

.....ปรัชญาคุณภูมิบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล).....

.....ปรัชญา.....

.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....

.....สาขา.....

.....วิทยาศาสตร์ทางทะเล.....

.....ภาควิชา.....

เรื่อง ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรม
มาบตาพุด จังหวัดระยอง

Effects of Petroleum Hydrocarbon Contamination in Map Ta Phut Industrial Estate,
Rayong Province

นามผู้วิจัย นายสุวัจน์ ชุมหรัตน์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(.....ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(.....รองศาสตราจารย์กัลยา วัฒนากร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
อาจารย์พรศรี สุทธนารักษ์, Doctor of Philosophy in Civil Engineering

หัวหน้าภาควิชา
(.....ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาย วรชนะนันท์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(.....รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

Effects of Petroleum Hydrocarbon Contamination
in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province

โดย

นายสุวัจน์ ชูณหะวัณ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ทางทะเล)
พ.ศ. 2558

สุวัจน์ ทุมรัตน์ 2558: ผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณ
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. ปรินญาปรัชญาคุณภูมิบัณฑิต (วิทยาศาสตร์
ทางทะเล) สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จินตนา สและน้อย, วท.ด. 196 หน้า

การศึกษาผลกระทบจากการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ดิน
ตะกอน และสัตว์น้ำ ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือน
พฤษภาคม 2554) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553)
รวมถึงศึกษาความเป็นพิษของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อ
สิ่งมีชีวิตทางทะเล บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่า ปริมาณปิโตรเลียม
ไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลของทุกสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 20 สถานี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.17 ± 0.54
(0.21 – 12.07) ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนมีค่าเฉลี่ย
เท่ากับ $1,133.87 \pm 426.29$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง จัดอยู่ในช่วงระดับภาวะมลพิษปานกลาง -
สูง ($> 100 - 5,000$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) แต่มีความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาอยู่ในระดับต่ำของ
การปนเปื้อนสาร PAHs ในดินตะกอน โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดที่ดินตะกอนได้แก่
fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, pyrene, chrysene และ benzo(b)fluoranthene ซึ่งส่วนใหญ่
แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณนี้มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นหลัก ปริมาณ PAHs ในสัตว์
น้ำจากการเก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,029.16 \pm 502.90$ (367.03 – 2,135.24) นาโนกรัมต่อกรัม
น้ำหนักแห้ง ค่า LC_{50} ของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่ออาร์ทีเมีย ที่ระยะเวลา 24
ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 0.654, 6.620 และ 3.612 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนกุ้งแชบ๊วยมีค่า LC_{50}
ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 0.323 ± 0.094 , 0.193 ± 0.169 และ 0.262 ± 0.228 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตามลำดับ และปลากระพงขาว มีค่า LC_{50} ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 2.125 ± 0.157 , 3.018 ± 0.729
และ 2.987 ± 0.176 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ผลการศึกษายังพบว่าปริมาณการปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล
ดินตะกอน และสัตว์น้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ยังมีค่าอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับค่า
ความเป็นพิษเฉียบพลันของสาร PAHs ที่มีต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจึงไม่มีผลกระทบแบบเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป
อาจจะเกิดการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์น้ำ ก่อให้เกิดความเป็นพิษแบบเรื้อรัง
และมีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบมากยิ่งขึ้นได้

Suwat Chunharat 2015: Effects of Petroleum Hydrocarbon Contamination in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province. Doctor of Philosophy (Marine Science), Major Field: Marine Science, Department of Marine Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jintana Salaenoi, Ph.D. 201 pages.

Effects of the contamination of petroleum hydrocarbons in seawater, sediment and marine organisms during the northeast monsoon season (May 2009 and May 2011) and the southwest monsoon season (October 2009 and August 2010), and determination of toxicity test of various concentrations of petroleum hydrocarbons on marine organisms in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province were investigated. The average of petroleum hydrocarbons content in seawater samples (20 stations), was 2.17 ± 0.54 (0.21 - 12.07) $\mu\text{g/l}$ (chrysene equivalents). PAHs average content in the sediments was shown at $1,133.87 \pm 426.29$ ng/g dry weight, became to the moderate-high level of pollution ($> 100 - 5000$ ng/g dry weight) and low level in ecological risk of the contamination to PAHs in the sediments. Majority of PAHs distributions were fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, pyrene, chrysene and benzo(b)fluoranthene and originally indicated that PAHs came from pyrogenic resources. PAHs deposited in marine organisms were average $1,029.16 \pm 502.90$ ng/g dry weight, which was shown in moderate level of pollution ($100 - 1,000$ ng/g dry weight). LC_{50} of phenanthrene, fluoranthene and SDS on *Artemia* sp. at 24 hours were equal to 0.654, 6.620 and 3.612 mg/l, respectively. LC_{50} at 96 hours of shrimp were 0.323 ± 0.094 , 0.193 ± 0.169 and 0.262 ± 0.228 mg/l, while LC_{50} at 96 hours of sea bass were 2.125 ± 0.157 , 3.018 ± 0.729 and 2.987 ± 0.176 mg/l, respectively.

The study also found that contamination of petroleum hydrocarbons in seawater, sediments and marine organisms in Map Ta Phut Industrial Estate were still shown in low levels comparing to the acute toxicity of the substances PAHs on marine organisms. The total of petroleum hydrocarbons was currently no effects to marine organisms. But in recent years, it may be accumulated in marine organisms until caused chronic toxicity and exposed the high risk to the environment.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. จินตนา สและน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความกรุณาดูแลทั้งในด้านให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ เรียบเรียง ตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนอบรมสั่งสอนในการดำเนินชีวิต กราบขอบพระคุณ รศ.ดร. กัลยา วัฒนากร และ ดร.พรศรี สุทธนารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ ผศ.ดร.จันทนา กาญจน์กมล และ ดร.อนุภรณ์ บุตรสันต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ศุภวัตร กาญจน์อดิเรกกลาก ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ดร.เกรียงไกร สถาพรวานิชย์ ที่ให้คำแนะนำและอนุเคราะห์โปรแกรมสำเร็จรูปในการทดสอบทางพิษวิทยา

ขอขอบคุณ คุณพรทิพย์ ทองบ่อ ที่ให้ความอนุเคราะห์กู้ยืมแว่นขยายสำหรับการทดลองขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสถานีวิจัยประมงศรีราชา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ของหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกคนที่มีส่วนช่วยในงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีการศึกษา 2557

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยอยู่เคียงข้างดูแล ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

สุวัจน์ ชุมรัตน์
กรกฎาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	111
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	115
ภาคผนวก	144
ภาคผนวก ก รายละเอียดและภาพประกอบของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	145
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไครซีน	153
ภาคผนวก ค โครมาโตแกรมและค่ารีเทนชันไทม์ของสารมาตรฐาน PAHs	155
ภาคผนวก ง ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนของแต่ละสถานีตามช่วงเวลาการ เก็บตัวอย่าง	157
ภาคผนวก จ คุณภาพดินตะกอนตลอดระยะเวลาการศึกษา	162
ภาคผนวก ฉ ปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำแต่ละชนิดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	167
ภาคผนวก ช ชนิดสัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดตามช่วง เวลาการเก็บตัวอย่าง	171
ภาคผนวก ซ ภาพและรายละเอียดสัตว์น้ำที่พบบริเวณมาบตาพุด	175
ภาคผนวก ฌ สายใยอาหารบริเวณมาบตาพุดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	191
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	196

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 รูปแบบและโครงสร้างทางเคมีของสาร PAHs 16 ชนิด	9
2 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็งของสาร PAHs 16 ชนิด	10
3 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเมื่อสัมผัสกับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน	18
4 ทำเรือเฉพาะกิจจำนวน 10 ท่า ในเขตอุตสาหกรรมมาบตาพุด	27
5 ปริมาณเรือ สินค้า และมูลค่าสินค้าที่เข้าออกท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด ปี 2552-2555	28
6 รายชื่อสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	32
7 การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลในพื้นที่ต่างๆ	53
8 ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและฤดูกาล	57
9 ปริมาณ PAHs เฉลี่ย (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และระดับภาวะมลพิษในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง	61
10 การแบ่งระดับภาวะมลพิษของ PAHs ในดินตะกอน	63
11 ปริมาณ PAHs รวม (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และระดับภาวะมลพิษของดินตะกอนในพื้นที่ต่างๆ	64
12 อัตราส่วนของ PAHs สำหรับหาแหล่งกำเนิด PAHs ในดินตะกอนของแต่ละสถานีบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	69
13 ค่า ERMq และ TEQ ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง	74
14 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่ต่างๆ	80
15 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของสารทดลองต่ออาร์ทีเมียที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง	93
16 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อกุ้งแชบ๊วยที่ระยะเวลาต่างๆ	96
17 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อปลากระพงขาวที่ระยะเวลาต่างๆ	100
18 การจัดแบ่งระดับสารพิษตามค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสัตว์น้ำ	105
19 ค่า LC ₅₀ ของสาร PAHs และ SDS ต่อสัตว์น้ำชนิดต่างๆ	105

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 รายละเอียดและภาพประกอบสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน 20 สถานี	146
ค1 ค่ารีเทนชันไทม์ (นาที) ของสารมาตรฐาน PAHs	156
ง1 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานี ในเดือนพฤษภาคม 2552	158
ง2 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานี ในเดือนตุลาคม 2552	159
ง3 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานี ในเดือนสิงหาคม 2553	160
ง4 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานี ในเดือนพฤษภาคม 2554	161
จ1 ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา	163
จ2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา	164
จ3 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา	165
จ4 ลักษณะเนื้อดินและขนาดอนุภาคของดินตะกอนตลอดระยะเวลาการศึกษา	166
ฉ1 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำแต่ละชนิดตาม ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	168
ช1 ชนิดสัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	172

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างทางเคมีของสารบีโตร์เลียมไฮโดรคาร์บอน	7
2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม	13
3 พฤติกรรมของบีโตร์เลียมไฮโดรคาร์บอนเมื่อรั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล	16
4 กลไกการการรับสารไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ	17
5 กลุ่มนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่มาบตาพุด	23
6 ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรมในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	24
7 แผนผังที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	25
8 ทำเทียบเรือในเขตท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด	27
9 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	31
10 สรุปขั้นตอนการสกัดสาร PAHs ในตัวอย่างดินตะกอน	38
11 สรุปขั้นตอนการสกัดสาร PAHs ในตัวอย่างสัตว์น้ำ	39
12 ปริมาณบีโตร์เลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล	47
13 การแพร่กระจายของบีโตร์เลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	49
14 การแพร่กระจายของบีโตร์เลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	50
15 ปริมาณ PAHs รวม (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2552 (a) ตุลาคม 2552 (b) สิงหาคม 2553 (c) และ พฤษภาคม 2554 (d)	55
16 การแพร่กระจายของปริมาณ PAHs เฉลี่ยทั้งหมด (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีจำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	58
17 การแพร่กระจายของ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 การแพร่กระจายของ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	60
19 ปริมาณองค์ประกอบของ PAHs ในดินตะกอน (3 – 6 วงอะโรมาติก)	66
20 สัดส่วนชนิดของ PAHs (ร้อยละ) ที่พบในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	66
21 โครมาโตแกรมของ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนสถานี W1 (ปากคลองปลา) W5 (เขื่อนบ้านหนองแฟบ) M3 ปากคลองชากหมาก M6 (ปากทางเข้าอ่าวมาบตาพุด) และ M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร)	67
22 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนจำนวน 20 สถานี จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ Ant/Ant+Phe และ Flt/Flt+Pyr	70
23 ลักษณะเนื้อดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	76
24 ลักษณะเนื้อดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	77
25 ปริมาณ PAHs เฉลี่ย (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำแต่ละชนิด	79
26 ปริมาณองค์ประกอบของ PAHs ในสัตว์น้ำแต่ละชนิด (3 – 6 วงอะโรมาติก)	82
27 สัดส่วนชนิดของ PAHs (ร้อยละ) ที่พบในสัตว์น้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	82
28 โครมาโตแกรมของ PAHs ที่พบในตัวอย่างสัตว์น้ำ ปูทะเล (a) ปูม้า (b) กุ้งแชบ๊วย (c) ปลาสิ่กุน (d) และ ปลาจวดเทา (e)	83
29 จำนวนชนิดพันธุ์สัตว์น้ำที่พบตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและฤดูกาล	87
30 กลุ่มสัตว์น้ำที่พบโดยเก็บรวบรวมจากชาวประมงบริเวณหาดปลา หาดพูน เขื่อนบ้านหนองแฟบ และบ้านตากวน ในช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน ซึ่งแบ่งตามชนิดของอาหารที่กิน	88
31 ระยะเวลาในการเพาะฟักและพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะต่างๆ ของอาร์ทีเมีย	91
32 การตายสะสมของอาร์ทีเมีย เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง	92
33 การตายสะสมของกุ้งแชบ๊วย เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
34 ค่า LC_{50} ของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วยที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง	97
35 การตายสะสมของปลากะพงขาว เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24 48, 72 และ 96 ชั่วโมง	99
36 ค่า LC_{50} ของ phenanthrene fluoranthene และ SDS ต่อปลากะพงขาวที่ระยะเวลาต่างๆ	101
37 ความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่มีต่ออาร์ทีเมีย กุ้งแชบ๊วย และปลากะพงขาว ในระยะเวลาต่างๆ	103

ภาพผนวกที่

ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครซีน	154
ค1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน PAHs	156
ฅ1 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2552	192
ฅ2 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนตุลาคม พ.ศ.2552	193
ฅ3 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2553	194
ฅ4 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2554	195

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PAHs	=	Polycyclic aromatic hydrocarbons
Nap	=	Naphthalene
2MN	=	2-Methylnaphthalene
1MN	=	1-Methylnaphthalene
Acy	=	Acenaphthylene
Acp	=	Acenaphthene
Flr	=	Fluorene
Phe	=	Phenanthrene
Ant	=	Anthracene
Flt	=	Fluoranthene
Pyr	=	Pyrene
BaA	=	Benzo(a)anthracene
Chr	=	Chrysene
BbF	=	Benzo(b)fluoranthene
BkF	=	Benzo(k)fluoranthene
BaP	=	Benzo(a)pyrene
IcP	=	Indeno(1,2,3-cd)pyrene
DaA	=	Dibenzo(a,h)anthracene
BgP	=	Benzo(g,h,i)perylene

ผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

Effects of Petroleum Hydrocarbon Contamination in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong Province

คำนำ

ปิโตรเลียมเป็นสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยอาจมีกำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน ปนอยู่ด้วย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบเป็นสารผสมที่มีโมเลกุลซับซ้อน แบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน ในปัจจุบันปัญหา มลพิษทางทะเลอันเนื่องมาจากน้ำมันนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญ และยังมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่จำเป็นต่อการพัฒนาและการขยายตัวทางภาคอุตสาหกรรมและ ทางเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ความต้องการในการใช้น้ำมันเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ถึงแม้ว่าจะมีการ รณรงค์ให้ใช้พลังงานอย่างอื่นมาทดแทนน้ำมันก็ตาม ดังนั้นจึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมัน สำเร็จรูปจากต่างประเทศ การขนส่งน้ำมันจากแหล่งผลิตไปยังภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกส่วนใหญ่ขนส่ง ทางเรือบรรทุกน้ำมัน ซึ่งสามารถขนส่งได้ในปริมาณมาก มีความสะดวกและประหยัด ทำให้โอกาส ที่น้ำมันจะรั่วไหลลงสู่ทะเลจึงมีสูง แหล่งกำเนิดของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในทะเลส่วนใหญ่ มาจากการคมนาคมและการขนส่งทางเรือ รองลงมาคือ น้ำทิ้งจากชุมชนและแหล่งอุตสาหกรรม และกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

น้ำมันดิบเป็นสารเคมีประเภทหนึ่งที่สลายตัวได้ยาก มีความเป็นพิษสูง สามารถ แพร่กระจายไปทั่วพื้นน้ำได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวาง หากเกิดการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลใน ปริมาณมากหรือมีการปนเปื้อนติดค้างอยู่เป็นเวลานาน จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งในรูปที่เป็นพิษ แบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ตลอดจนการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม ทางทะเลสามารถสะสมในดินตะกอนและสิ่งมีชีวิต เกิดการถ่ายทอดผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ส่งผล กระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศน์ทางทะเล รวมทั้งแหล่งทำการประมงและแหล่ง เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง โดยเฉพาะสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons: PAHs) ที่เป็นกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบได้อย่างกว้างขวาง ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล จัดอยู่ในกลุ่มสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เผาไหม้ได้ยาก สลายตัวช้า และ คงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้นาน มีความเป็นพิษสูง เป็นสารก่อมะเร็ง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง พันธุกรรม การกลายพันธุ์ เกิดความผิดปกติของตัวอ่อนในสัตว์น้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ รวมทั้งมนุษย์เมื่อได้รับสาร PAHs ในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะชนิดต่างๆ ที่

