธีวิเคราะห์

- 1) ชั่งตะกอนดินที่ทำให้แห้งแล้วด้วยวิธี freeze dry และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร (80 เมชต่อนิ้ว) ประมาณ 0.50 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิเมตร
- 2) ปิเปตสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต 1 N ปริมาณ 10 มิลลิเมตร ใส่ขวดตัวอย่างตะกอนดิน
- 3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิเมตร เขย่าให้ผสมกัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
- 4) เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 5) เติมกรด H_3PO_4 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 6) เติม Solid NaF 0.2 มิลลิลิตร
- 7) เติม diphenylamine indicator 15 หยด
- 9) ไตเตรตด้วยสารละลาย Ferrous ammonium sulphate solution จนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว จดปริมาตรของ Ferrous Solution ที่ใช้ไป

1.3 การคำนวณ

$$\% OM = 10(1-T/S) * 1.34$$

โดยที่ OM คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในตะกอนดินตัวอย่าง

S คือ ปริมาณสารละลาย Ferrous ที่ใช้ในการไตเตรตสารมาตรฐาน

T คือ ปริมาณสารละลาย Ferrous ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

$$1.34 \text{ หาได้จาก } (1.0 N) \times \frac{12 \times 1.72 \times 100}{4000 \times 0.77 \times 0.5}$$

$$\% OC = \frac{\% OM}{1.72}$$

2. วิธีวิเคราะห์หาเนื้อของดิน (Texture) โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) beaker ขนาด 600 มิลลิเมตร
- 2) water bath
- 3) กรวยกรอง

- 4) กระดาษกรอง No.42
- 5) Dispersion cup
- 6) Mechanical stirrer
- 7) Rubber policeman
- 8) Stirring rod
- 9) Hydrometer ชนิดพิเศษสำหรับใช้ในการประเมินเนื้อดิน
- 10) Sedimentation cylinder
- 11) Plunger
- 12) Thermometer
- 13) สารละลาย 5% calgon ซึ่ง dry powdered Sod. Hexametaphosphate 35.7 กรัมและ Anhydrous Sodium Carbonate 7.94 กรัมค่อย ๆ ใส่สารเคมีที่ชั่งแล้วนี้ลงไป ใน beaker ขนาด 600 มิลลิลิตร ที่มีน้ำก่ล่นอยู่แล้วคนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสารเคมีนี้ละลายหมดถ่ายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วปรับปริมาตร
- 14) Amyl alcohol

2.2 วิธีวิเคราะห์

- 1) ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ จำนวน 40 กรัม (ไม่จำเป็นต้องเป็น 40 กรัมแต่ต้องทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ลงใน beaker ขนาด 600 มิลลิลิตร
- 2) เติมสารละลาย 5% calgon 100 มิลลิลิตร คนให้ทั่วแล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืน
- 3) ถ่ายดินจากข้อ 2) ลงใน Dispersion cup แล้วล้างด้วยน้ำก่ล่น นำไปปั่นด้วยเครื่องนาน 5 นาที (อย่าให้นานกว่านี้ เพราะจะทำให้อนุภาคที่ใหญ่ ๆ ของดินแตก ซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้)
- 4) ถ่ายสิ่งที่อยู่ใน dispersion cup ทั้งหมดลงใน sedimentation cylinder (ควรระวังไม่ทำให้หก) ถ้ามีเศษดินอยู่ตามผนังของ dispersion cup ให้ใช้ rubber policeman ถูพร้อม กับใช้น้ำก่ล่นจาก wash bottle ช็ดไล่ดินลงใน sedimentation cylinder ให้หมด
- 5) เติมน้ำก่ล่นลงใน sedimentation cylinder ประมาณ 100 – 200 มิลลิลิตร ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปใน sedimentation cylinder ในขณะที่ไฮโดรมิเตอร์จุ่มอยู่ในสารแขวนลอยของดินใน sedimentation cylinder นี้ เติมน้ำก่ล่นลงอีกจนถึงขีดล่างของ sedimentation cylinder

6) ยกไฮโดรมิเตอร์ออก ใช้ plunger คน 20 ครั้ง เพื่อให้อนุภาคของดินในสารแขวนลอย ใน sedimentation cylinder กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกส่วนของสารแขวนลอย วาง graduated cylinder ให้เรียบร้อยบนโต๊ะปฏิบัติการ พร้อมกับเริ่มจับเวลา

7) ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปในสารแขวนลอยของดิน ใน sedimentation cylinder (อย่าให้สารแขวนลอยได้รับความกระทบกระเทือนมากกว่าที่จำเป็น) ปล่อยไฮโดรมิเตอร์ไว้ในสารแขวนลอยและอ่านค่าบนก้านของไฮโดรมิเตอร์ตรงระดับผิวของสารแขวนลอย เมื่อครบ 40 วินาทีพอดี นับตั้งแต่เริ่มตั้ง sedimentation cylinder ลงบนโต๊ะปฏิบัติการ วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยของดินตรงระดับกระเปาะของไฮโดรมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้จากก้านของไฮโดรมิเตอร์ บันทึกค่าที่อ่านได้จากก้านของไฮโดรมิเตอร์และอุณหภูมิค่าที่ได้จาก 40 วินาที นำไปคำนวณหาปริมาณ silt + clay

8) ปฏิบัติตามข้อ 7) ซ้ำอีก และเมื่อได้เวลาอีก 1 นาที จะครบ 2 ชั่วโมง ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปในสารแขวนลอยใน sedimentation cylinder อีก อ่านค่าบนก้านของไฮโดรมิเตอร์เมื่อได้เวลา 2 ชั่วโมงพอดี นับตั้งแต่เริ่มตั้ง sedimentation cylinder ลงบนโต๊ะปฏิบัติการและวัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยไว้อีก บันทึกผลไว้ ค่าที่อ่านได้นี้ไปคำนวณหาปริมาณ Clay

9) เติมสารละลาย 5 % Calgon 100 มิลลิลิตร ลงใน sedimentation cylinder อีกใบหนึ่ง แล้วปฏิบัติการเช่นเดียวกับข้อ 6) และ 7) และใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดความเข้มข้นของสารละลาย calgon ใน sedimentation cylinder และวัดอุณหภูมิตามวิธีการข้อ 7) บันทึกผลไว้ ค่าที่อ่านได้นี้ไปคำนวณหาค่า Blank

2.3 วิธีคำนวณ

$$\text{Temperature correction} = (T \text{ ขณะนั้น} - 67 \text{ F}) \times 0.2 = A$$

A_1 คือค่าที่อ่านเมื่อ 40 วินาที

A_2 คือค่าที่อ่านเมื่อเวลา 2 ชั่วโมง

T คือ อุณหภูมิ

Hydrometer corrections

$$\text{ค่าที่อ่านได้จากข้อ 9)} = a \text{ (จุดอุณหภูมิขณะนั้นด้วย)}$$

$$(T \text{ ขณะนั้น} - 67 \text{ F}) \times 0.2 = b \text{ (Temperature correction ของ blank)}$$

$$a + b = B \text{ (blank)}$$

$$\text{Silt + Clay (40 วินาที)} = X \text{ (จาก Hydrometer reading)}$$

$$\text{Silt + Clay (Corrected)} = (X + A_1) - B = C$$

$$\text{Clay (2 ชั่วโมง)} = Y \text{ (จาก Hydrometer reading)}$$

$$\text{Clay (corrected)} = (Y + A_2) - B = D$$

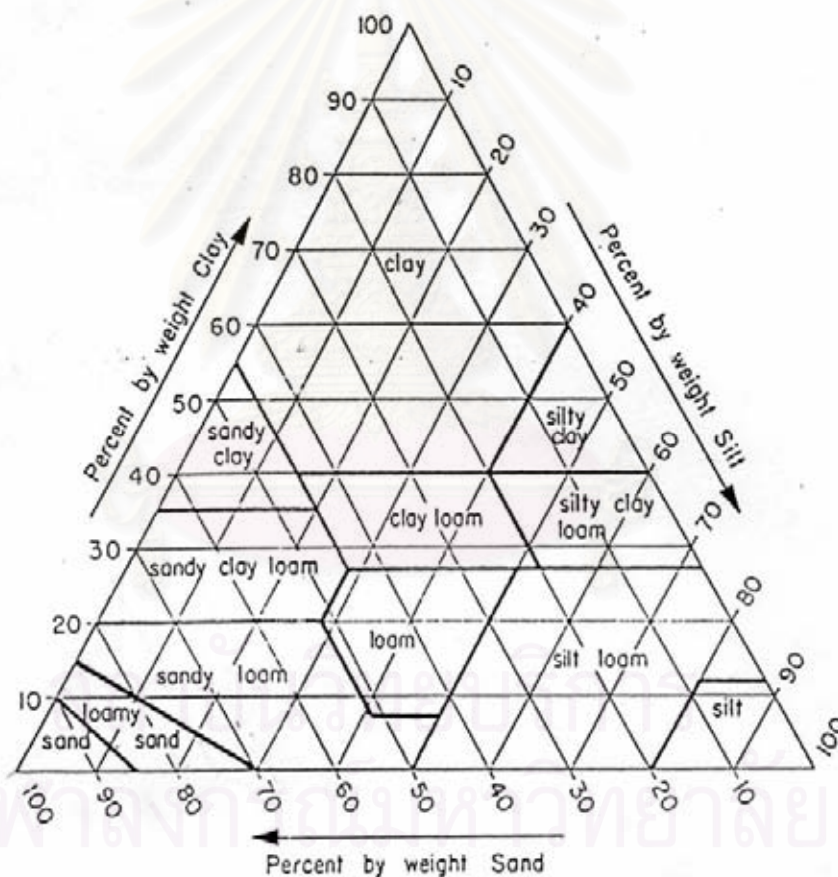
$$\% \text{ Silt + Clay} = \frac{C}{\text{น้ำหนักของตะกอนดิน}} \times 100$$

$$\% \text{ Clay} = \frac{D}{\text{น้ำหนักของตะกอนดิน}} \times 100$$

$$\% \text{ Silt} = (\% \text{ Silt + Clay}) - \% \text{ Clay}$$

$$\% \text{ Sand} = 100 - (\% \text{ Silt + Clay})$$

เมื่อทราบค่า % Sand , % Silt + % Clay แล้วนำตัวเลขนี้ไปเทียบกับ Triangle เพื่อจะได้ทราบว่าเนื้อดินชนิดใด ดังแสดงในรูปที่ ด1.