มีความสัมพันธ์ต่อระบบการทำงานในร่างกาย ท้ายที่สุดก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์ต่างๆ อันเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของจังหวัดระยอง ประกอบด้วยอุตสาหกรรมหนักและอุตสาหกรรมเบา เช่น โรงแยกก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี โรงกลั่นน้ำมัน และมีท่าเรือน้ำลึกที่มีศักยภาพสูง ซึ่งเป็นท่าเรืออุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ ทำให้การเดินเรือในทะเลบริเวณนี้มีความหนาแน่น เนื่องจากใช้เป็นเส้นทางในการขนถ่ายสินค้าประเภทต่างๆ รวมทั้งน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สำคัญแห่งหนึ่ง ทำให้โอกาสที่น้ำมันจะรั่วไหลลงสู่ทะเลจึงมีสูง สาเหตุของน้ำมันรั่วอาจเกิดจากอุบัติเหตุทางเรือ เช่น เรือชนกัน เรือชนหินโสโครก เรืออับปาง และกิจกรรมการเดินเรือในขั้นตอนของการขนถ่ายน้ำมัน การถ่ายน้ำมันเครื่อง และการระบายน้ำจากท้องเรือและท่าเทียบเรือ กรมควบคุมมลพิษ (2545) ได้ทำการจัดกลุ่มให้บริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันที่สูงมากโดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ กระแสน้ำและลมที่ทำให้เกิดการพัดพาคราบน้ำมันเข้าสู่ชายฝั่ง ประกอบกับบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงมีการทำประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งอยู่เป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีลำคลองสายต่างๆ ที่ไหลผ่านนิคมอุตสาหกรรม ชุมชน ซึ่งคลองจะเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมก่อนจะปล่อยออกสู่ทะเลที่เป็นแหล่งรองรับของเสียขนาดใหญ่ บริเวณนี้จึงมีโอกาสสูงที่จะเกิดมลภาวะทางทะเล ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเล ปริมาณทรัพยากรสัตว์น้ำ และการสะสมของสารพิษในสิ่งมีชีวิต

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาใน 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ศึกษาการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ดินตะกอน และสิ่งมีชีวิตทางทะเล เป็นการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม ส่วนที่ 2 ศึกษาความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเล เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการทำนายผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเล เพื่อสามารถบ่งชี้ถึงสภาวะการปนเปื้อนและการประเมินความเสี่ยงของการรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณพื้นที่นี้ในการจัดเตรียมแนวทางการแก้ไขปัญหาและเป็นแนวทางสำหรับการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานเฉพาะพื้นที่ รวมทั้งแผนการติดตามตรวจสอบในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
2. เพื่อศึกษาความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเล

การตรวจเอกสาร

1. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ปิโตรเลียม (petroleum) มาจากคำในภาษาละตินสองคำ คือ petra แปลว่า หิน และ oleum แปลว่า น้ำมัน เมื่อนำคำสองคำมารวมกันจะเป็นคำว่า ปิโตรเลียม หมายถึง น้ำมันที่ได้จากหิน ดังนั้น ปิโตรเลียม มีความหมายถึง น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและอยู่ในสภาพอิสระ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ปิโตรเลียมที่ได้จากน้ำมันดิบซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดมีสีดำ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่าย ส่วนที่เหลือเป็นสารกัมมะถัน ไนโตรเจน และสารประกอบออกไซด์อื่นๆ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.80 - 0.97 ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเบากว่าน้ำ ทำให้น้ำมันดิบลอยอยู่เหนือน้ำ (อำพล และ สายันต์, 2545; ประเสริฐ และคณะ, 2557)

สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่มีธาตุคาร์บอน (ร้อยละ 82 - 87) และไฮโดรเจน (ร้อยละ 11-15) เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีกำมะถัน ไนโตรเจน ออกซิเจน และแร่ธาตุอื่นๆ ปนอยู่เพียงเล็กน้อย (ประเสริฐ และคณะ, 2557) ปิโตรเลียมเป็นสารผสมที่มีโมเลกุลซับซ้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน (ปราโมทย์ และ นุรักษ์, 2543) แสดงดังภาพที่ 1

1. สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นสารอินทรีย์ที่มีเฉพาะธาตุคาร์บอนและธาตุไฮโดรเจน แบ่งตามโครงสร้างโมเลกุลได้ 2 กลุ่มหลัก (สุรินทร์, 2547; NCS Pearson, 2014) ได้แก่

1.1 อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) สามารถแบ่งตามการจัดโครงสร้างของอะตอมคาร์บอนในโมเลกุลได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.1.1 อะไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (acyclic hydrocarbons) มีอะตอมคาร์บอนต่อกันเป็นห่วงโซ่เปิด แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) แอลเคน (alkanes) หรือ พาราฟิน (paraffins) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbon) คาร์บอนแต่ละอะตอมต่อกับไฮโดรเจน 4 อะตอมแบบเป็นโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n+2} เรียกกลุ่มนี้ว่า paraffinic hydrocarbon ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของสารกลุ่มนี้เป็นหลัก เรียกว่า น้ำมันดิบชนิดพื้นฐานพาราฟิน (paraffin base crude oil) (ประเสริฐ และคณะ, 2557; Schlumberger Limited, 2015)

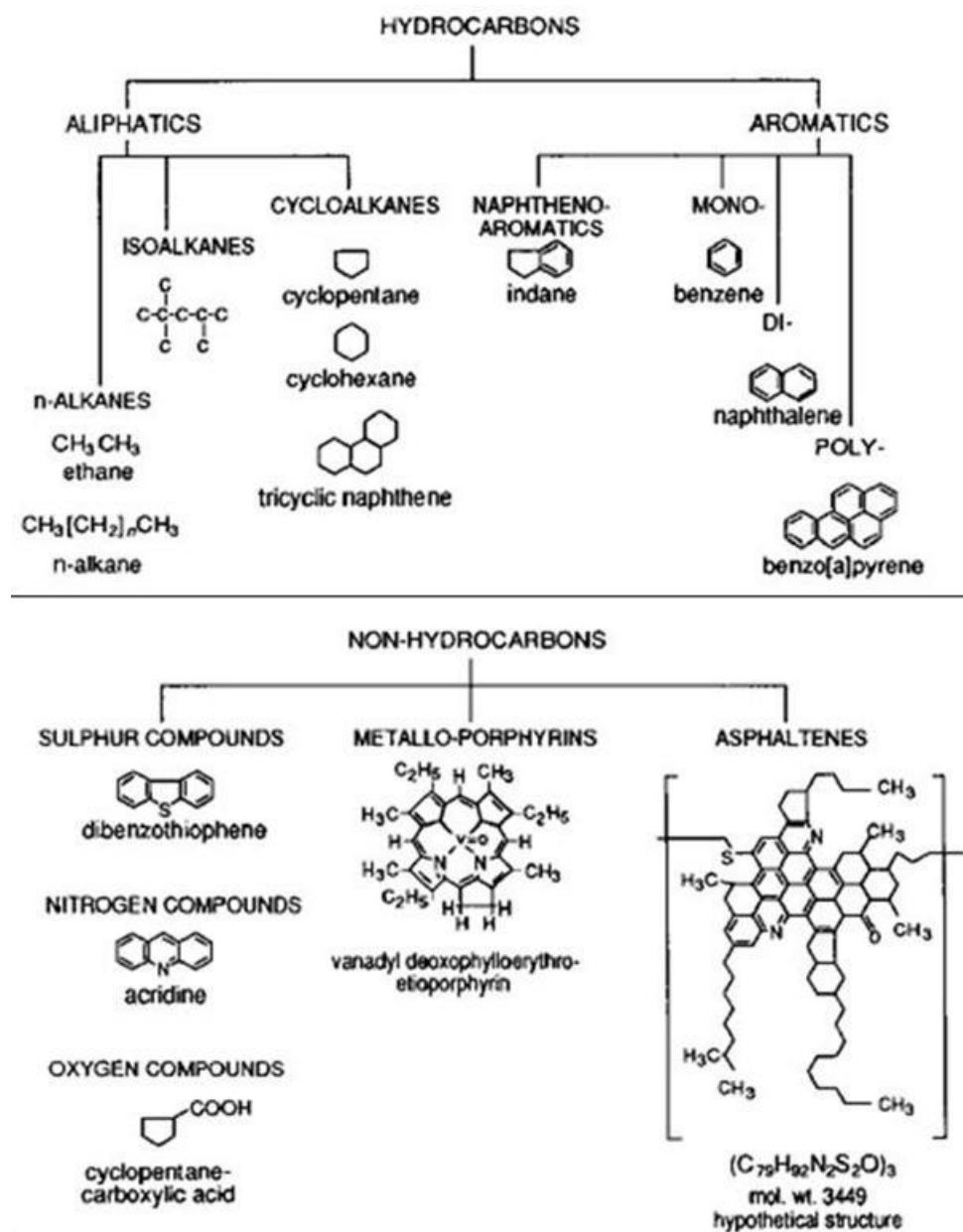
2) แอลคีน (alkenes) หรือ โอลิฟิน (olefins) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydrocarbons) ในโมเลกุลมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนอย่างน้อย 1 พันธะ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n} เรียกกลุ่มนี้ว่า olefinic hydrocarbons ซึ่งไม่พบในน้ำมันดิบ แต่พบในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากขบวนการแยกสลายน้ำมันให้เป็นโมเลกุลเล็กลงโดยอาศัยความร้อนหรือสารเร่งปฏิกิริยา (cracking) (ชัยยุทธ และ เลิศณรงค์, 2543; ปราโมทย์ และ นุรักษ์, 2543)

3) แอลไคน์ (alkynes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะสามอยู่ในโมเลกุลอย่างน้อย 1 พันธะ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n-2} (ชัยยุทธ และ เลิศณรงค์, 2543)

1.1.2 อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (alicyclic hydrocarbons) หรือ ไซโคลอัลเคน (cycloalkanes) หรือ แนฟทีน (naphthene) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนแบบห่วงโซ่ปิดเป็นวงแหวน มีจำนวนอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม ในทุกอะตอมของคาร์บอน มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n} เรียกกลุ่มนี้ว่า naphthenic hydrocarbon น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของสารแนฟทีนเป็นหลัก เรียกว่า น้ำมันดิบชนิดพื้นฐานแอสฟัลต์ (asphalt base crude oil) (ประเสริฐ และคณะ, 2557; สุนทรี, 2557; Schlumberger Limited, 2015)

1.2 อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons) หรือ แอรีน (arenes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว มีคาร์บอน 6 อะตอมต่อกันเป็นวงอย่างน้อย 1 วง เป็นองค์ประกอบภายในวงมีพันธะคู่เดียวกับพันธะคู่ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n-6} โดยมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำและเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน (C_6H_6) พบในน้ำมันเบนซิน สำหรับวงแหวนเบนซินที่เชื่อมต่อกัน 2 วง ได้แก่ แนฟทาลีน พบในน้ำมันก๊าด

และน้ำมันดีเซล ส่วนวงแหวนเบนซีนที่มีหลายวงแหวนติดกัน พบอยู่ในสารแอสฟัลทีน (asphaltene) ในกากน้ำมันและยางมะตอย (ปราโมทย์ และ นุรักษ์, 2543; สุรินทร์, 2547; สุนทรื, 2557)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wells *et al.* (1993)

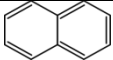
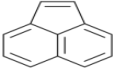
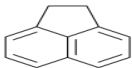
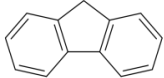
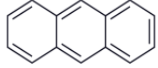
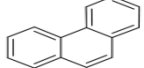
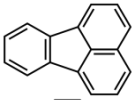
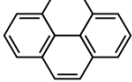
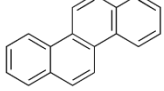
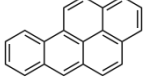
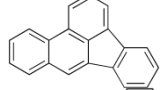
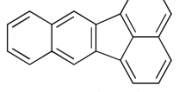
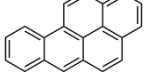
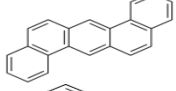
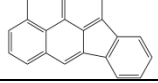
สารกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons: PAHs) หรือ โพลีนิวเคลียร์อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polynuclear aromatic hydrocarbons) เป็นกลุ่มสารประเภทไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วง เชื่อมต่อกัน โดยวงอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ เกิดเป็นสารประกอบที่แตกต่างกันมากกว่า 100 ชนิด ส่วนใหญ่จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง คือ จุดเดือดระหว่าง 150 - 325 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101 - 438 องศาเซลเซียส PAHs เป็นพวกไม่มีขั้วจึงละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ความสามารถในการละลายน้ำและการระเหยของ PAHs จะลดลงตามน้ำหนักโมเลกุลหรือจำนวนวงแหวนที่เพิ่มขึ้น (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ, 2543) PAHs แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (Wick *et al.*, 2011) ได้แก่

1) สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight PAHs) คือ สารที่มีวงแหวนเบนซีนน้อยกว่า 4 วง ได้แก่ naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, anthracene และ phenanthrene

2) สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight PAHs) คือ สารที่มีวงแหวนเบนซีนตั้งแต่ 4 วงขึ้นไป เช่น fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene และ benzo(a)pyrene เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 1

สาร PAHs เป็นสารมลพิษที่สามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน ซึ่งในแต่ละชนิดมีลักษณะและความเป็นพิษที่ต่างกัน สามารถก่อให้เกิดมะเร็ง เหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมนำไปสู่การกลายพันธุ์ และก่อให้เกิดความผิดปกติของตัวอ่อนในสิ่งมีชีวิตได้ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency: US-EPA) กำหนดให้สาร PAHs 16 ชนิด ได้แก่ naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, anthracene, phenanthrene, fluoranthene, pyrene, chrysene, benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenz(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene และ indeno(1,2,3-cd)pyrene เป็นสารมลพิษลำดับที่ 2 รองจากกลุ่มโลหะหนัก และไซยาไนด์ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ เป็นสารพิษอันตรายที่ควรให้ความสำคัญในอันดับต้นๆ จัดอยู่ในกลุ่มของสารก่อมลพิษที่ต้องกำจัดออกจากสิ่งแวดล้อมอย่างเร่งด่วน US-EPA (1993); International Agency for Research on Cancer [IARC] (2010) ได้มีการจัดกลุ่ม PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รูปแบบและโครงสร้างทางเคมีของสาร PAHs 16 ชนิด

PAHs name	Abbreviation	Formula	Molecular Weight	Structure
Naphthalene	Nap	C ₁₀ H ₈	128.17	
Acenaphthylene	Acy	C ₁₂ H ₈	152.20	
Acenaphthene	Ace	C ₁₂ H ₁₀	154.21	
Fluorene	Fl	C ₁₃ H ₁₀	166.22	
Anthracene	An	C ₁₄ H ₁₀	178.23	
Phenanthrene	Phe	C ₁₄ H ₁₀	178.23	
Fluoranthene	Fluo	C ₁₆ H ₁₀	202.26	
Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀	202.26	
Chrysene	Chry	C ₁₈ H ₁₂	228.29	
Benzo[a]anthracene	B[a]A	C ₁₈ H ₁₂	228.29	
Benzo[b]fluoranthene	B[b]F	C ₂₀ H ₁₂	252.32	
Benzo[k]fluoranthene	B[k]F	C ₂₀ H ₁₂	252.32	
Benzo[a]pyrene	B[a]P	C ₂₀ H ₁₂	252.32	
Dibenz[a,h]anthracene	D[a,h]A	C ₂₂ H ₁₄	278.35	
Benzo[g,h,i]perylene	B[g,h,i]P	C ₂₂ H ₁₂	276.34	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	C ₂₂ H ₁₂	276.34	

ที่มา: คัดแปลงจาก Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR] (1995)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และการแบ่งกลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็งของ PAHs 16 ชนิด

PAHs	Boiling point (°C)	Melting point (°C)	Water solubility (mg/l)	Vapor Pressure at 20 °C (Pa)	Log K _{ow} ^a	Carcinogenic potency	
						IARC ^b	US-EPA ^c
Nap	218	80	31	11.866	3.37	2B	D
Acy	265	92	16.1	3.866	4.00		
Ace	279	96	3.8	0.500	3.92		
Flr	293	116	1.9	0.432	4.18	3	D
Ant	340	216	0.045	3.40×10 ⁻³	4.54	3	D
Phe	340	101	1.1	9.07×10 ⁻²	4.57	3	D
Flt	293	111	0.26	1.08×10 ⁻³	5.22	3	D
Pyr	360	149	0.132	5.67×10 ⁻⁴	5.18	3	D
Chr	448	255	0.0015	1.04×10 ⁻⁶	5.91	3	B2
BaA	400	158	0.011	2.05×10 ⁻⁵	5.91	2A	B2
BbF	-	167	0.0015	1.07×10 ⁻⁵	5.80	2B	B2
B(k)F	480	217	0.0008	1.28×10 ⁻⁸	6.00	2B	B2
BaP	496	179	0.0038	6.52×10 ⁻⁷	5.91	2A	B2
DhA	-	262	0.0005	2.80×10 ⁻⁹	6.75	2A	B2
BgP	-	222	0.00026	1.33×10 ⁻⁸	6.50	3	D
IcP	-	163	0.062	1.87×10 ⁻⁸	6.50	2B	B2

หมายเหตุ: ^a log K_{ow} = ค่า log ของ n-octanol-water partition coefficient, ^b International Agency for Research on Cancer (IARC), 2A = Probably carcinogenic to humans (sufficient evidence for human cancer), 2B = Possibly carcinogenic to humans (sufficient evidence for animal cancer and possible evidence for human cancer), 3 = Not classifiable as to human and animals (inadequate evidence for animal cancer and evidence for mutagenicity), Blank = Not tested for human carcinogenicity, ^c United States Environmental Protection Agency, B2 = Probably carcinogenic to humans (inadequate evidence in human cancer and sufficient evidence in animal cancer, D = Not classifiable as to human and animal (inadequate evidence in animal cancer)

ที่มา: US-EPA (1993); ATSDR (1995); IARC (2010); Wick *et al.* (2011)

2. สารประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (non hydrocarbons)

สารประกอบอื่นในน้ำมันดิบ ประกอบด้วย กำมะถัน (ร้อยละ 0.04 - 5) ออกซิเจน (ร้อยละ 0.5) ไนโตรเจน (ร้อยละ 0.1) สารประกอบอินทรีย์ ได้แก่ น้ำ และเกลือ รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะพิกวาเนเดียมและนิกเกิล (ปราโมทย์ และ นุรักษ์, 2543)

2. แหล่งกำเนิดปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

แหล่งกำเนิดของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่

2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (natural source)

เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพโดยการสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ เช่น แพลงก์ตอนพืช สาหร่าย หรือแบคทีเรียที่สามารถสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเป็น C_{15} , C_{17} , C_{19} และ C_{21} ได้ และกระบวนการทางธรณีวิทยา ได้แก่ การซึมผ่านตามธรรมชาติของน้ำมันดิบ ซึ่งการเกิดน้ำมันดิบจากการทับถมของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่ำถึงปานกลางจะมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 0.2-7.0 (สุวัจน์, 2549) รวมทั้งการระเบิดของภูเขาไฟและไฟไหม้ป่า ทำให้อาจมีปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเลทั่วโลกประมาณ 0.250 เมตริกตันต่อปี (Clark, 2001)

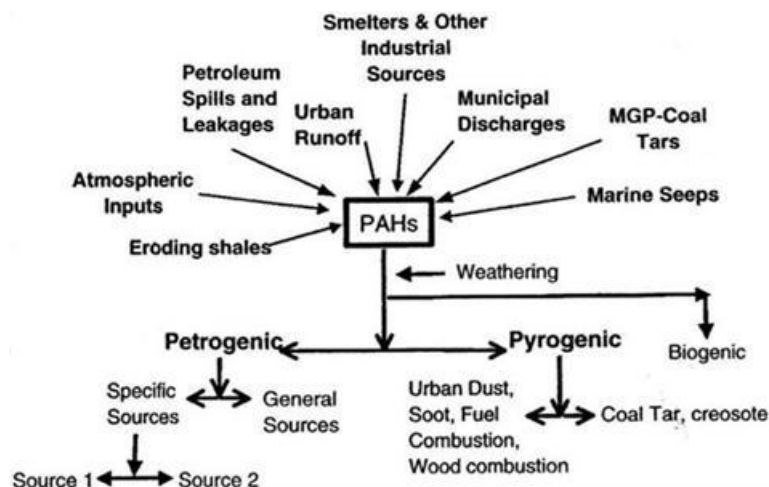
2.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมหรือการกระทำของมนุษย์ (anthropogenic source)

กิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเลมากที่สุดคือ การทิ้งของเสียจากอาคารบ้านเรือน ชุมชน อุตสาหกรรมลงลำคลองและไหลลงสู่ทะเล รวมทั้งการเททิ้งของเสียลงในมหาสมุทรและจากชั้นบรรยากาศ คิดเป็นร้อยละ 65.2 นอกจากนี้เกิดจากกิจกรรมเกี่ยวกับการขนส่งทางเรือ เช่น การอัปปาง โคนกันของเรือบรรทุกน้ำมัน การลักลอบปล่อยน้ำล้างถังบรรจุน้ำมัน น้ำล้างเครื่องยนต์ น้ำอับเฉาเรือ และน้ำถ่วงท้องเรือ คิดเป็นร้อยละ 26.2 และอีกร้อยละ 8.5 เกิดจากกิจกรรมที่ตั้งอยู่กับที่ เช่น โรงกลั่นน้ำมัน คลังน้ำมัน อุตสาหกรรมชายฝั่ง ทำเทียมเรือ และแท่นขุดเจาะน้ำมันนอกชายฝั่ง (Kennish, 1997)

สำหรับแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่พบมากที่สุดคือ เกิดจากการรั่วไหลของปิโตรเลียม ประมาณ 170,000 เมตริกตันต่อปี รองลงมาคือ มาจากชั้นบรรยากาศ น้ำทิ้ง การชะล้างจากแผ่นดิน และการสังเคราะห์โดยสิ่งมีชีวิต ตามลำดับ (Kennish, 1997) การปนเปื้อนของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อมทางทะเล สามารถจำแนกตามกระบวนการเกิดสารได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่

1) สาร PAHs ที่เกิดจากปิโตรเลียม (petrogenic sources) คือ สาร PAHs ที่มีอยู่ในน้ำมันปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ โมเลกุลของสารกลุ่มนี้มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 2-4 วง ประกอบด้วยสารประกอบพวก alkyl-substituted aromatic hydrocarbons เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารที่พบบ่อยได้แก่ phenanthrene, anthracene และ chrysene โดยมีแหล่งกำเนิดจากการคมนาคมขนส่งทางเรือ ได้แก่ การขนส่งน้ำมัน การเกิดอุบัติเหตุของเรือบรรทุกน้ำมันหรือเรือสินค้า และการปล่อยทิ้งน้ำอับเฉาใต้ท้องเรือ

2) สาร PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (pyrogenic sources) มีจำนวนวงแหวนเบนซีน 3-5 วง ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย unsubstituted aromatic hydrocarbons และ heterocyclic aromatic hydrocarbons เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่พบบ่อยได้แก่ fluoranthene และ pyrene โดยมีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion process) ในรถยนต์ เครื่องยนต์ เครื่องจักรต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรม ถ่านหิน และไฟไหม้ป่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้สามารถปนเปื้อนลงสู่ทะเลได้โดยการตกลงมาจากบรรยากาศที่อยู่ในรูปละอองจากการเผาไหม้และละอองในอากาศโดยปะปนมากับน้ำฝน นอกจากนี้มวลของอากาศที่พัดผ่านโรงงานอุตสาหกรรมมักมีสาร PAHs เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 20 - 30 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รวมทั้งเกิดจากการชะล้างน้ำมันเครื่องเก่ามากับน้ำทิ้งชุมชนและอุตสาหกรรม น้ำจากแม่น้ำ และน้ำที่ไหลผ่านตัวเมืองลงสู่ทะเล เมื่อสาร PAHs ลงสู่ทะเลจะดูดซับติดกับอนุภาคตะกอนและสะสมอยู่ในตะกอนพื้นทะเล แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Boehm (2006)

3. พฤติกรรมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

เมื่อปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพที่แตกต่างกันไปตามระยะเวลา เรียกว่า weathering processes (ITOPF, 2011a) แสดงดังภาพที่ 3 ดังนี้

3.1 ด้านกายภาพ

3.1.1 การแพร่กระจาย (spreading) เป็นกระบวนการแรกที่พบหลังจากการรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเล เกิดเป็นคราบน้ำมันเรียกว่า oil slick การแพร่กระจายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความหนืดของน้ำมัน โดยน้ำมันที่มีความหนืดต่ำสามารถแพร่กระจายไปบนผิวน้ำได้เร็วกว่าน้ำมันที่มีความหนืดสูงๆ น้ำมันที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจนกำมะถัน และออกซิเจนผสมอยู่จะเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำได้ดีเพราะมีแรงตึงผิวสูง รวมทั้งอัตราการไหลและระยะเวลาที่น้ำมันตกค้างในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกระแสน้ำ กระแสน้ำ คลื่น การขึ้นลงของน้ำทะเล และการระบายของแม่น้ำ คลอง ที่อยู่ในบริเวณนั้น ซึ่งทะเลที่มีคลื่นลมแรงช่วยให้คราบน้ำมันแตกกระจายจนมีขนาดเล็กลง (ITOPF, 2004)

3.1.2 การระเหย (evaporation) น้ำมันที่รั่วไหลส่วนใหญ่ระเหยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรทั้งหมด อัตราการระเหยจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลา ปัจจัยที่มีอิทธิพลให้อัตราการระเหยเพิ่มขึ้น ได้แก่ พื้นที่ผิวหน้า น้ำทะเล ความเร็วลม ความเข้มข้นของแสงแดด และองค์ประกอบของน้ำมัน สารที่ระเหยได้ง่ายคือ คีโรซีน แก๊สโซลีน อัลเคน และอะโรมาติก โดยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำมันเบนซินระเหยได้ประมาณร้อยละ 50 ภายในระยะเวลา 7 - 8 นาที ส่วนน้ำมันดิบ ภายในระยะเวลา 12 ชั่วโมง ระเหยได้ร้อยละ 25 ของน้ำมันที่รั่วไหล (Clark, 2001; The National Academies Press, 2003; ITOPF, 2011a)

3.1.3 การแตกตัว (dispersion) การกระทำของคลื่นและกระแสน้ำที่บริเวณผิวน้ำน้ำทะเล ทำให้คราบน้ำมันเกิดกระบวนการแตกตัวกลายเป็นหยดน้ำขนาดต่างๆ ผสมเข้าไปในชั้นน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำภายใต้สภาพคลื่นที่มีความรุนแรง หยดน้ำมันอาจลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเป็นแผ่นฟิล์มกระจายออกไป โดยหยดน้ำมันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 70 ไมโครเมตร จะเป็นสารแขวนลอยไปกับการเคลื่อนตัวของน้ำทะเล (ITOPF, 2011a)

3.1.4 การตกตะกอน (sedimentation) การตกตะกอนอาจเกิดจากกระบวนการระเหยที่ทำให้น้ำมันมีความหนาแน่นและความหนืดเพิ่มขึ้น หรืออาจถูกดูดซับติดกับผิวของอนุภาคที่แขวนลอยของตะกอนหรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำแล้วจมลง เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำจึงสามารถจมตัวลงสู่ท้องน้ำและทับถมในชั้นดินตะกอนได้ นอกจากนี้บางส่วนถูกพัดพาเข้าสู่ฝั่งจนกลายเป็นก้อนน้ำมัน (tar ball) (Clark, 2001; ITOPF, 1991, 2011a)

3.2 ด้านเคมี

3.2.1 การเกิดอิมัลชัน (emulsification) องค์ประกอบของน้ำมันส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ เมื่อมีแรงกระทำจากคลื่นลม กระแสน้ำ จะเปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยของน้ำมันที่ผสมกับน้ำ มักเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลา 8 ชั่วโมงแรกหลังจากมีการรั่วไหล โดยชนิดที่อนุภาคของน้ำมันกระจายในน้ำ (oil-in-water) ประกอบด้วยน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ สามารถกระจายไปได้มากกว่า 200 กิโลเมตร ส่วนอิมัลชันชนิดที่อนุภาคของน้ำกระจายในน้ำมัน (water-in-oil) ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 70-80 เมื่อเกิดอิมัลชันแล้วทำให้เกิดคราบน้ำมันลอยอยู่เป็นชั้นค่อนข้างหนาบริเวณผิวน้ำ มีความหนืดเพิ่มขึ้น ลักษณะเป็นกึ่งของแข็งที่เรียกว่า ช็อกโกแลตมูส (chocolate mousse)

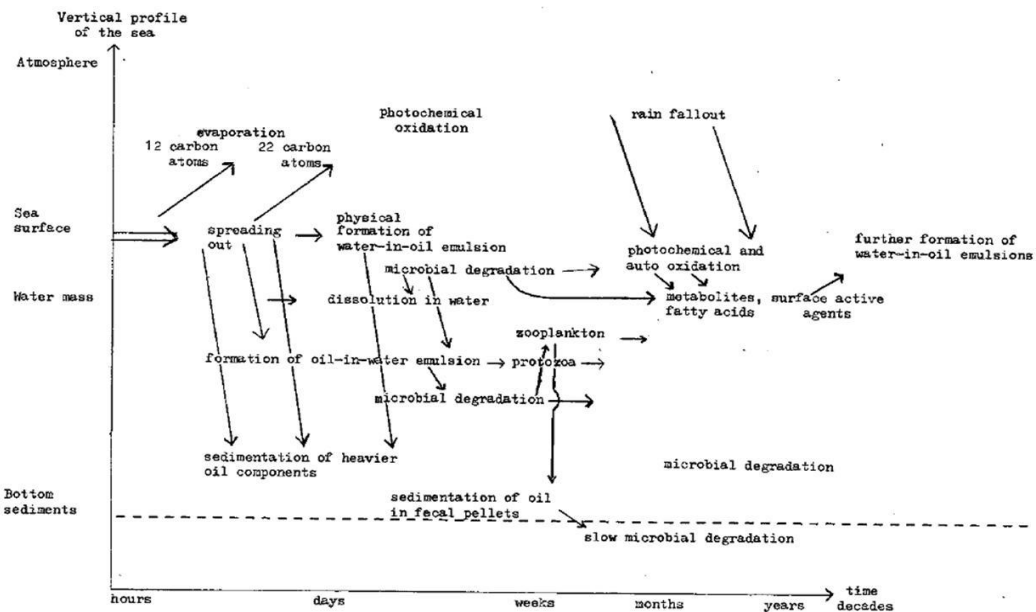
ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันที่มีโมเลกุลสูง มีนิเกิล วาเนเดียมความเข้มข้นมากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีแอสฟัลทีน (asphaltene) ผสมอยู่มากกว่าร้อยละ 0.5 ทำให้สามารถคงรูปอยู่ได้นาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544; ITOF, 2004, 2011a)

3.2.2 การละลาย (dissolution) สารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการละลายน้ำแตกต่างกัน โดยกลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่วนสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และสารไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถแพร่กระจายและเจือจางกับน้ำได้เร็ว โดยเบนซีนมีความสามารถในการละลายน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไครซีนมีความสามารถในการละลายน้ำน้อยที่สุด (The National Academic Press, 2003; ITOF, 2004, 2011a)

3.2.3 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (photo-oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนในอากาศ น้ำมันถูกออกซิไดซ์ด้วยแสงจากดวงอาทิตย์ โดยทั่วไปแผ่นฟิล์มน้ำมันสามารถสลายไปได้เร็วกว่าร้อยละ 0.1 ต่อวัน สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะเปลี่ยนสภาพได้เร็วกว่าสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน และกลุ่มอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดที่โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่กิ่งจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าชนิดที่เป็นโซ่ตรง และปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้เร็วกว่าน้ำมันดิบ (Clark, 2001; ITOF, 2004, 2011a)

3.3 ด้านชีวภาพ

การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการกระทำของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำทะเล เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ รา สาหร่าย และโปรโตซัว ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากไปย่อยสลายคราบน้ำมัน ซึ่งสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความจำเพาะเจาะจงในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนแต่ละกลุ่มได้แตกต่างกัน ประสิทธิภาพในการย่อยสลายขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จำนวนจุลชีพ ปริมาณออกซิเจน ความสมบูรณ์ของธาตุอาหารที่สำคัญต่อเจริญเติบโตของจุลชีพ (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) และสภาพแวดล้อม เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพเพิ่มขึ้น รวมทั้งอัตราการระเหยของไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำมันลดลง ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2544; ITOF, 2011a)



ภาพที่ 3 พฤติกรรมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเมื่อรั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเล

ที่มา: GESAMP (1977)

4. ผลกระทบของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ปัญหาจากการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนนับว่าเป็นมลพิษทางทะเลที่สำคัญ ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อมทางทะเลทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ส่งผลกระทบทั้งทางด้านกายภาพ ชีวภาพ และเศรษฐกิจ สังคม ดังนี้