รูปที่ ด1. ไตอะแกรมที่ใช้ในจำแนกชนิดของตะกอนตามขนาดของตะกอน (Smith and Atkinson,1975)

3. การหาอายุของตะกอนในทะเล

ตะกอนที่ทับถมกันภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกจะเรียงตัวกันเป็นชั้นในแนวอนอนขนานกับผิวน้ำของทะเล ถ้าการตกตะกอนเป็นไปโดยมีระเบียบ ไม่มีการเลื่อนหลุดเป็นกะบิ

(slumping) ตะกอนที่สะสมอยู่ชั้นล่างจะแสดงถึงตะกอนยุคก่อน ๆ

ในทางธรณีวิทยามีการใช้สารกัมมันตรังสีที่เกิดในธรรมชาติ 3 ชนิด ในการหาอายุทางธรณีวิทยาหรือ geochronometry ได้แก่ (มนูดี หังสพฤกษ์, 2532)

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

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

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

3) นิวไคลด์ที่เกิดจากรังสีคอสมิก (cosmic ray) นิวไคลด์ประเภทนี้เกิดขึ้นตลอดเวลาในยุคปัจจุบัน โดยปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกที่กระทำต่อโมเลกุลในอากาศพวกนี้จะมีช่วงชีวิตค่อนข้างสั้นและมีปริมาณคงที่ในบรรยากาศและมหาสมุทร เพราะมีการสร้างขึ้นใหม่ตลอดเวลา ตัวอย่าง เช่น C-14 , H-3 , Be -10 และ Si-32

การกำหนดอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสี

ในอดีตนักธรณีวิทยาทางทะเลไม่สามารถหาอัตราการตกตะกอนของตะกอนอายุน้อย (ไม่เกิน 100 ปี) บนไหล่ทวีปได้ แต่ปัจจุบันนี้การพัฒนาวิธีการหาอายุของตะกอนโดยใช้ Pb^{210} กัมมันตรังสี ทำให้สามารถทำงานดังกล่าวได้ (ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ และคณะ 2537)

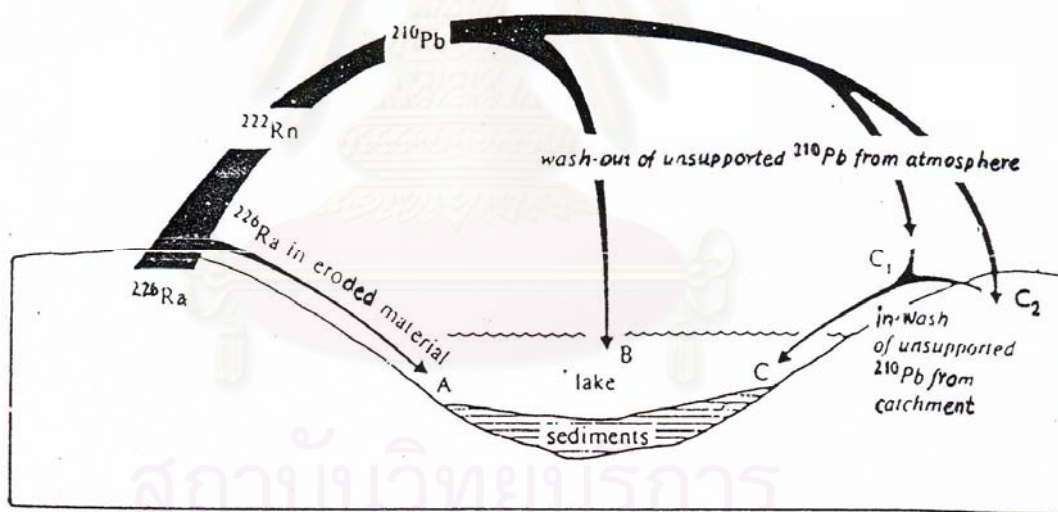
ตามทฤษฎี Pb^{210} เป็นสมาชิกของการสลายตัวในอนุกรมชุด U 238 ที่มีอยู่ในธรรมชาติ แล้วลงสู่ทะเลโดยการชะล้างจากพื้นทวีป นอกจากนี้แล้ว Pb^{210} ยังได้จากการสลายตัวของ Ra 226 ในน้ำทะเลและจากการสลายตัวของแก๊ส Rn 222 ในบรรยากาศ ไอโซโทปนี้มีช่วงที่อยู่น้ำทะเลสั้นมาก คืออยู่ในน้ำใกล้ชายฝั่งไม่ถึง 1 ปีก็จะตกตะกอนไป เข้าใจกันว่ากระบวนการที่พามันลงสู่ตะกอนน่าจะ ได้แก่ การนำพาสิ่งมีชีวิต การดูดซับโดยสารแขวนลอย และการตกตะกอนร่วมโดย

ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส การที่ Pb^{210} ตกตะกอนอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้มันมีอยู่ในตะกอนในระดับที่สูงกว่า Ra^{222} Pb^{210} เมื่ออยู่ในตะกอนแล้วมันจะไม่เคลื่อนที่เข้าหรือออกจากตะกอน และเมื่อสลายตัวจะให้รังสีเบตาและ Bi^{210} ครึ่งชีวิตของ Pb^{210} เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่การสลายตัวของ Pb^{210} เป็นการสลายตัวที่ให้พลังงานต่ำมาก ทำให้การวัด Pb^{210} ในตะกอนโดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