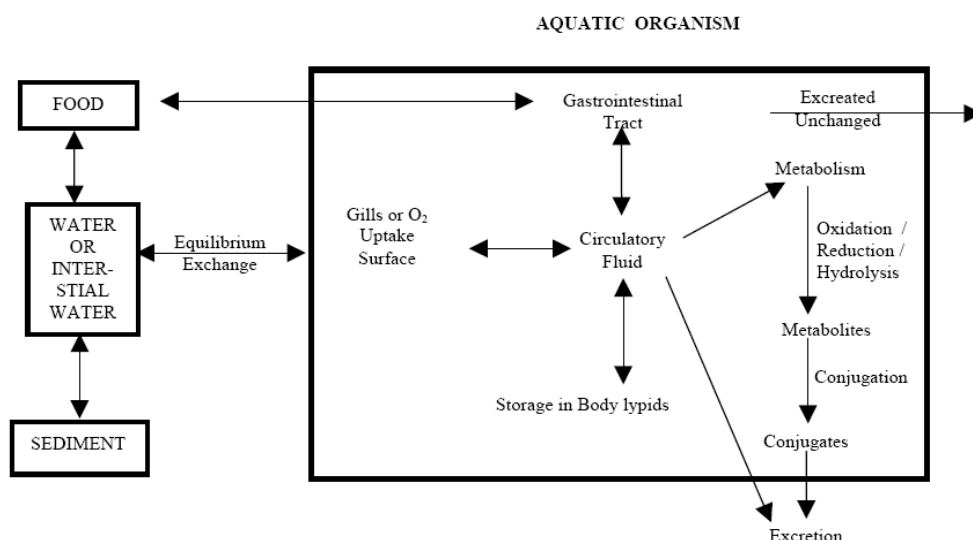
4.1 ผลกระทบด้านกายภาพ

เมื่อเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะบดบังให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านลงสู่พื้นท้องน้ำได้น้อยลง ความโปร่งใสของน้ำลดลง นอกจากนี้ น้ำยังทำหน้าที่เป็นเกราะกั้นระหว่างน้ำกับอากาศ มีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงสู่พื้นน้ำได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งน้ำมันสามารถดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ได้ ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นกว่าปกติ โดยน้ำมันดิบ

ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 34 เป็น 45 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 4 ชั่วโมง (ชรินทร์, 2533) และบางส่วนจมลงสู่พื้นท้องน้ำไปสะสมอยู่ในดินตะกอน

4.2 ผลกระทบด้านชีวภาพ

สิ่งมีชีวิตในทะเลสามารถรับสารไฮโดรคาร์บอนโดยเฉพาะที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ละลายน้ำได้ดีเข้าไปสะสมในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว โดยการสัมผัสผ่านกระบวนการดูดซึมผ่านผนังเซลล์ หรือการกลืนกินอนุภาคแขวนลอยที่มีไฮโดรคาร์บอนดูดซับอยู่ หรือการกลืนหรือกินน้ำ ที่มีไฮโดรคาร์บอนปนเปื้อนเข้าไปโดยตรง เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วสารไฮโดรคาร์บอนจะกระจายตัวไปสะสมตามอวัยวะเป้าหมาย เช่น เหงือก ตับ ไต ผิวหนัง และอวัยวะอื่นๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ผลของไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง (non-specific toxicity) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ส่วนการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอน ออกจากร่างกายของสิ่งมีชีวิตในทะเลทำได้โดยการขับถ่ายและการแพร่ของสารออกนอกร่างกาย (Neff and Anderson, 1981; Hoffman *et al.*, 1994) กลไกในการรับสารไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กลไกการการรับสารไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ที่มา: Chaisuksant *et al.* (1999)

ความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน อาจเกิดจากการที่ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าไปทำลายหรือขัดขวางกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต หรือเกิดจากการสะสมไฮโดรคาร์บอนในเนื้อเยื่อต่างๆ หากสิ่งมีชีวิตรับเข้าไปในปริมาณมากจะทำลายเซลล์ต่างๆ ภายในร่างกาย การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเมื่อสัมผัสกับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับเซลล์ ระดับชีวิต ระดับประชากร และระดับกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Capuzzo, 1987) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเมื่อสัมผัสกับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ระดับการตอบสนอง	ลักษณะการตอบสนอง
ระดับเซลล์ (biochemical– cellular)	1. รบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ 2. มีการกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย
ระดับชีวิต (organism)	1. เปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึม 2. เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม 3. การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ลดลง 4. การทำงานของโครงสร้างต่างๆ ขาดประสิทธิภาพ ทำให้เกิดโรค
ระดับประชากร (population)	1. มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านพลวัตรประชากร 2. ประชากรต้องมีการปรับตัว นำไปสู่การเกิดความเครียด
ระดับกลุ่มสิ่งมีชีวิต (community)	1. องค์ประกอบทางด้านชนิดพันธุ์เปลี่ยนไป 2. การหมุนเวียนของพลังงานลดลง 3. มีการปรับตัวทางด้านระบบนิเวศน์

หากเกิดการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเล ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศวิทยาทางทะเลต่างๆ ดังนี้

4.2.1 แพลงก์ตอน

คราบน้ำมันจะไปกั้นแสงไม่ให้ส่องผ่านลงไปในน้ำ ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สบนพื้นผิวน้ำและอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชพืกรสาหร่ายลดลง เซลล์เมมเบรนสูญเสียธาตุโพแทสเซียมและแมงกานีสจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยน้ำมันที่ความเข้มข้น 1 - 10 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรังต่อแพลงก์ตอนพืช (Spies, 1987; Cheevaporn and Menasveta, 2003) จากการศึกษาของ ธนภฤติ (2542); Wrabel and Peckol (2000) พบว่า น้ำมันเตา ทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่าย (*Chlorella* spp) ลดลงในช่วงระยะเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง และความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้สาหร่ายสีน้ำตาล *Fucus vesiculosus* มีการเจริญเติบโตลดลงเช่นกัน รวมทั้ง เสาวภา และคณะ (2537) พบว่า น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล มีผลทำให้ช่องว่างภายในเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Tetraselmis helle* มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่คลอโรพลาสต์มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการกินอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์พวกโคพีพอด *Acartia* ที่ความเข้มข้นมากกว่า 250 นาโนกรัมต่อกรัม (Clark, 2001) รวมทั้งทำให้เกิดการแพร่กระจายผิดปกติ และบางชนิดไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Scholz *et al.*, 2000)

4.2.2 สัตว์หน้าดิน

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีความไวต่อความเป็นพิษแตกต่างกัน และช่วงอายุก็มีผลต่อความเป็นพิษ กุ้งมีความไวต่อความเป็นพิษของน้ำมันมากในระยะลอกคราบ (Fucik *et al.*, 1995) ส่วนปู mud crab (*Rhithropanopeus harrisi*) ระยะซุเอียมีความไวต่อการตอบสนองต่อความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันเตามากกว่าในระยะ megalopa และระยะ true crab (Laughlin *et al.*, 1978) ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนอาจเกิดการค้างอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตโดยเมื่อสารไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ร่างกายแล้ว ส่วนที่มีการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดในกุ้งคือ ต่อมย่อย สำหรับหอยสองฝา พบมากที่สุดที่ลำไส้ ตับอ่อน และส่วนของร่างกายที่มีการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนได้เร็วที่สุดในกุ้งคือ ส่วนท้อง (Fong, 1976; Neff and Anderson, 1981)

เมื่อความเข้มข้นของปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดพฤติกรรมและสรีรวิทยาต่างๆ ของสัตว์น้ำเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ในสภาวะที่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน ระยะเวลาการลอกคราบของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะ postlarva นานออกไปเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ อัตราการหายใจ อัตราการขับถ่ายของกุ้งเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการดูดซึม และอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจและการขับถ่ายของกุ้งมากกว่าค่าพลังงานที่ได้มาจากอาหาร แสดงให้เห็นว่ากุ้งมีการนำพลังงานมาใช้ในการซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกายมากกว่าในการเจริญเติบโต (สุวัจน์, 2549ก; Sukrarurk, 1999) โดยน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ความเข้มข้น

2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง mysid shrimp (*Mysidopsis bathia*) ลดลงร้อยละ 50 (Barron *et al.*, 1999) เช่นเดียวกับหอยแมลงภู่ (*Mytilus edulis*) และปูประเภท blue crab (*Callinectes sapidus*) เมื่อสัมผัสกับน้ำมันดีเซลจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตเปลี่ยนแปลงและอัตราการกินอาหารลดลงเมื่อความเข้มข้นของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Widdows *et al.*, 1982; Wang and Stickle, 1987) รวมทั้งปูก้ามดาบ fiddler crabs (*Uca pugnax*) จะมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และสัตว์จำพวกเพรียง (*Chthamalus fissus*) มีความไวต่อการตอบสนองมากเมื่อสัมผัสกับน้ำมันเตา (Scholz *et al.*, 2000)

4.2.3 ปลา

ปลาได้รับผลกระทบจากปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนโดยตรงจากน้ำและอาหารที่กินเข้าไป ส่งผลให้ปลามีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป ผลของน้ำมันดิบที่มีผลต่อปลาคือ ปลาเฮอรัริง ปลาเพลช มีผลให้ปลาวายน้ำช้าลงจนหยุดนิ่ง ผิวหนังถูกทำลาย เกิดอาการกล้ามเนื้อตายหายใจถี่ขึ้นกว่าเดิม และเมื่อสัมผัสเป็นระยะเวลานานจะส่งผลต่อดับ (เปี่ยมศักดิ์, 2543) เมื่อสัตว์น้ำได้รับสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในระดับความเข้มข้นที่สูงเข้าไปในเนื้อเยื่อจะทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ตามปกติของสัตว์น้ำ แทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์และควบคุมการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ที่เหมาะสม ในกรณีรุนแรงผนังเซลล์อาจแตกทำให้สารต่างๆ ภายในเซลล์ไหลออกมาเป็นการทำลายเซลล์อย่างรุนแรง ส่วนของร่างกายที่มีการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนมากที่สุด ปลาคือ ลูกน้ำดี และส่วนของร่างกายที่มีการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนได้เร็วที่สุดคือ กล้ามเนื้อ (Neff and Anderson, 1981) ระยะไข่ ระยะวัยอ่อน และวัยรุ่นของปลา เป็นช่วงชีวิตที่มีความไวต่อการตอบสนองต่อความเป็นพิษของน้ำมันมากกว่าปลาระยะตัวเต็มวัยที่สามารถว่ายน้ำอพยพหนีออกจากบริเวณที่ปนเปื้อนได้ไกล (Kennish, 1997; ITOPE, 2011c)

นอกจากนี้ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อสัตว์น้ำ กล่าวคือ น้ำมันดิบที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร สัมผัสกับเนื้อเยื่อปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) นานติดต่อกัน 8 สัปดาห์ มีผลทำให้กิ่งเหงือกมีการโป่งพอง บวมน้ำ (edema) จำนวนเซลล์สร้างเมือกและการเสื่อมของเซลล์ตับชนิดมีไขมันเพิ่มมากขึ้น (สุจิตรา, 2530) และที่ความเข้มข้น 5 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เนื้อเยื่อเหงือกและเซลล์รับกลิ่นของปลา inland silverside minnow (*Menidia beryllina*) มีการแบ่งเซลล์มากผิดปกติ

(hyperplasia) ทั้งนี้ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และระยะเวลาในการเลี้ยง (Dede and Kaglo, 2001)

4.2.4 สัตว์จำพวกนก

สัตว์จำพวกนกที่หากินในน้ำและตามชายฝั่งจำนวนมากต้องเสียชีวิตโดยได้รับสารพิษจากการกินน้ำและอาหารที่มีน้ำมันปนเปื้อนเข้าไป นอกจากนี้คราบน้ำมันจะเคลือบปีกนกทำให้ไม่สามารถบินได้ ขนนกเป็นฉนวนได้ไม่ดี ดังนั้นนกจะตายเมื่ออากาศเย็น บางส่วนถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย มีผลให้ความสามารถในการกักน้ำลดลง สมดุลความร้อนในร่างกายเสียไป โดยปกตินกพยายามไขร่อนเพื่อทำความสะอาดขนของมันจึงมีโอกาสดูดซับพิษจากน้ำมันเพิ่มขึ้น มีผลต่อการสืบพันธุ์ อัตราการเจริญเติบโตลดลง โดยเฉพาะไข่นกที่มีความไวต่อผลกระทบจากคราบน้ำมันมาก ทำให้เปลือกไข่อ่อนตัว และไม่สามารถฟักออกเป็นตัวได้ (Doerffer, 1992; Jensen, 1994; ITOPF, 2011c)

4.2.5 ระบบนิเวศป่าชายเลน

คราบน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งเคลื่อนตัวเข้าสู่ป่าชายเลนทำให้ตกค้างอยู่ตามราก โดยเฉพาะน้ำมันชนิดเบาสามารถแทรกซึมเข้าตามรอยแตกที่มีการคายน้ำและแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเนื้อเยื่อพืชกับบรรยากาศ (lenticel) ของรากค้ำยันต้นโกงกางหรือรากหายใจของต้นแสม ได้มากกว่าร้อยละ 50 ทำให้ระดับออกซิเจนภายในรากลดลงร้อยละ 1 - 2 ภายในเวลา 2 วัน (Clark, 2001) มีผลไปยับยั้งการเจริญเติบโตและต้นไม้ตายอย่างรวดเร็ว หากตกค้างในตะกอนดิน น้ำมันจะไปปกคลุมเมล็ดพันธุ์พืชที่ร่วงหล่นทำให้เมล็ดพันธุ์พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ รวมทั้งก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยในบริเวณนั้น โดยเฉพาะสัตว์น้ำวัยอ่อน และความสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลน โดยน้ำมันจะปกคลุมอยู่ในพื้นที่ป่าชายเลนเป็นเวลามากกว่า 10 ปี และอาจมากกว่านั้น (ITOPF, 1991, 2011c)

4.2.6 ระบบนิเวศปะการัง และหญ้าทะเล

แนวปะการังและแหล่งหญ้าทะเลเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิต และมีความอ่อนไหวมากเมื่อได้รับผลกระทบจากปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำ

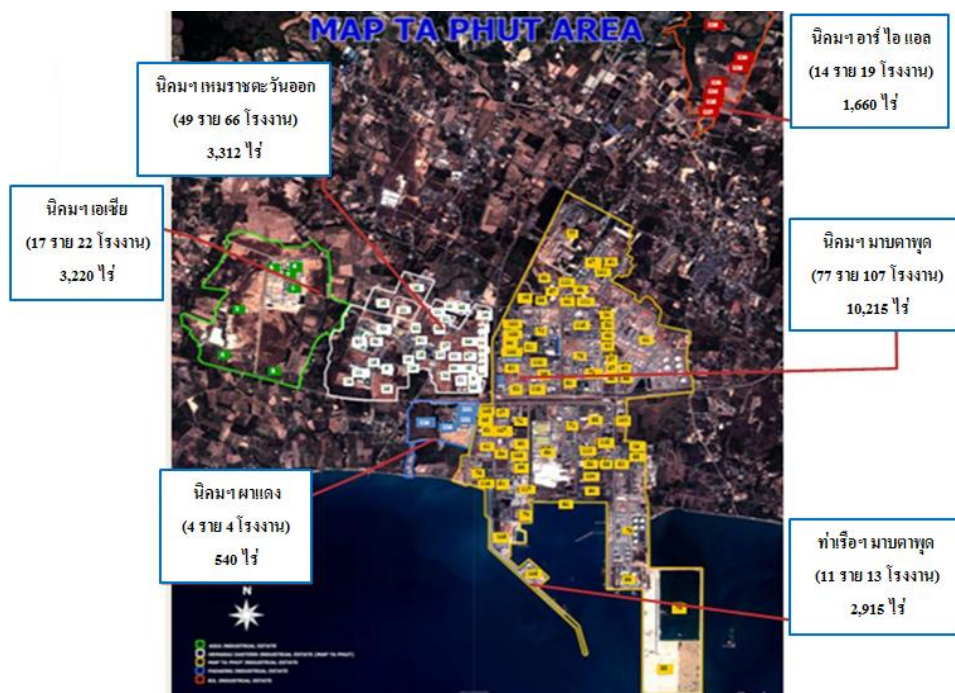
อันตรายโดยตรงต่อปะการังและหญ้าทะเล มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง รบกวนขยายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยในบริเวณนั้น (ITOPF, 1991, 2011c)