1) วัดกัมมันตรังสีของ Bi^{210} ซึ่งมีครึ่งชีวิต 5.01 วัน และสลายตัวดังต่อไปนี้เป็น Po^{210} และไอโซโทป Pb^{206} ซึ่งเสถียร

2) วัดกัมมันตรังสีของ Po^{210} (ครึ่งชีวิต 138 วัน) ซึ่งสลายตัวแบบอัลฟา กลายเป็นไอโซโทป Pb^{206} ซึ่งเสถียร

ทั้งสองวิธีตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า มี Secular equilibrium ระหว่าง Pb^{210} และไอโซโทปที่เราวัด กล่าวคือ Bi^{210} และ Po^{210} ที่มีอยู่ในตะกอนเป็นส่วนของการสลายตัวของ Pb^{210} เท่านั้น ซึ่งก็น่าจะเป็นเช่นนั้นเพราะ Bi^{210} และ Po^{210} มีครึ่งชีวิตที่สั้นเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่มันอยู่ในตะกอน



ที่มา : Clifton และ Hamilton , 1979

รูปที่ ๑๒. แสดงเส้นทางที่ Pb^{210} ลงสู่ตะกอนใต้ทะเล

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

B เป็น supported Pb^{210} ที่เกิดจากการสลายตัวของ Ra^{222} แล้วถูกชะจาก

บรรยากาศ ลงสู่ทะเลโดยผ่านเส้นทางระบายน้ำต่าง ๆ

C เป็น unsupported Pb^{210} ที่ตกลงมาบนชายฝั่ง

C1 แล้วถูกชะลงสู่ทะเลโดยผ่านเส้นทางระบายน้ำต่าง ๆ

C2 ถูดยุติชีพไว้บนอนุภาคดินเหนียวและสารอินทรีย์ในดินแล้วอาจลงสู่ทะเลได้หลังจากที่ระยะเวลาผ่านไป

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

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

การกำหนดอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสีริเริ่มโดย Kushnaswami และคณะ, 1971 Koide และคณะ , 1972 และ Robbin & Edgington , 1975 (อ้างถึงใน Clifton & Hamilton, 1979) ปัจจุบันนี้เป็นวิธีที่แพร่หลายและถูกนำมาใช้ได้ผลสำเร็จเป็นอย่างดีกับนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน

การศึกษาอัตราการทับถมของตะกอนดิน โดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสีนี้มีประโยชน์มาในทางการศึกษามลภาวะทางทะเลเนื่องจาก

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

2. Pb^{210} จับติดกับอนุภาคของตะกอนได้อย่างรวดเร็วและเคลื่อนไหวไปพร้อม ๆ กับอนุภาคของตะกอนดินนั้น ๆ

Nitrouer และคณะ , 1979 พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของ Pb^{210} กัมมันตรังสี ตามระดับความลึกของชั้นดิน จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ อย่างชัดเจน (รูปที่ ๑3.)

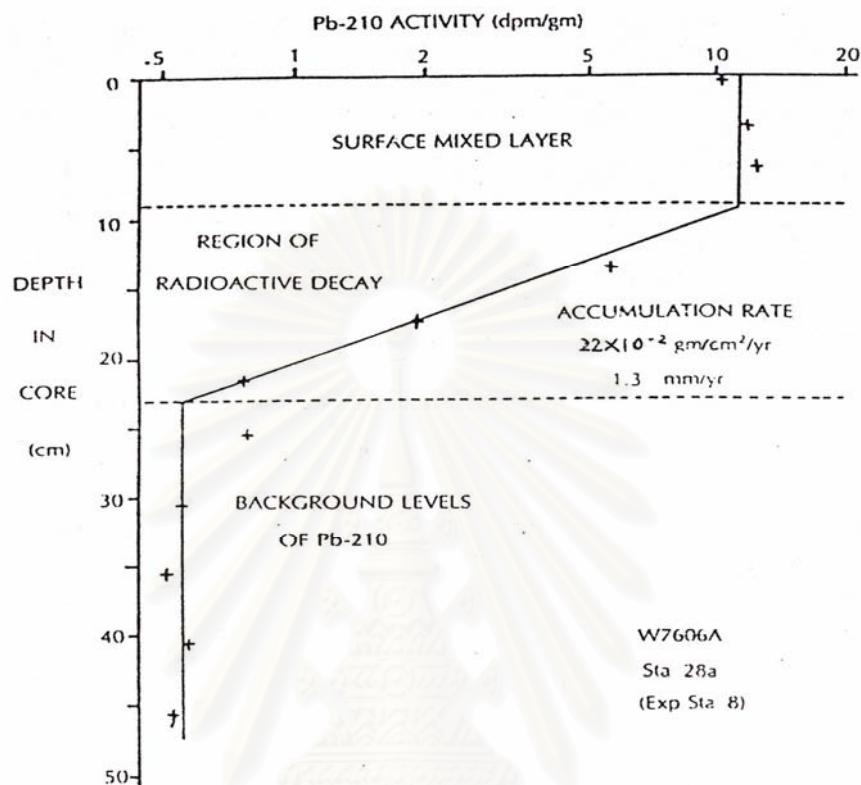
1. Surface mixing layer (SML) คือส่วนผิวหน้าสุดของตะกอน บริเวณนี้จะถูกผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยกระบวนการทางฟิสิกส์และชีววะ ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ Pb^{210} ในส่วนนี้จะมีค่าคงที่

2. Region of radioactive decay เมื่อลึกลงไป อิทธิพลของกระบวนการทางฟิสิกส์และชีววะจะไม่มีอีกต่อไป ดังนั้นตะกอนในบริเวณนี้จึงอยู่ในสภาพที่นิ่ง และจัดตัวอยู่กับที่ excess Pb^{210} กัมมันตรังสี จะสลายตัวด้วยค่าครึ่งชีวิตของมัน และถ้าอัตราการตกตะกอนทับถมมีค่าคงที่ (Steady state) ปริมาณกัมมันตรังสีของ excess Pb^{210} จะลดลงตามสเกล log ส่วนนี้คือส่วนที่ส่วนที่นำมาคำนวณอัตราการทับถมของตะกอนดิน

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)

การที่ Pb^{210} มีค่าครึ่งชีวิต 21.4 ปี ทำให้สามารถใช้วิธีนี้ในการหาอายุได้ถึงช่วงเวลา

100 – 150 ปี ได้มีการเปรียบเทียบหาอายุของตะกอนโดยวิธี Pb^{210} เทียบการหาอายุโดยวิธีอื่น ๆ เช่นใช้ไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดอื่น หรือละอองเรณูก็พบว่าวิธีนี้ใช้ได้ทั้งระบบทะเลสาบน้ำจืด



รูปที่ ๓. การเปลี่ยนแปลงกัมมันตรังสีของ Pb^{210} ตามความลึกของตะกอนจากไหลท์วีป
ที่มา : Nittrouer และคณะ, 1979

ทะเลสาบใกล้ฝั่ง ปากแม่น้ำ ฟยอร์ด ไหลท์วีป และทะเลลึก หรือแม้แต่การหาอัตราการทับถมของหิมะแถบขั้วโลกก็ใช้การเปลี่ยนแปลงรูปแบบแร่ธาตุขององค์ประกอบอินทรีย์

เครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บตะกอนมาศึกษาด้วยวิธีนี้ ก็คือทำเจาะแบบกล่อง (box corer) เพราะทำให้ได้ชั้นตะกอนที่ไม่ถูกรบกวน และได้ตะกอนตัวอย่างในปริมาณที่มากพอจะนำมาศึกษาในหลาย ๆ แ่ง

3. การวิเคราะห์หาอายุของตะกอนดินโดยวิธี Pb^{210} กัมมันตรังสี (Carpenter, 1985)

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 1) beaker ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) กระจกนาฬิกา (watch glass)
- 3) แท่งแก้วคน
- 4) magnetic stirrer
- 5) Glass Plating Hook
- 6) Hot plate
- 7) Centrifuge tube
- 8) Spatulas
- 9) Silver foil
- 10) Alpha spectrometer
- 11) L-ascorbic acid
- 12) Nitric acid
- 13) Standard 209-Pb
- 14) Hydrochloric acid
- 15) Perchloric acid

เครื่องแก้วทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองต้องแช่ด้วยกรด HNO_3 8 N ก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง

3.2 วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างตะกอนดินแห้งที่อบและบดละเอียดแล้วจำนวน 2 – 3 กรัม มาเติมสารละลาย Pb^{209} ประมาณ 5 – 10 dpm (disintegrations per minute) เป็น tracer เพื่อหาค่า Chemical Yield
2. ทำการย่อยสลายตะกอนดังกล่าวเพื่อสกัดเอา Pb^{210} ออกมาจากตะกอนด้วย Conc. HNO_3 30 มิลลิลิตร (อัตราส่วนกรด : น้ำหนักตะกอน = 10 : 1) ทิ้งไว้ 1 คืน ให้ความร้อนตัวอย่างด้วยอุณหภูมิไม่สูงนักจนแห้งสนิท
3. ย่อยสลายต่อด้วย Conc. $HClO_4$ และ Conc. HCl อย่างละ 30 มิลลิลิตร ตามลำดับ

4. แยก Pb^{210} ออกจากสารละลายกรด HCl โดยให้เกาะติดกับแผ่นเงินบริสุทธิ์ กระบวนการนี้เป็นไปตามธรรมชาติโดยไม่จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าช่วย (Spontaneous deposition)

5. นำแผ่นเงินไปวัดกัมมันตรังสีแอลฟา ด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (α - spectrometer) โดยจำนวนนับของแต่ละตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 1000 จำนวนนับ (counts) ทั้งนี้ เพื่อให้ความผิดพลาดเนื่องจากการนับมีค่าไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำไปคำนวณหา sedimentation rate และอายุของตะกอน

การกระจายตัวของ excess Pb^{210} กัมมันตรังสีจะสะสมตามระดับความลึกของชั้นดินใน Region of Radioactive Decay จะแทนด้วยสมการ

$$A_x = A_0 \cdot \text{Exp}^{-bx}$$

เมื่อ A_x คือ ปริมาณกัมมันตรังสีของ excess Pb^{210} ที่ total mass accumulation x นับจากจุดเริ่มต้นของ Region of radioactive decay