4.3 ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ และสังคม

คราบน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่ทะเลย่อมก่อให้เกิดความเสียหายต่อการทำประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น การเลี้ยงกุ้ง การเลี้ยงหอย และการเลี้ยงปลาในกระชัง ทำให้ผลผลิตที่ได้จากการทำประมงลดลง รวมทั้งสัตว์น้ำอาจปนเปื้อนสารพิษ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้เข้าไป นอกจากนี้คราบน้ำมันที่ถูกพัดพาเข้าสู่แหล่งท่องเที่ยวชายหาด แหล่งดำน้ำดูปะการังจะทำให้ความงดงามของแหล่งท่องเที่ยวลดลง มีผลให้จำนวนนักท่องเที่ยวลดลง ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ (Clark, 2001; ITOPF, 2011b)

5. นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

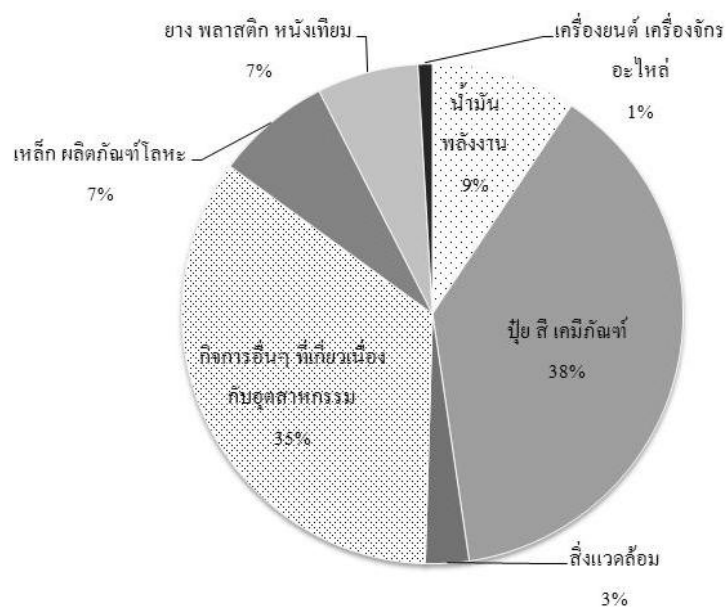
ตามโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก (eastern seaboard) กำหนดให้พื้นที่มาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นแหล่งอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เป็นฐานการผลิตหลักด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพลังงานเพื่อรองรับการขยายตัวของประเทศ บริเวณนี้จึงเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม เรียกว่า กลุ่มนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่มาบตาพุด ประกอบด้วย นิคมอุตสาหกรรม จำนวน 5 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมเหมราชตะวันออก (มาบตาพุด) นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย นิคมอุตสาหกรรมอาร์ ไอ แอล นิคมอุตสาหกรรมผาแดง และท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด 1 แห่ง มีผู้ประกอบการในพื้นที่ทั้งหมด 172 ราย และมีจำนวนโรงงาน 231 แห่ง (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2557) แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กลุ่มนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่มาบตาพุด

ที่มา: คัดแปลงจาก การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2557); ประทีป (ม.ป.ป.)

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นนิคมอุตสาหกรรมแรกที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมื่อปี พ.ศ.2532 ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลในเขตพื้นที่ตำบลมาบตาพุด ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง มีเนื้อที่ทั้งหมด 10,215 ไร่ แบ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมทั่วไป 8,215 ไร่ และพื้นที่ชุมชนเมืองใหม่ 2,000 ไร่ ปัจจุบันภายในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีจำนวนโรงงานทั้งสิ้น 107 แห่ง ประกอบด้วยกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์มากที่สุด จำนวน 41 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 38 รองลงมาคือกิจการอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับอุตสาหกรรม เช่น การวางท่อขนส่งผลิตภัณฑ์ 37 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 35 กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมันและพลังงาน 10 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 9 โดยมีผู้ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ไบโอดีเซล จำนวน 2 ราย ได้แก่ บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) และบริษัท สตาร์ ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด นอกจากนี้ยังมีกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กและผลิตภัณฑ์โลหะ ยาง พลาสติกและหนังเทียม กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม และกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องจักร เครื่องยนต์และอะไหล่ ตามลำดับ (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2557) แสดงดังภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 6 ประเภทกลุ่มอุตสาหกรรมในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ที่มา: คัดแปลงจาก การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2557)



ภาพที่ 7 แผนผังที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2557)

ท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นท่าเรือน้ำลึกสำหรับการให้บริการขนถ่ายสินค้าทั้ง วัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปทั้งในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและนิคมอุตสาหกรรมอื่นๆ เริ่ม ก่อสร้างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2532 และเปิดอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2536 ตั้งอยู่ ในอ่าวมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ละติจูด 12 องศา 36 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 101 องศา 15 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมด 2,915 ไร่ มีจำนวนโรงงาน 13 แห่ง แบ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรม น้ำมันและพลังงาน จำพวกโรงไฟฟ้าถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ 6 แห่ง กลุ่มอุตสาหกรรมปิ๋ย สี และ เคมีภัณฑ์ 6 แห่ง และการวางท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินอีก 1 แห่ง (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2557) สำหรับการดำเนินงานของท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (สำนักงานท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด, 2557) ได้แก่

ประเภทที่ 1 ท่าเรือสาธารณะ (public berths) หมายถึง ท่าเรือที่ไม่จำกัดจำนวนผู้มาใช้ บริการ โดยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยจะลงทุนก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐาน รวมทั้งท่าเทียบเรือให้ ประกอบด้วย 2 ท่า ได้แก่

1. ท่าเทียบเรือทั่วไป (general cargo berth) บริหารจัดการโดยบริษัท ไทยพรอส เพอริตี เทอร์มินัล จำกัด (TPT) เป็นท่าเทียบเรือสินค้าแห่ง ประกอบด้วยท่าเทียบเรือย่อย 2 ท่า คือ ท่าเทียบ เรือใหญ่ มีความยาวหน้าท่า 330 เมตร สามารถรับเรือขนาดใหญ่ได้ 60,000 เดทเวทตัน (DWT) และ ท่าเทียบเรือเล็ก มีความยาวหน้าท่า 150 เมตร สามารถรับเรือขนาด 25,000 เดทเวทตัน สินค้าผ่านท่า ได้แก่ สินค้าทั่วไป เช่น เหล็ก และเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน สินค้าเทกอง (bulk) เช่น แร่โปแตส ใช้ ในการผลิตปุ๋ย

2. ท่าเทียบเรือสินค้าเหลว (liquid cargo berth) บริหารจัดการโดยบริษัท ไทยแทงค์ เทอร์มินัล จำกัด (TTT) ความยาวหน้าท่า 680 เมตร มีสะพานเทียบเรือ 3 ท่า รับสินค้าได้ 45,000 ตัน ต่อลำเรือ มีถังเก็บสินค้า 90 ใบ สามารถบรรจุสินค้าเหลวได้ถึงละ 80,000 ตัน

ประเภทที่ 2 ท่าเรือเฉพาะกิจ (specific berths) เป็นท่าเรือที่จำกัดจำนวนผู้ที่เข้ามาขอใช้ บริการเฉพาะในกลุ่มของผู้ประกอบการเท่านั้น โดยเอกชนหรือผู้ประกอบการจะต้องลงทุนก่อสร้าง ท่าเทียบเรือและสิ่งอำนวยความสะดวกพื้นฐานเองทั้งหมด ท่าเทียบเรือเฉพาะกิจมีทั้งสิ้น 10 ท่า รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 8 และตารางที่ 4



ภาพที่ 8 ท่าเทียบเรือในเขตท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด

ที่มา: คัดแปลงจาก การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2554)

ตารางที่ 4 ท่าเรือเฉพาะกิจจำนวน 10 ท่า ในเขตอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ท่าเรือ	ผู้ประกอบการ	ความยาว (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ขนาดเรือ (DWT)	ประเภทกิจการ
1.NFC	บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด	240	11.9	60,000	ท่าเทียบเรือเพื่อขนส่งปูนซีเมนต์ของบริษัท
2.RBT	บริษัท ท่าเรือระยอง จำกัด	240	11.9	60,000	ท่าเทียบเรือเพื่อขนถ่ายสินค้าเทกองในกิจการของบริษัท
3.SPRC	บริษัท สตาร์ปิโตรเลียม รีไฟน์นิ่ง จำกัด	1,045	6 - 10.6	2,000 - 85,000	มีท่าเทียบเรือย่อย 7 ท่า เพื่อขนถ่ายน้ำมันปิโตรเลียมและแก๊ส LPG
4.PTTGC	บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด	579	7.5 - 11.0	6,000 – 85,000	มีสะพานท่าเทียบเรือ 3 ท่า เพื่อขนถ่ายน้ำมันปิโตรเลียมและแก๊ส LPG
5.MTT	บริษัท มาบตาพุด แทงค์ เทอร์มินัล จำกัด	857	9.4 – 15.0	6,000 – 11,500	มีท่าเทียบเรือย่อย 4 ท่า ถึงเก็บสินค้า 25 ถึง เพื่อขนถ่ายและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมของบริษัท SCG

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ท่าเรือ	ผู้ประกอบการ	ความยาว (เมตร)	ความลึก (เมตร)	ขนาดเรือ (DWT)	ประเภทกิจการ
6.GLOW SPP3	บริษัท โกลว์ เอส พีที 3 จำกัด	225	12.5	58,000	ท่าเทียบเรือขนถ่ายถ่านหิน เพื่อนำมา ผลิตกระแสไฟฟ้า ไอ่น้ำ และน้ำ
7.BLCP	บริษัท บีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด	260	15.0	120,000	ท่าเทียบเรือขนถ่ายถ่านหิน เพื่อนำมา ผลิตกระแสไฟฟ้าของบริษัท
8.PTT LNG	บริษัท พีทีที แอล เอ็นจี จำกัด	345	12.0	125,000 – 264,000 ลบ.ม.	ท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายก๊าซ ธรรมชาติเหลว (LNG) มีถังเก็บรักษาสินค้า 2 ถัง
9.PTT TANK	บริษัท พีทีที แทงค์ เทอร์มินัล จำกัด	330	12.5	60,000	ท่าเทียบเรือและคลังผลิตภัณฑ์เหลว เพื่อขนถ่ายและเก็บรักษาปิโตรเลียม เหลว มีถังเก็บ 10 ถัง
10.RTC	บริษัท ระยอง เทอร์มินัล จำกัด	211	12.6	50,000	ท่าเทียบเรือและคลังสินค้า เพื่อขน ถ่ายและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี

ที่มา: สุมาลี (2554); สำนักงานท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด (2557)

สำหรับข้อมูลเรือที่เข้ามาท่าเทียบเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดระหว่างปี 2552 - 2555 มีจำนวนทั้งสิ้น 23,262 ลำ โดยปี 2553 เพิ่มขึ้นจากปี 2552 คิดเป็นร้อยละ 36.14 และมีปริมาณใกล้เคียงกับปี 2554 และ 2555 ส่งผลให้ปริมาณสินค้าและมูลค่าสินค้าที่ผ่านท่าเรือเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2554, 2555) แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณเรือ สินค้า และมูลค่าสินค้าที่เข้าออกท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด ปี 2552-2555

ท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด	2552	2553	2554	2555
ปริมาณเรือเข้าออกท่าเรือ(ลำ)	4,610	6,276	6,201	6,175
ปริมาณสินค้าผ่านท่าเรือ(ตัน)	21,941,781.91	29,502,699.84	30,991,464.67	33,644,436.22
มูลค่าสินค้านำเข้า (ล้านบาท)	370,202.76	479,408.14	530,370.68	837,460.20
มูลค่าสินค้าส่งออก(ล้านบาท)	170,628.25	188,459.29	251,693.08	389,613.51

สภาพภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยา

ลักษณะภูมิอากาศบริเวณพื้นที่มาบตาพุดเป็นแบบมรสุมเมืองร้อนเฉพาะฤดู มีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ข้อมูลสถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 - 2554) ของสถานีตรวจวัดอากาศสดหีบ รายงานว่า พื้นที่นี้มีความกดอากาศเฉลี่ยตลอดปี 1,009.1 เฮกโตปาสกาล อุณหภูมิเฉลี่ย 28.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 32.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด 24.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 76 ช่วงที่มีปริมาณเมฆมากที่สุดคือ เดือนสิงหาคม ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี 106.2 มิลลิเมตร โดยในเดือนตุลาคมมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยและพายุฝนฟ้าคะนองมากที่สุดเท่ากับ 260.5 มิลลิเมตรและ 10 วัน ความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุด 5.3 นอต (บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด, 2556) ในรอบปีประกอบด้วย 3 ฤดูกาล ได้แก่

1. ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมไปจนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน รวมระยะเวลา 6 เดือน โดยในเดือนพฤษภาคม ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดเข้ามา ฝนจะตกมาก พอถึงเดือนมิถุนายน ฝนจะลดปริมาณลงอย่างชัดเจน ต่อมาในเดือนกรกฎาคม ฝนจะเริ่มตก และจะตกมากในเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม เนื่องจากได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาความชุ่มชื้นจากทะเลเข้าสู่ฝั่ง และในบางครั้งมีพายุดีเปรสชันที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลจีนใต้ ส่งผลให้มีฝนตกหนักมากขึ้น

2. ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ รวมระยะเวลา 3 เดือน ถึงแม้ว่าในช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาเอาความหนาวเย็นและความแห้งแล้งจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเข้ามา แต่เนื่องจากมาบตาพุดมีพื้นที่อยู่ติดกับทะเลจึงได้รับอิทธิพลจากลมประจำถิ่น ดังนั้นอุณหภูมิโดยทั่วไปจึงไม่ค่อยลดต่ำและหนาวเย็นมากนัก นอกจากบางครั้งที่ลมมรสุมมีกำลังแรงมาก

3. ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงปลายเดือนเมษายน รวมระยะเวลา 3 เดือน ในช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมฝ่ายใต้หรือตะวันออกเฉียงใต้และลมเฉื่อยจากทะเลในตอนบ่ายพัดเข้าสู่ฝั่ง จึงมีคลื่นลมค่อนข้างแรงในตอนบ่ายและเย็น ทำให้อากาศโดยทั่วไปไม่ร้อนมากนัก

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง มีวิธีการศึกษาทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

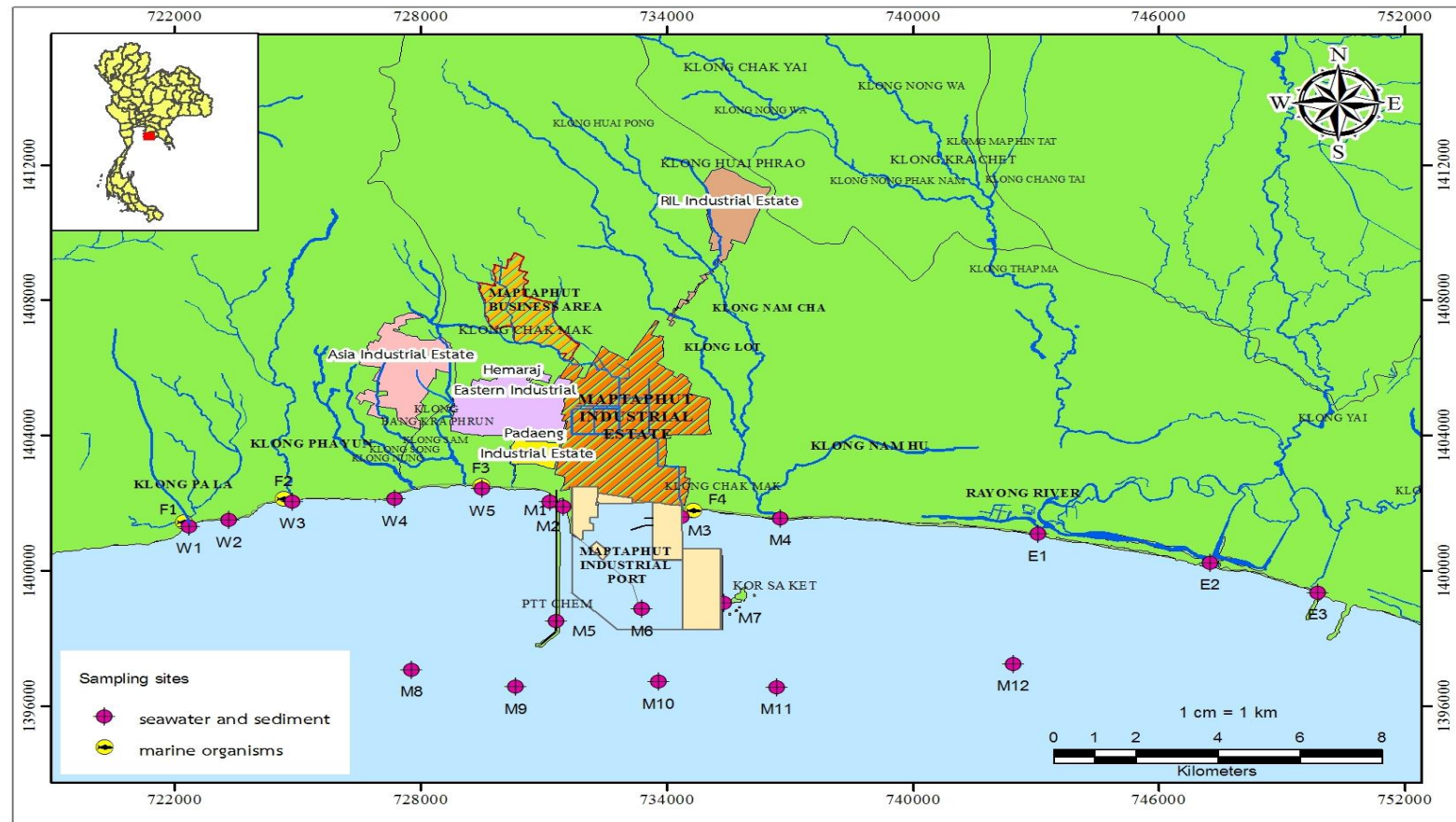
1. การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างในภาคสนาม
2. วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง
3. การวิเคราะห์คุณภาพดินตะกอน และชนิดสัตว์น้ำ
4. การวิเคราะห์ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเล
5. การวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนและสัตว์น้ำ
6. การทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการ
7. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

การกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล และดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดทั้งหมด 20 สถานี แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ด้านทิศตะวันตกของนิคมอุตสาหกรรมมี 5 สถานี คือ W1, W2, W3, W4 และ W5 ห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดประมาณ 10, 9, 7, 5 และ 2 กิโลเมตร ตามลำดับ
- 2) บริเวณศูนย์กลางนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จำนวน 12 สถานี แบ่งเป็น 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณใกล้ฝั่ง มี 4 สถานี คือ M1, M2, M3 และ M4 บริเวณกลางฝั่ง ห่างจากชายฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร มี 3 สถานี คือ M5, M6 และ M7 และบริเวณไกลฝั่ง ห่างจากชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร มี 5 สถานี คือ M8, M9, M10, M11 และ M12
- 3) ด้านทิศตะวันออกของนิคมอุตสาหกรรมมี 3 สถานี คือ E1, E2 และ E3 ห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดประมาณ 9, 12 และ 15 กิโลเมตร ตามลำดับ

ส่วนสถานีเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำเป็นชุมชนประมงที่อยู่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจำนวน 4 สถานี แสดงดังภาพที่ 9 และตารางที่ 6 พร้อมรายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ ดังภาคผนวก ก



ภาพที่ 9 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ตารางที่ 6 รายชื่อสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM

สถานี	พื้นที่ศึกษา	พิกัดทางตะวันออก	พิกัดทางเหนือ
W1	ปากคลองปลา	722356	1401320
W2	ชุมชนประมงบ้านปลา	723328	1401496
W3	ปากคลองพูน	724865	1402052
W4	หาดน้ำริน	727367	1402128
W5	เขื่อนบ้านหนองแฟบ	729499	1402422
M1	ด้านหน้าคลังเก็บน้ำมัน	731168	1402049
M2	จุดระบายน้ำโรงไฟฟ้าโกลว	731478	1401895
M3	ปากคลองซากหมาก	734372	1401585
M4	ปากคลองน้ำหู	736780	1401550
M5	ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร	731306	1398523
M6	ปากทางเข้าอ่าวมาบตาพุด	733390	1398869
M7	ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร	735411	1399056
M8	ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร	727781	1397072
M9	ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร	730325	1396571
M10	ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร	733802	1396717
M11	ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร	736685	1396558
M12	ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร	742467	1397242
E1	หาดแสงจันทร์	743070	1401089
E2	ปากน้ำระยอง	747254	1400238
E3	ท่าเรือ ไออาร์พีซี ระยอง	749889	1399353
F1	ชุมชนประมงบ้านปลา	722233	1401423
F2	ชุมชนประมงหาดพูน	724649	1402110
F3	ชุมชนประมงเขื่อนบ้านหนองแฟบ	729474	1402495
F4	ชุมชนประมงบ้านตากวน	734641	1401754

สำหรับระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ แบ่งออกเป็น 2 ฤดูกาล จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553)

2. วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำทะเลเพื่อศึกษาปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ละลายในน้ำ โดยเก็บจากบริเวณผิวน้ำที่ความลึกประมาณ 1 เมตร ด้วยวิธี drop-bottle technique ซึ่งประกอบด้วยขวดแก้วสีชาขนาด 4 ลิตร บรรจุไว้ในกรอบโลหะสแตนเลสที่ผูกติดกับทุ่นลอยด้วยเชือกยาว 1 เมตร เติมอร์มัลเฮกเซน (n-hexane) 50 มิลลิลิตร ทันที เพื่อรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ ปิดฝา และเขย่าอย่างแรง นำไปเก็บไว้ในที่มืดและเย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป (IOC, 1984)

การเก็บตัวอย่างดินตะกอนบริเวณผิวน้ำใช้ Ekman grab โดยนำดินใส่ในขวดแก้ว ปิดทับด้วยอลูมิเนียมฟอยล์และปิดฝาทันที นำไปแช่ในถังโฟมบรรจุน้ำแข็ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำโดยเก็บรวบรวมสัตว์น้ำจากชาวประมงที่ทำการประมงบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน นำตัวอย่างห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์และใส่ถุงซิปล็อคไปแช่ในถังโฟมบรรจุน้ำแข็ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

3. การวิเคราะห์คุณภาพดินตะกอน และชนิดสัตว์น้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพดินตะกอน ได้แก่ องค์ประกอบและชนิดของเนื้อดิน (soil texture) ดำเนินการด้วย pipette method (FAO, 1970) ปริมาณน้ำในดินตะกอน (water content) ด้วยวิธีการอบแห้ง (oven-drying) (Topp, 1993) และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ด้วยวิธี wet oxidation (Walkley and Black, 1934) แล้วนำไปคำนวณเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในดินตะกอน

สำหรับตัวอย่างสัตว์น้ำที่รวบรวมได้จากชาวประมงที่ทำการประมงบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จำนวน 4 สถานี นำมาจำแนกชนิด แบ่งประเภทสัตว์น้ำ และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปของสายใยอาหาร

4. การวิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล (total petroleum hydrocarbons)

การสกัดสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ คัดแปลงตามวิธีการของ IOC (1984) ดำเนินการโดยถ่ายตัวอย่างน้ำลงในกรวยแยก (separatory funnel) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติม นอร์มัลเฮกเซน 50 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 5 นาที แล้วแยกเอาส่วนที่เป็นเฮกเซนซึ่งอยู่ชั้นบนใส่ในขวดแก้วที่เตรียมไว้ และทำการสกัดน้ำตัวอย่างเดิมอีก 2 ครั้ง โดยเติมเฮกเซนครั้งละ 50 มิลลิลิตร แล้วแยกส่วนที่เป็นเฮกเซนออกมารวมกัน จากนั้นกำจัดน้ำที่ยังอาจปนอยู่ด้วยโซเดียมซัลเฟตแห้ง (Na_2SO_4 , anhydrous) ที่ทำความสะอาดแล้ว (เผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนใช้น้ำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) แล้วนำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตรโดยใช้เครื่องมือระเหยสารแบบลดความดัน (rotary evaporator) จนมีปริมาตรประมาณ 1-2 มิลลิลิตร และละลายส่วนที่เหลืออยู่ด้วยเฮกเซน ปรับปริมาตรให้เป็น 5 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (fluorescence spectroscopy) ดำเนินการโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานไครซีน (ซึ่งสารประกอบไครซีน 0.010 กรัม ละลายด้วยเฮกเซนในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะให้ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจางให้มีความเข้มข้นเป็น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานตั้งต้น) และนำมาเจือจางต่อให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1 – 3.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แล้ววัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ ที่ความยาวคลื่นเอกไซเตชัน (excitation wavelength) 310 นาโนเมตร และความยาวคลื่นอิมิชชัน (emission wavelength) 360 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้กับค่าความเข้มข้นมาพล็อตเป็นกราฟมาตรฐาน แสดงดังภาพผนวกที่ ข1 หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้มาวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ในสถานะเดียวกับสารละลายมาตรฐาน และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเทียบกับสารมาตรฐานไครซีน

ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (ไมโครกรัมต่อลิตร chrysene equivalent) = $(A \times B) / C$

A = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

B = ปริมาตรสุดท้ายก่อนวัด (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำทะเลเริ่มต้น (ลิตร)

5. การวิเคราะห์สาร PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนและสัตว์น้ำ

การสกัดสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากตัวอย่างดินตะกอน ดำเนินการโดยนำตัวอย่างดินตะกอนไปทำให้แห้งด้วยวิธี freeze-dried แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 500 ไมครอน หลังจากนั้นชั่งตัวอย่างดินตะกอนประมาณ 25 กรัม ใส่ลงในทิมเบิล เติมสารละลายมาตรฐานคือ 1-chlorooctadecane และ o-terphenyl ชนิดละ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น surrogate standard ทำการสกัดอย่างต่อเนื่องโดยวิธี soxhlet extraction ด้วยเครื่องสกัดสาร extraction apparatus auto (Büchi universal extraction system B-811) ใช้ตัวทำละลาย dichloromethane ปริมาตร 180 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิความร้อนระดับ 9 จำนวน 35 รอบการสกัด (cycles) (Maliszewska-Kordybach *et al.*, 2008) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยสารแบบลดความดัน จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 3 มิลลิลิตร เก็บไว้ในหลอดแก้วขนาดเล็ก แล้วเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนจนไดคลอโรมีเทนระเหยหมด เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นเฮกเซน โดยเติมเฮกเซน 1 มิลลิลิตร และนำไปทำการแยกแฟรกชันด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีต่อไป

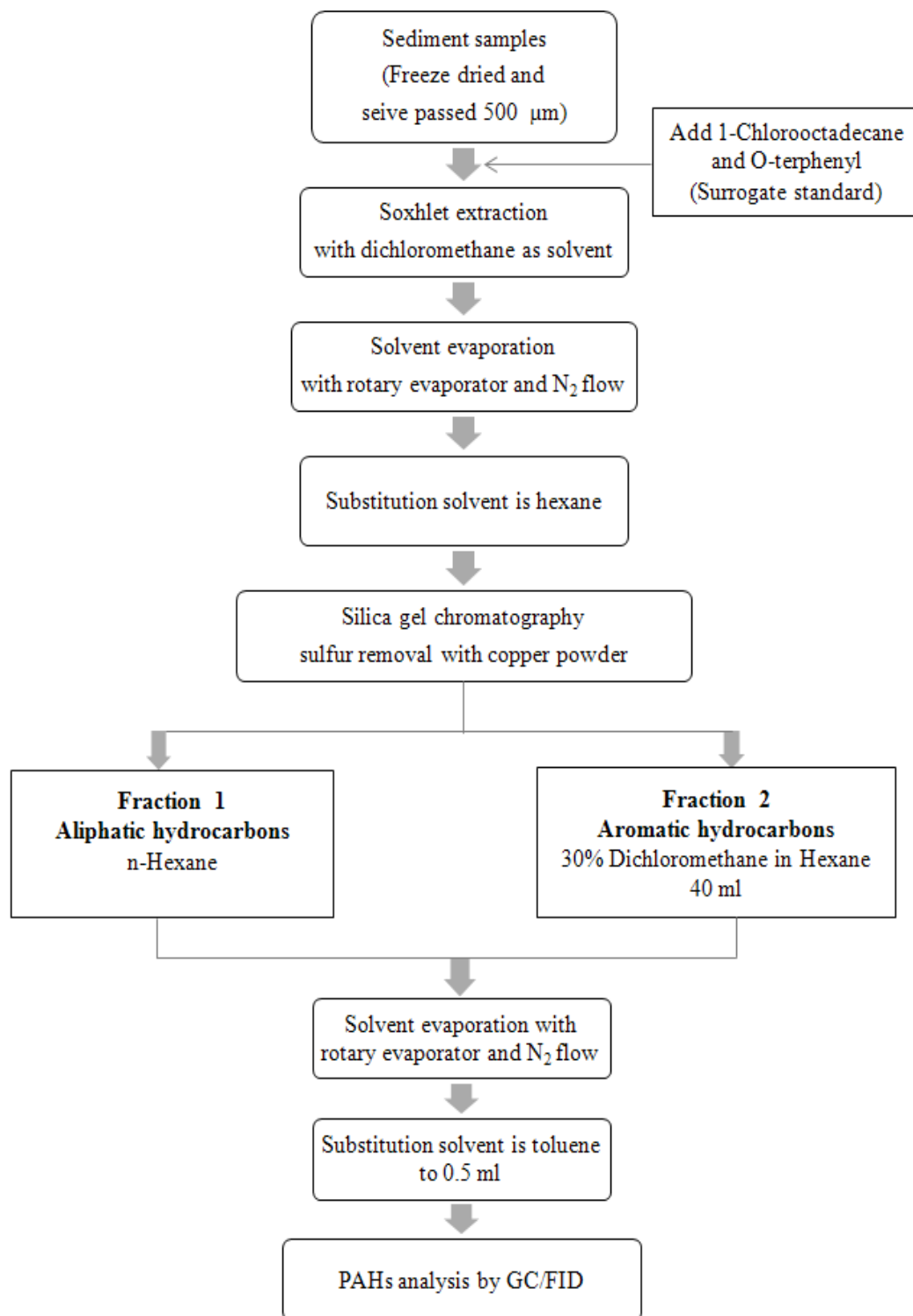
สำหรับการสกัดสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากตัวอย่างสัตว์น้ำ ดำเนินการโดยนำตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์น้ำไปปั่นให้ละเอียดและทำให้แห้งด้วยวิธี freeze-dried หลังจากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในทิมเบิล แล้วเติมสารละลายมาตรฐานคือ 1-chlorooctadecane และ o-terphenyl ชนิดละ 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็น surrogate standard ทำการสกัดอย่างต่อเนื่องโดยวิธี soxhlet extraction ด้วยเครื่องสกัดสาร extraction apparatus auto (Büchi universal extraction system B-811) ใช้ตัวทำละลาย dichloromethane: hexane (1:1 v/v) (Fang *et al.*, 2009a, 2009b; Mirza *et al.*, 2012) ปริมาตร 180 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิความร้อนระดับ 9 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง แล้วนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยสารแบบลดความดัน จนสารละลายที่ได้มีปริมาตร 3 มิลลิลิตร เก็บไว้ในหลอดแก้วขนาดเล็ก แล้วลดปริมาตรด้วยการระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจนให้เหลือ 0.2 มิลลิลิตร เปลี่ยนตัวทำละลายโดยการเติมเฮกเซนลงไป 2 มิลลิลิตร แล้วระเหยด้วยแก๊ส

ไนโตรเจนอีกครั้งจนได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตรและนำสารละลายที่ได้ไปทำการแยกส่วนด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟีต่อไป