A_0 คือ ปริมาณกัมมันตรังสีของ excess Pb^{210} ที่จุดเริ่มต้นของ Region of radioactive decay

b คือ slope ของ least square fitted line เมื่อ plot ระหว่าง log ของปริมาณกัมมันตรังสี excess Pb^{210} กับ total accumulation (mass/area) ภายใน Region of radioactive decay

$$b = l / s$$

เมื่อ l คือ decay constant ของ Pb^{210} กัมมันตรังสีมีค่าเท่ากับ 0.0311 ต่อปี

s คือ อัตราการทับถมของตะกอนดินในหน่วย mass/area/time (ie . $mg/cm^2/yr$)

x คือ total mass accumulation (mg/cm^2)

ซึ่งคำนวณได้จากค่าน้ำหนักเปียก น้ำหนักแห้งของตะกอนในชั้นนั้น ๆ ตอนเริ่มต้น

เมื่อแทนค่า A_0 , ค่า A_x , ค่า x ของตะกอนในแต่ละชั้นลงในสมการก็จะได้ค่า b ออกมา เมื่อแทนค่า l ก็จะได้ค่า s หรือ sedimentation rate ($mg/cm^2/yr$) เมื่อได้ค่า sedimentation rate ก็จะสามารถหาค่าอายุของตะกอนได้จากสมการ

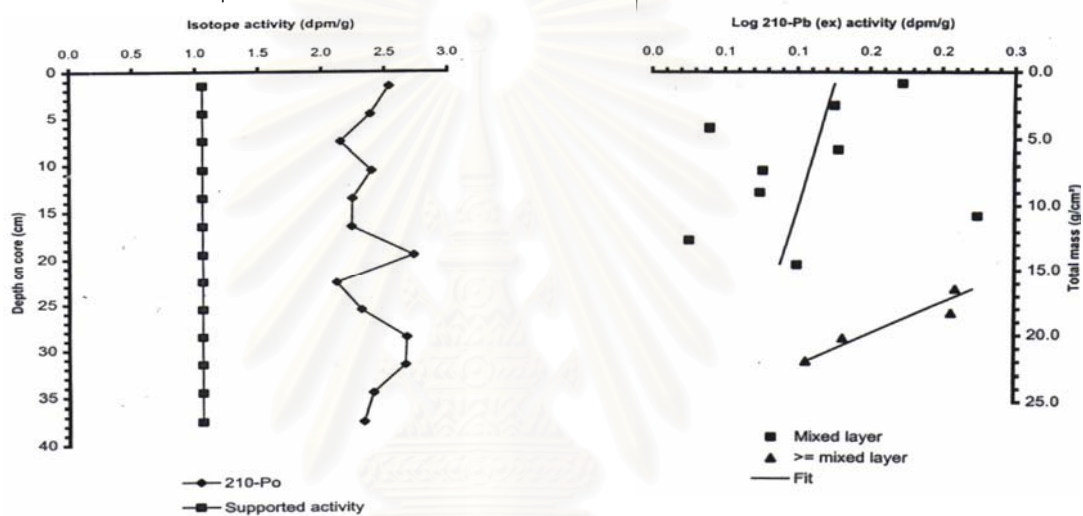
$$\text{อายุของตะกอน(ปี)} = \frac{\text{sedimentation rate}}{\text{total mass accumulation}}$$

ผลการหาอายุตะกอน

นำตัวอย่าง C1 C2 และ C3 ซึ่งเป็นตะกอนที่เก็บโดยใช้ Box corer มาทำการ section ชั้นละ 3 ซม. และนำตะกอนที่เตรียมไว้แล้วไปหาอายุโดยได้ขอความร่วมมือจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) เพื่อหาอายุของตะกอน จำนวนทั้งสิ้น 32 ตัวอย่าง โดยใช้หลักการวัดค่าอัตราการสลายตัวของ Pb^{210} ที่มีอยู่ในตะกอนตามธรรมชาติ

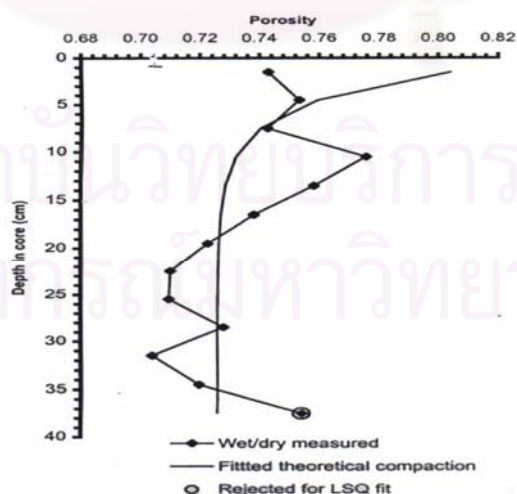
ผลการหาอายุของตะกอนในแต่ละสถานี มีดังนี้

สถานี C 1 รูปที่ ด4. , ณ5 , ณ6 แสดงค่า Isotope activity (dpm/g) ของ Pb^{210} , ค่า log activity และความพรุนของเนื้อดินตามลำดับ



รูปที่ ด4. แสดงค่า Isotope activity (dpm/g) กับความลึก (C1)

รูปที่ ด5. แสดงค่า log activity ของ Pb^{210} (C2)



รูปที่ ด6. แสดงค่าความพรุนของเนื้อดิน (C1)

ตารางที่ ด2. แสดงค่าอายุตะกอนสถานี C 1

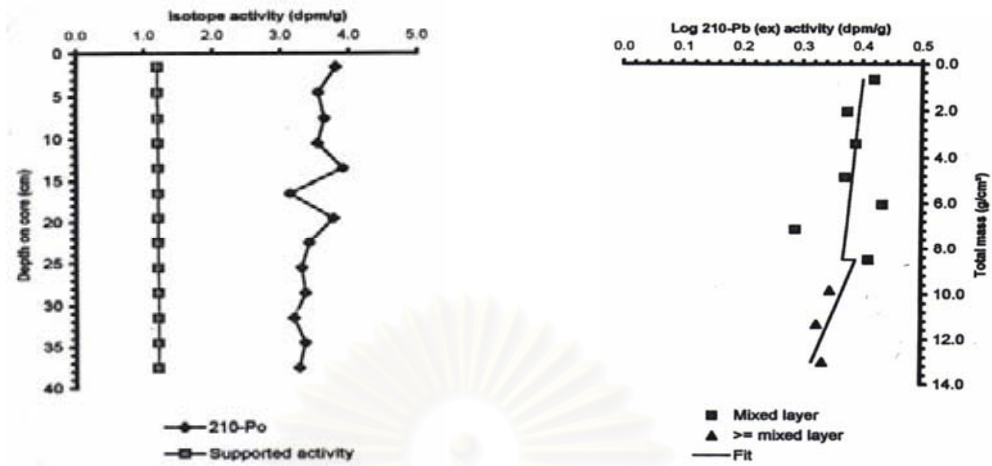
sedimentation rate = 648.6 mg/cm²/yr.

surface = 1.147 cm/yr. At depth = 1.076 cm/yr.

Seq No	core interval(cm)		age (yr.)
	top	bottom	
1	0.0	- 3.0	1
2	3.0	- 6.0	4
3	6.0	- 9.0	6
4	9.0	- 12.0	9
5	12.0	- 15.0	11
6	15.0	- 18.0	14
7	18.0	- 21.0	17
8	21.0	- 24.0	20
9	24.0	- 27.0	22
10	27.0	- 30.0	25
11	30.0	- 33.0	28
12	33.0	- 36.0	31
13	36.0	- 39.0	34

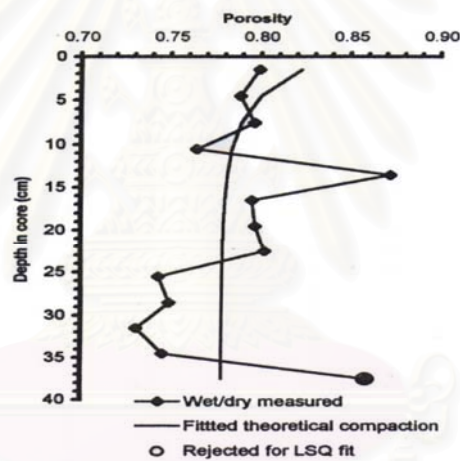
หมายเหตุ ในการหาอายุของตะกอนและจะนำเอาช่วงของการสลายตัวของ activity ของ Pb²¹⁰ ที่อยู่ในช่วงของ region of radioactive decay ในการทดลองตัวอย่างนี้เลือกช่วงที่ความลึก 27.00-39.00 ซม (รูปที่ ด5.) และสามารถนำค่าในช่วงนี้ไปหาอัตราการตกตะกอนแล้วนำอัตราการตกตะกอนไปคำนวณเป็นอายุของตะกอนต่อไป ดังแสดงในตารางที่ ด1. ความพรุนของเนื้อดินมีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (รูปที่ ด6.)

สถานี C 2 รูปที่ ด7 , ด8 และ ด9 แสดงค่า activity ของ Pb²¹⁰ , ค่า log activity และค่าความพรุนของเนื้อดินตามลำดับ



รูปที่ ๗. แสดง activity ของ Pb^{210} กับความลึก (C2)

รูปที่ ๘. แสดงค่า log ของ activity (C2_)



รูปที่ ๙. แสดงความพรุนของเนื้อดินกับความลึกสถานี C 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

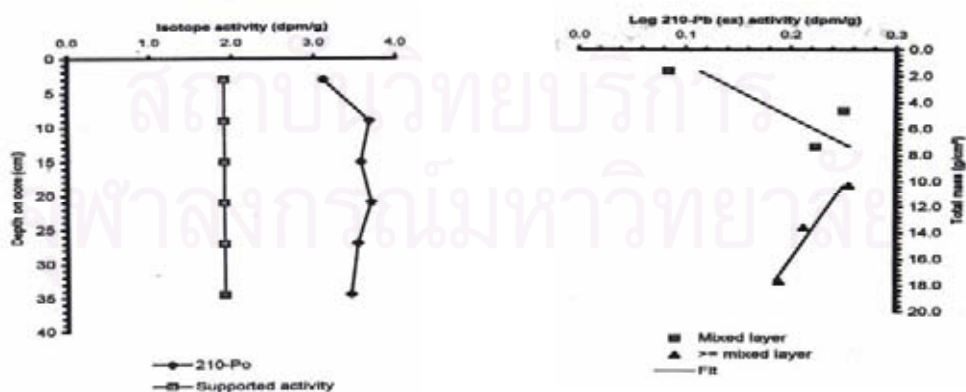
ตารางที่ ด 3. แสดงอายุของตะกอน สถานี C 2

sedimentation rate = 832.8 mg/cm²/yr.