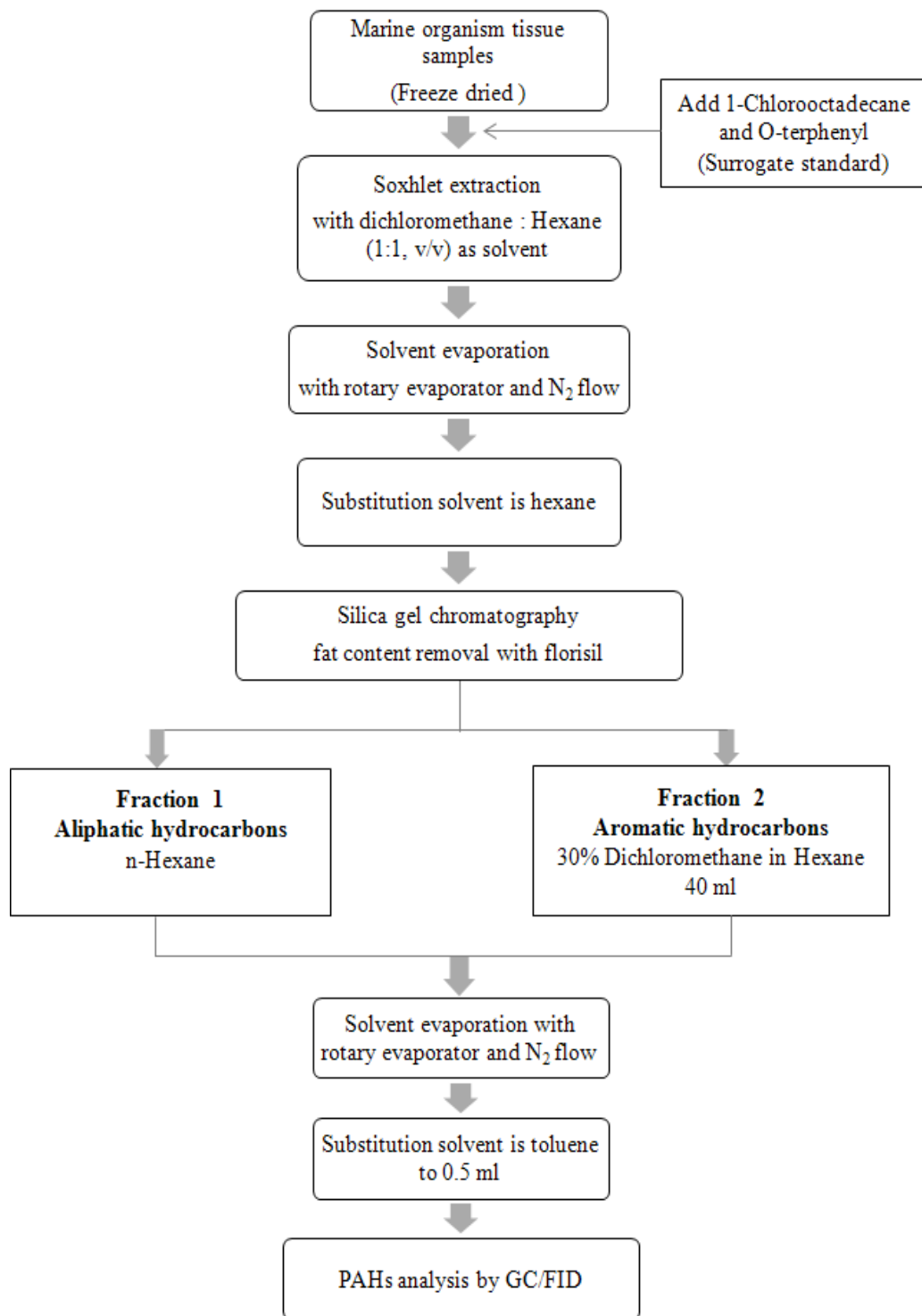
การแยกส่วนของสารไฮโดรคาร์บอนด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) ดำเนินการโดยการเตรียมสารเคมีเบื้องต้นด้วยการนำซิลิกาเจลไปทำความสะอาดโดยการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง แล้วเก็บในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด จากนั้นทำการแอกติเวท (activated) ด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เก็บใส่ในโถดูดความชื้น และทำการดีแอกติเวทด้วยน้ำกลั่นร้อยละ 5 แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปใช้ 1 วัน สำหรับใยแก้ว (glass wool) นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนผงทองแดง (copper powder) ก่อนใช้ประมาณครึ่งชั่วโมง ทำการ activated โดยการแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น คนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้ 5 นาที ล้างออกด้วยน้ำกลั่น เมธานอล ไดคลอโรมีเทน และเฮกเซน อย่างละ 3 ครั้ง ตามลำดับ และนำไปแช่ในเฮกเซนเพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศก่อนนำไปใช้ รวมทั้งทำการแอกติเวทฟลอร์ซิลแห้งด้วยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และทำการดีแอกติเวทด้วยน้ำกลั่นร้อยละ 5 เก็บในขวดแก้วที่มีฝาปิดก่อนนำไปใช้ 1 วัน และนำโซเดียมซัลเฟตแห้งไปเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารปนเปื้อน

การเตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี ดำเนินการโดยอุบลลายคอลัมน์ด้วยใยแก้ว เติมเฮกเซนลงไป 5 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนเพื่อไล่ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในใยแก้ว แล้วเติมซิลิกาเจล (เตรียมโดยเติมเฮกเซนลงไป 10 กรัม ให้เป็นลักษณะของเหลวข้น (slurry) คนไล่ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ วางทิ้งไว้ 5 - 10 นาที จนแน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่) ลงในคอลัมน์เกาะข้างคอลัมน์เบาๆ เพื่อให้ซิลิกาเจลเรียงตัวกันแน่นขึ้น จนได้ชั้นซิลิกาเจลสูงประมาณ 17.5 เซนติเมตร ระวังอย่าให้ระดับของเฮกเซนลดลงมาจนถึงระดับของซิลิกาเจล หลังจากนั้นเติมผงทองแดงที่เตรียมไว้ให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับการแยกสารจากตัวอย่างดินตะกอน (ส่วนการแยกสารจากตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์น้ำนั้นให้เติมฟลอร์ซิลแห้งที่เตรียมไว้ให้มีความสูงประมาณ 5 เซนติเมตร ลงไปแทน เพื่อกำจัดไขมันและสารอื่นๆ) แล้วจึงเติมโซเดียมซัลเฟตแห้งโดยปรับอัตราการไหลของเฮกเซนที่ปลายคอลัมน์ให้ได้ 2 มิลลิลิตรต่อนาที และชะล้างคอลัมน์ด้วยเฮกเซน 30 มิลลิลิตร

การแยกสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากการสกัดตัวอย่างดินตะกอนและสัตว์น้ำ ดำเนินการโดยใช้พาสเจอร์ปีเปตดูดสารละลายที่ได้จากการสกัดใส่ลงในคอลัมน์ที่เตรียมไว้ รอจนตัวอย่างซึมผ่านชั้นซิลิกาเจล (อย่าให้แห้ง) แล้วเติมเฮกเซน 20 มิลลิลิตรลงในคอลัมน์ โดยปล่อย 5 มิลลิลิตรแรกทิ้งไป เก็บ 15 มิลลิลิตร เป็นส่วนที่ 1 (F1) อะลิฟาทิกไฮโดรคาร์บอน หลังจากนั้นเติมร้อยละ 30 ของไดคลอโรมีเทนในเฮกเซนลงไป 40 มิลลิลิตร (Beg *et al.*, 2003) เก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ เป็นส่วนที่ 2 (F2) อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และนำไปลดปริมาตรด้วยเครื่องระเหยสารแบบลดความดันจนเหลือ 3 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ในหลอดแก้ว แล้วนำมาเป่าให้ระเหยด้วยแก๊สไนโตรเจนจนไดคลอโรมีเทนและเฮกเซนระเหยหมด เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นโทลูอิน และปรับปริมาตรสุดท้ายให้เท่ากับ 0.5 มิลลิลิตร เก็บไว้ในหลอดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนและสัตว์น้ำด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีต่อไป แสดงดังภาพที่ 10 และ 11



ภาพที่ 10 สรุปขั้นตอนการสกัด PAHs ในตัวอย่างดินตะกอน



ภาพที่ 11 สรุปขั้นตอนการสกัด PAHs ในตัวอย่างสัตว์น้ำ

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร PAHs ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี รุ่น Agilent 6890GC equipped with an Agilent 7683B Injector ตัวตรวจวัดแบบ Flame Ionization Detector (FID) ใช้คอลัมน์ HP-5MS (Hewlett-Packard, USA) เคลือบด้วย 5%Phenyl-Methylsiloxane แบบ Fused silica capillary column ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มม. ยาว 0.25 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร

สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

อุณหภูมิของช่องฉีดสาร (Injector) 250 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของตัวตรวจวัด (Detector) 300 องศาเซลเซียส

โปรแกรมอุณหภูมิของเครื่อง GC

อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 100 องศาเซลเซียส (ตั้งไว้ 0.5 นาที) ต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 140 องศาเซลเซียส และเพิ่มด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 290 องศาเซลเซียส (ตั้งไว้ 10 นาที)

อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 30 มิลลิตรต่อนาที

อัตราการไหลของอากาศ 300 มิลลิตรต่อนาที

อัตราการไหลของแก๊สพา (He) 1 มิลลิตรต่อนาที

ปริมาตรสารละลายที่ฉีด (split less) 1 ไมโครลิตร

การวิเคราะห์ชนิดของสาร PAHs ทำโดยเปรียบเทียบค่า retention time ของสาร PAHs ที่มีในตัวอย่างกับ retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 14 ชนิด ตาม US-EPA ได้แก่ acenaphthene (Acp), fluorene (Flu), phenanthrene (Phe), anthracene (Ant), fluoranthene (Flt), pyrene (Pyr), benz(a)anthracene (BaA), chrysene (Chr), benzo[b]fluoranthene (BbF), benzo[k]fluoranthene (BkF), benzo[a]pyrene (BaP), dibenz[a,h]anthracene (DhA), indeno(1,2,3-cd)pyrene (IcP) and benzo(ghi)perylene (BgP)

การคำนวณปริมาณของสาร PAHs ทำโดยการเปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้พิกเทียบกับสารมาตรฐาน ดังนี้

สมมติความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Y ppm มีเนื้อสารเท่ากับ Y นาโนกรัม
ขั้นที่ 1 สารละลายมาตรฐานมีพื้นที่ที่ได้พิกเท่ากับ A มีเนื้อสารเท่ากับ Y นาโนกรัม

ดังนั้น ในตัวอย่างที่มีพื้นที่ที่ได้พิกเท่ากับ B มีเนื้อสารเท่ากับ $\frac{Y \times B}{A} = D$ นาโนกรัม
ในการฉีดตัวอย่างเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีจะฉีด 1 ไมโครลิตร

ดังนั้นแสดงว่าในการฉีด 1 ไมโครลิตร จะมีเนื้อสารตัวอย่างเท่ากับ D นาโนกรัม
สมมติให้ปริมาตรสุดท้ายก่อนฉีด P ไมโครลิตร มีเนื้อสารเท่ากับ $D \times P$ นาโนกรัม

ขั้นที่ 2 สมมติให้นำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ W กรัม หมายความว่าในตัวอย่าง W กรัม จะมีเนื้อสารอยู่เท่ากับ $D \times P$ นาโนกรัม

ดังนั้น ถ้าตัวอย่าง 1 กรัม จะมีเนื้อสารอยู่เท่ากับ $\frac{D \times P}{W}$ นาโนกรัม
สรุปได้ว่า

$$\text{ปริมาณสาร PAHs ในตัวอย่าง (นาโนกรัม)} = \frac{\left(\frac{Y \times B}{A}\right) \times P}{W}$$

โดยให้ Y เป็นเนื้อสารของสารละลายมาตรฐาน (นาโนกรัม) ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Y มิลลิกรัมต่อลิตร

B เป็นพื้นที่ที่ได้พิกของตัวอย่าง

A เป็นพื้นที่ที่ได้พิกของสารละลายมาตรฐาน

P เป็นปริมาตรสุดท้ายก่อนฉีด (ไมโครลิตร)

W เป็นน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

6. การทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการ

6.1 การเตรียมน้ำสำหรับการทดลอง

ในการอนุบาลสัตว์น้ำจะใช้น้ำทะเลที่มีค่าความเค็ม 30 ppt ผ่านการกรองด้วยถุงผ้ากรอง นำน้ำทะเลมาพักให้ตกตะกอนในบ่อพัก ใส่คลอรีนระดับความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปเพื่อฆ่าเชื้อ ให้อากาศอย่างแรงจนคลอรีนสลายหมด ทดสอบโดยเมื่อใส่โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เล็กน้อยลงไป ถ้าน้ำใสไม่เกิดสีแสดงว่าไม่มีคลอรีนตกค้าง แต่ถ้าน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีคลอรีนตกค้างอยู่ ต้องรอให้คลอรีนสลายหมดก่อน หรือกำจัดคลอรีนที่เหลือด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในขั้นตอนการทดสอบความเป็นพิษใช้น้ำความเค็ม 30 ppt ด้วยการละลายเกลือสำหรับทำน้ำทะเลเทียมในน้ำกลั่น ultrapure water with UV อัตราส่วน 30 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร พร้อมกับการใช้อากาศเติมออกซิเจนในน้ำเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนจะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งน้ำทะเลที่เตรียมไว้ต้องไม่เกิน 2 สัปดาห์ (Togulga, 1998)

6.2 การเตรียมสารทดลอง

การเตรียมสารทดลองในรูปของสารละลายเข้มข้นเริ่มต้นของสารฟิแนนทรินและฟลูออแรนทริน ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายในปริมาณต่ำสุดที่สามารถละลายสารไฮโดรคาร์บอนได้เพื่อจะได้ไม่มีผลต่อการตายของสัตว์ทดลอง เนื่องจากสารไฮโดรคาร์บอนมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยจึงต้องใช้ตัวทำละลายช่วยในการละลายแล้วค่อยปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น การเตรียมสารละลายทุกครั้งจะเตรียมขึ้นก่อนเริ่มการทดลองไม่เกิน 1 ชั่วโมง รวมทั้งการเตรียมสารละลายเข้มข้นของโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate: SDS) ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน โดยใช้เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่สามารถละลายได้อย่างรวดเร็ว และสามารถเก็บไว้ได้ไม่เกิน 48 ชั่วโมง (Togulga, 1998) และเมื่อเริ่มการทดลองจึงใช้น้ำเค็มที่เตรียมไว้เจือจางให้มีค่าความเข้มข้นของสารทดลองในระดับต่างๆ ตามความต้องการ

6.3 การเตรียมสัตว์ทดลอง

6.3.1 อาร์ทีเมีย

มีการศึกษาข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะฟักไข่และการเจริญพัฒนาจากไข่เป็นตัวอ่อนระยะแรก (instar I) และตัวอ่อนระยะต่างๆ ก่อนทำการทดลอง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอาร์ทีเมียในแต่ละระยะตาม Schrehardt (1987); Browne *et al.* (1991) ดำเนินการโดยนำไข่อาร์ทีเมีย (*Artemia* cysts) ยี่ห้อ Crystal สายพันธุ์ The Great Salt Lake, USA ผู้ผลิต Ocean Star International, Inc., Snowville, Utah, USA ความหนาแน่นประมาณ 2 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร (อนันต์ และคณะ, 2536) ลงในโหลแก้วซึ่งมีน้ำเต็มอยู่ ตั้งโหลแก้วไว้ภายใต้แสง พร้อมทั้งให้อากาศตลอดระยะเวลาการฟัก หลังจากนั้นสังเกตและบันทึกเวลาที่ใช้ในการเพาะฟักตั้งแต่เริ่มต้นจนพบตัวอ่อนอาร์ทีเมียตัวแรกที่ฟักออกจากไข่ หลังจากนั้นทำการแยกตัวอ่อนออกจากเปลือกไข่และไข่ที่ยังไม่ฟักมาใส่ในโหลแก้วที่ให้อากาศและแสงเช่นเดิม แล้วสุ่มตัวอย่างอาร์ทีเมียมาใส่ในจานเพาะเลี้ยงเชื้อ (petri dish) นำมาดูแลด้วยกล้องสเตอริโอทุกชั่วโมง และเริ่มนับเวลาพร้อมกับบันทึกผลซึ่งข้อมูลที่ได้นำมากำหนดเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอ่อนอาร์ทีเมียระยะ instar II หรือ III เพื่อใช้เป็นสัตว์ทดลองให้ถูกต้องตามเกณฑ์ Artemia Reference Center-test: ARC-test (Vanhaecke and Persoone, 1984)

สำหรับการทดลองทำในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร ใส่สารทดลองตามความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร สุ่มอาร์ทีเมียระยะ instar II- III ใส่ในหลอดทดลอง หลอดละ 10 ตัว ปิดฝาแล้วนำหลอดทดลองไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ให้แสงสว่างและไม่มีการให้อากาศตลอดการทดลอง ถือเกณฑ์ตัดสินว่า อาร์ทีเมียที่ตายแล้วจะนอนนิ่งอยู่ที่ก้นภาชนะ ลำตัวมีสีขุ่นและซีด และเมื่อเขย่าหลอดทดลองไม่มีการเคลื่อนไหวของร่างกายในเวลา 10 วินาทีที่เฝ้าดู

6.3.2 กุ้งแชบ๊วย

นำกุ้งแชบ๊วยระยะวัยอ่อน post larva (P12) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร กรมประมง มาปรับสภาพในถังพักเพื่อให้มีความเคยชินกับสภาพแวดล้อมที่จะใช้ในการทดลองประมาณ 5 วัน ให้อาร์ทีเมียเป็นอาหารวันละ 3 มื้อ มีการให้อากาศตลอดเวลา และเปลี่ยนถ่ายน้ำพร้อมกับดูดตะกอนของเสียที่อยู่ตามพื้นถังพัก ก่อนที่จะนำกุ้งไปใช้ในการทดลอง

ต้องปรับสภาพกุ้งให้อัดอาหารประมาณ 12 ชั่วโมง การทดลองทำในโหลแก้วที่มีฝาปิดขนาดความจุ 1.5 ลิตร ใส่สารทดลองตามความเข้มข้นต่างๆ โหลละ 1.0 ลิตร ใส่กุ้งโหลละ 10 ตัว โดยใช้วิธีการลุ่มกุ้งที่มีขนาดเท่าๆ กัน อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และใช้ผ้าแสลนสีดำคลุมภาชนะทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกุ้งตลอดการทดลอง พร้อมทั้งให้อากาศตลอดการทดลอง ถือเกณฑ์ตัดสินว่า กุ้งที่ตายแล้วจะไม่มี การตอบสนองใดๆ เมื่อใช้แท่งแก้วตะเบาๆ ที่ตัวกุ้ง โดยจะตักกุ้งออกทันทีที่พบการตายเกิดขึ้นเพื่อป้องกันมิให้เกิดน้ำเสีย

6.3.3 ปลากระพงขาว

นำปลากระพงขาวขนาดความยาว 1.0-1.5 นิ้ว จากฟาร์มเพาะเลี้ยงเอกชนมาเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส โดยให้อากาศตลอดเวลา และให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปวันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 วัน เพื่อให้ปลาเกิดความคุ้นเคยกับสภาพการทดลอง จนกระทั่งก่อนการทดลอง 24 ชั่วโมงจึงหยุดให้อาหาร ดำเนินการทดลองในโหลแก้วขนาดความจุ 1.5 ลิตร ใส่สารทดลองตามความเข้มข้นต่างๆ โหลละ 1.2 ลิตร ใส่ปลากระพงขาวโหลละ 10 ตัว โดยใช้วิธีการลุ่มปลาที่มีขนาดเท่าๆ กัน อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน และใช้ผ้าแสลนสีดำคลุมภาชนะทดลอง ให้อากาศตลอดการทดลอง ถือเกณฑ์ตัดสินว่า ปลาที่ตายแล้วจะไม่มี การตอบสนองใดๆ เมื่อใช้แท่งแก้วตะเบาๆ ที่ตัวปลา ไม่มีการเคลื่อนไหวของแผ่นปิดเหงือก (operculum) และอวัยวะใดๆ โดยจะตักปลาออกทันทีที่พบการตายเกิดขึ้น

6.4 การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันต่ออาร์ทีเมียใช้การทดลองแบบชีววิเคราะห์ระบบน้ำนิ่ง (static bioassay) ดัดแปลงตามวิธีการ ARC-test (Vanhaecke and Persoone, 1984) สำหรับกุ้งแชบ๊วย และปลากระพงขาว ใช้การทดลองแบบชีววิเคราะห์แบบให้อากาศ ดัดแปลงวิธีการตาม Sprague (1969); Buikema *et al.* (1982); US-EPA (1993) แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

- 1) การทดลองขั้นต้น (preliminary test) เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นในช่วงกว้างๆ ของสารทดลองที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้สัตว์ทดลองไม่ตายเลย (ร้อยละ 0) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สัตว์ทดลองตายทั้งหมด (ร้อยละ 100) ในระยะเวลาที่ใช้ทดลอง เพื่อนำค่า

ความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้สำหรับการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารที่เหมาะสมในการทดลองอย่างละเอียดต่อไป

2) การทดลองอย่างละเอียด (full-scale test) เป็นการทดลองที่นำช่วงระดับความเข้มข้นของสารที่ได้จากการทดลองขั้นต้นมาแบ่งระดับความเข้มข้นเป็น 6 ระดับ ระดับละ 3 ชั่วโมง การทดลองทั้ง 2 ขั้นตอนจะมีชุดควบคุม 2 ชุดคือ ชุดทดลองที่ไม่มีการเติมสารใดๆ ลงไป และชุดทดลองที่ใส่น้ำเค็มผสมอะซิโตนในปริมาณที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้น ในแต่ละการทดลองสังเกตพฤติกรรม อาการผิดปกติของสัตว์ทดลองเมื่อได้รับสารพิษ บันทึกจำนวนการตายสะสมของสัตว์ทดลองหลังการใส่สารจนครบระยะเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับอาร์ทีเมีย และ 96 ชั่วโมง สำหรับกุ้งแชบ๊วยและปลากะพงขาว

นอกจากนี้มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดลอง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ใช้ DO meter และความเป็นกรดเป็นด่าง ใช้ pH meter

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของกลุ่มตัวอย่างนำมาประมวลผลเพื่อนำเสนอข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าผลรวม ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดของชุดข้อมูล ตัวอย่างในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา ระหว่างฤดูกาล เขตพื้นที่ และระยะห่างจากชายฝั่ง ในส่วนของสถิติเชิงอนุมาน ทดสอบความสัมพันธ์ ความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีทดสอบนัยสำคัญแบบ t-test และ Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Priprobit version 1.63 Sakuma 1993 เพื่อหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปของค่ามัธยฐานที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และ ร้อยละ 50 (median lethal concentration : LC_5 , LC_{10} และ LC_{50}) ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

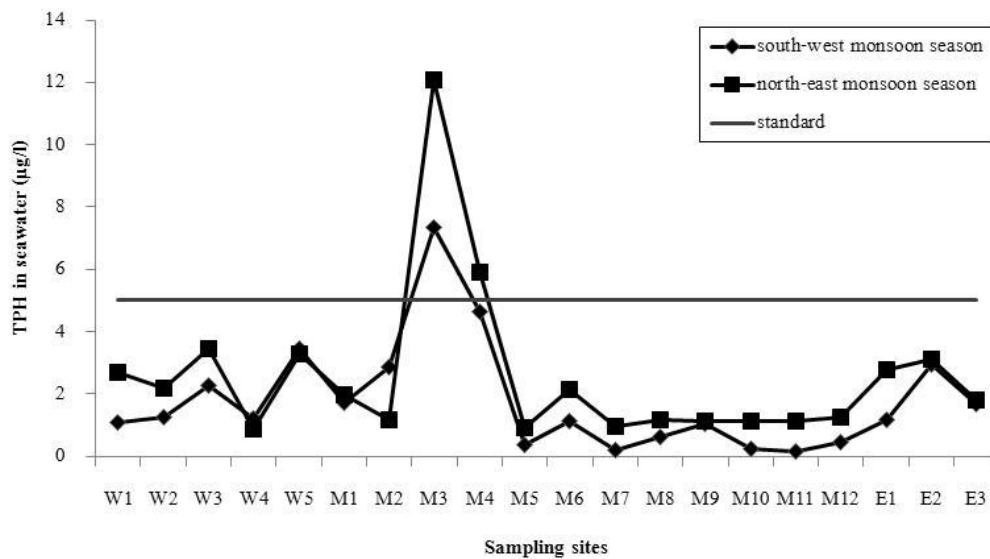
การศึกษาผลกระทบจากการปนเปื้อนสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ทำการเก็บตัวอย่างในภาคสนามในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553) และทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันในห้องปฏิบัติการ โดยผลการศึกษาประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

1. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเล
2. ชนิดและปริมาณ PAHs ในดินตะกอน และคุณภาพดินตะกอน
3. ชนิดและปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำ และชนิดสัตว์น้ำ
4. ความเป็นพิษเฉียบพลัน

1. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล

การศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด โดยเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม 2553 และเดือนพฤษภาคม 2554 จำนวน 20 สถานี พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.21 – 12.07 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.17 ± 0.54 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2554) ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 0.97 - 12.07 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 ± 2.56 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) สูงกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนสิงหาคม 2553) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.21 - 7.35 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.79 ± 1.77 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) แสดงดังภาพที่ 12 เนื่องจากในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีฝนตกลงมาเจือจางความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และปริมาณน้ำจืดในคลองต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีการกระจายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนอยู่ในระดับต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของ พิมพัวลัญช์ และคณะ (2551) ที่พบการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต ในฤดู

มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (0.02 – 7.84 ไมโครกรัมต่อลิตร) สูงกว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (0.02 – 2.80 ไมโครกรัมต่อลิตร) และ สถิติและคณะ (2551) พบว่า ฤดูกาลไม่มีอิทธิพลต่อการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณปากแม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดจันทบุรี และปากแม่น้ำระยอง จังหวัดระยอง

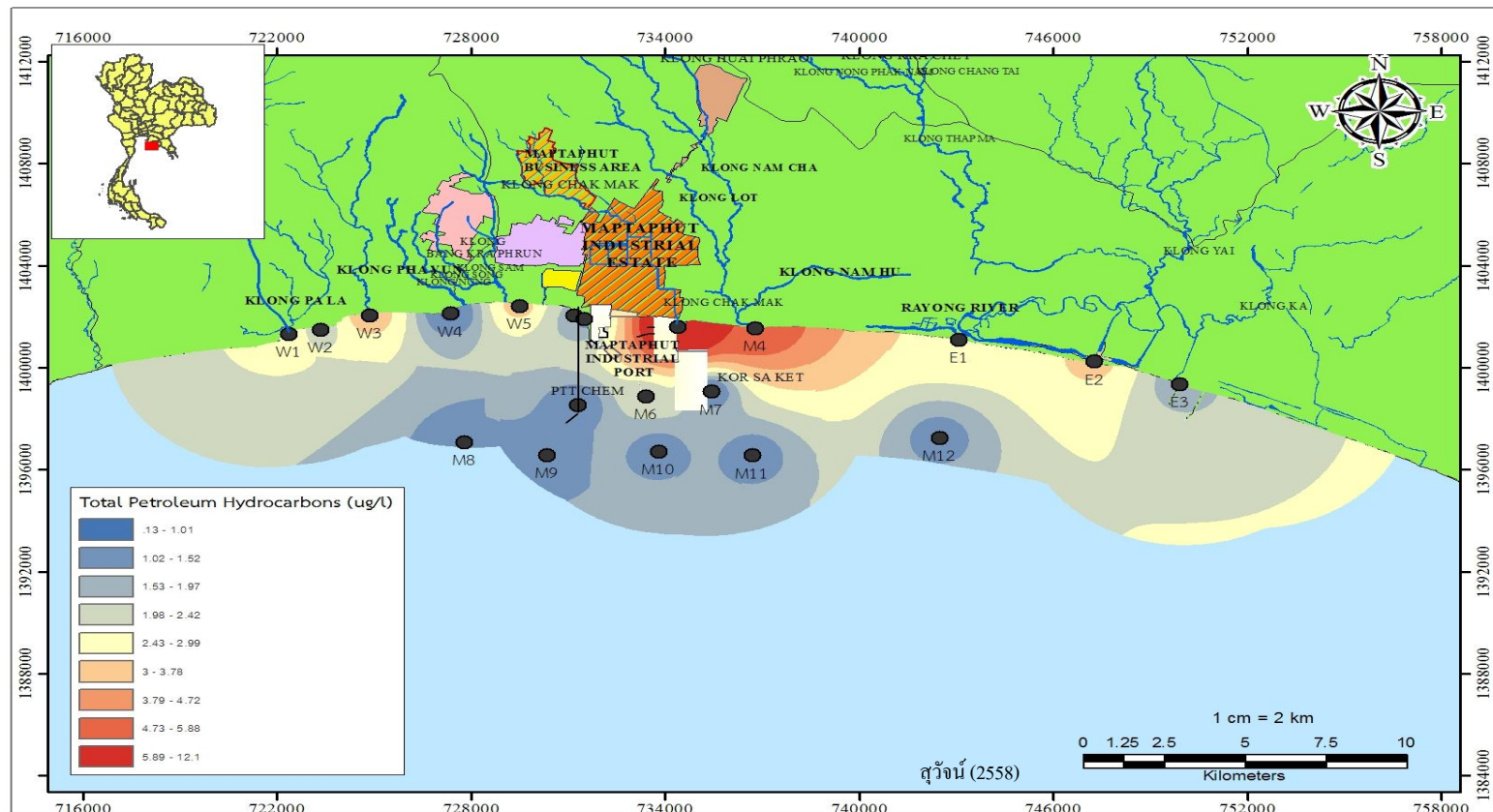


ภาพที่ 12 ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล

สำหรับรูปแบบการแพร่กระจายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนสิงหาคม 2553) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2554) แสดงดังภาพที่ 13 และ 14 โดยสถานีตามแนวชายฝั่งของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม (สถานี M1 – M4) มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลอยู่ในช่วง 1.15 - 12.07 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) สูงกว่าระยะห่างจากแนวชายฝั่ง 3 กิโลเมตร (สถานี M5 – M7) และ 5 กิโลเมตร (สถานี M8 – M12) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.21 - 2.13 และ 0.13 - 1.25 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลพบมากตามแนวชายฝั่งและลดลงตามระยะห่างจากแนวชายฝั่งที่เพิ่มขึ้น โดยในทั้งสองครั้งของการเก็บตัวอย่างสถานี M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร) มีปริมาณปิโตรเลียม

ไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลต่ำสุดเท่ากับ 0.21 และ 0.97 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.59 ± 0.54 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนสถานี M3 (ปากคลองชักหมาก) มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลสูงสุดเท่ากับ 7.35 และ 12.07 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.71 ± 3.34 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents)

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 5 เพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ และประเภทที่ 6 สำหรับเขตชุมชน ที่กำหนดให้ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลต้องมีค่าไม่เกิน 5 ไมโครกรัมต่อลิตร (ราชกิจจานุเบกษา, 2550) พบว่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ยกเว้น สถานี M3 (ปากคลองชักหมาก) และ M4 (ปากคลองน้ำหนู) มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล (ภาพที่ 12) เนื่องจากพื้นที่คลองน้ำหนูส่วนใหญ่ไหลผ่านบริเวณชุมชนต่างๆ เป็นจุดรับน้ำทิ้งจากหมู่บ้านจัดสรร ชุมชน โดยสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2553, 2555, 2556) กล่าวว่า บริเวณต้นคลอง น้ำมีสีดำคล้ำ มีกลิ่นเหม็น และบริเวณปากคลองน้ำหนูมีแนวเขื่อนหิน มีแหล่งชุมชนอาศัยและมีเรือประมงพื้นบ้านจอดตลอดแนวลำคลองสำหรับคลองชักหมากในปัจจุบันช่วงที่ผ่านนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดได้ถูกปรับปรุงเพื่อใช้เป็นคลองระบายน้ำของนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งปากคลองชักหมากเปิดออกสู่อ่าวประจวบ ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกติดกับท่าเทียบเรือมาบตาพุดบริเวณคลังน้ำมันของบริษัท การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) มีท่อระบายน้ำด้านแนวเขื่อนหิน มีชุมชนประมงขนาดเล็ก ตั้งบ้านเรือนที่พักอาศัย มีเรือประมงพื้นบ้าน ไม่มีกิจกรรมนันทนาการ ซึ่งในอดีตบริเวณคลองชักหมากเป็นชายฝั่งทะเลเปิดน้ำจากคลองเมื่อไหลออกสู่ทะเลจะไหลเวียนตามกระแสน้ำทางธรรมชาติ แต่หลังจากที่การนิคมอุตสาหกรรมได้ถมทะเลเพื่อก่อสร้างนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ท่าเทียบเรือ และส่วนต่อขยาย ทำให้การไหลเวียนของน้ำในพื้นที่เปลี่ยนแปลงไป ลักษณะน้ำบริเวณนี้ค่อนข้างนิ่ง ทะเลเรียบถึงมีคลื่นเล็กน้อย น้ำค่อนข้างขุ่นและมีสีคล้ำ ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งทะเลหน้านิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นบริเวณที่รองรับน้ำเสียจากโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยตรง ในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณน้ำทิ้งเฉพาะโรงงานในนิคมอุตสาหกรรม 92,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพิ่มจากปี พ.ศ. 2553 ประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีปริมาณสูงสุด 46,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ไม่รวมน้ำระบายความร้อน) โดยส่วนใหญ่ระบายลงสู่คลองชักหมากซึ่งเป็นคลองระบายน้ำที่ไหลผ่านนิคมอุตสาหกรรมปริมาณ 45,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2555)



ภาพที่ 14 การแพร่กระจายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลที่ผ่านมา บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริเวณใกล้เคียง พบว่า ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลจากการศึกษาครั้งนี้บริเวณปากคลองชักหมาก (สถานี M3) ปากคลองน้ำหนู (สถานี M4) และปากน้ำระยอง (สถานี E2) มีค่าอยู่ในช่วง 7.35 - 12.07, 4.64 - 5.89 และ 2.94 - 3.11 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการศึกษาในปี พ.ศ.2551 - 2555 ของสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2557) ที่พบว่า ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล โดยเฉพาะบริเวณปากคลองชักหมาก (0.05 - 1,141 ไมโครกรัมต่อลิตร) อ่าวประจักษ์ (0.05 - 1,357 ไมโครกรัมต่อลิตร) หาดทรายทอง (0.05 - 1,473 ไมโครกรัมต่อลิตร) และปากคลองตากวน (0.05 - 1,623 ไมโครกรัมต่อลิตร) ซึ่งปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและพฤษภาคม พ.ศ