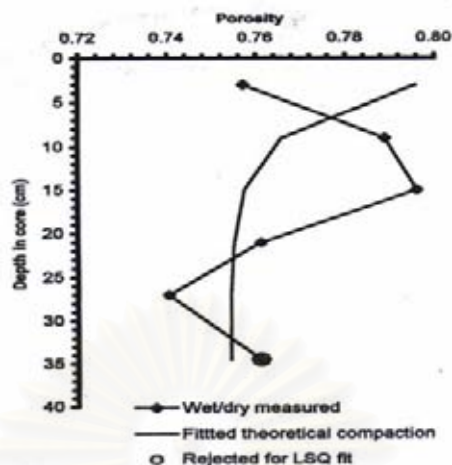
surface = 1.883cm/yr. At depth = 1.709 cm/yr.

Seq No	core interval(cm)		age (yr.)
	top	bottom	
1	0.0	- 3.0	1
2	3.0	- 6.0	2
3	6.0	- 9.0	4
4	9.0	- 12.0	6
5	12.0	- 15.0	7
6	15.0	- 18.0	9
7	18.0	- 21.0	10
8	21.0	- 24.0	12
9	24.0	- 27.0	14
10	27.0	- 30.0	16
11	30.0	- 33.0	18
12	33.0	- 36.0	20
13	36.0	- 39.0	21

หมายเหตุ จากรูปที่ ด7. ช่วง activity ที่เลือกเพื่อนำไปหาอัตราการตกตะกอนและอายุของตะกอน คือ ช่วง 19.5 – 31.5 ซม.(รูปที่ ด8.) ได้ผลดังตาราง และจากค่าความพรุนของดิน (รูปที่ ด9.) พบว่าแนวโน้มมีความพรุนลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น



รูปที่ ด10. แสดงค่า activity ของ Pb²¹⁰ กับความลึก (C3) รูปที่ ด11. แสดงค่า log activity ของ Pb²¹⁰ (C3)



รูปที่ 12. แสดงค่าความพรุนของเนื้อดิน (C3)

ตารางที่ 4. แสดงอายุตะกอนสถานี C 3

sedimentation rate = 1524.3 mg/cm²/yr.

surface = 2.853 cm/yr. At depth = 2.819 cm/yr.

Seq No	core interval(cm)		age (yr.)
	top	bottom	
1	0.0	6.0	1
2	6.0	12.0	3
3	12.0	18.0	5
4	18.0	24.0	7
5	24.0	30.0	9
6	30.0	39.0	12

หมายเหตุ รูปที่ 11. แสดงช่วงของ 18.0 – 39.0 ซม. ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการสลายตัวที่คงที่ของ Pb²¹⁰ นำช่วงนี้ไปหาอัตราการตกตะกอนและนำไปหาอายุของตะกอนต่อไป ดังแสดงค่าที่ได้ในตารางที่ 3. ความพรุนของดินมีแนวโน้มลดลง แต่ในชั้นสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเนื่องจากการตัดชั้นกว้างประมาณ 6 ซม. จึงทำให้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงบ้าง

ภาคผนวก ต.

ตารางที่ ต1. สถิติจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตจังหวัดสมุทรสาครในปี 2541
จำแนกตามหมวดอุตสาหกรรม

หมวดอุตสาหกรรม	จำนวนสถานประกอบการ
1. การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม	174
2. การผลิตสิ่งทอ	156
3.การผลิตเครื่องแต่งกาย รวมทั้งการตกแต่งและ ย้อมสีขนสัตว์	22
4. การฟอกและการตกแต่งหนังฟอก รวมทั้งการผลิตกระเป๋าเดินทาง กระเป๋าถือ อานม้า เครื่องเทียมรถ และรองเท้า	18
5. การผลิตไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้และไม้ก๊อกยกเว้นเฟอร์นิเจอร์ รวมทั้งการผลิตสิ่งของที่ทำจากฟางและวัสดุถักสานอื่น ๆ	31
6. การผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ	34
7. การพิมพ์โฆษณา การพิมพ์ และการทำสำเนาบันทึก	5
8. การผลิตเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	51
9. การผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก	164
10. การผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ	53
11.การผลิตโลหะขั้นมูลฐาน	64
12.การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโลหะประดิษฐ์	164
13.การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	55
14.การผลิตเครื่องจักรสำนักงาน เครื่องทำบัญชีและเครื่องคำนวณ	2
15.การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	32
16.การผลิตอุปกรณ์และเครื่องอุปกรณวิทย์ โทรทัศน์ และการสื่อสาร	6
17.การผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการแพทย์ การวัดความเที่ยงและ อุปกรณ์ที่ใช้ในทางทัศนศาสตร์ นาฬิกา	2
18. การผลิตยานยนต์ รถพ่วง และรถกึ่งรถพ่วง	34
19.การผลิตเครื่องอุปกรณการขนส่งอื่น ๆ	16
20.การผลิตเฟอร์นิเจอร์ รวมทั้งการผลิต ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น	62
รวม	1,145

ที่มา : [http:// www.nso.go.th/provweb/cwdweb/smsakorn/sproj15.htm](http://www.nso.go.th/provweb/cwdweb/smsakorn/sproj15.htm).

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจิราณี ไชยบุรังค์ เกิดเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม 2517 ที่อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย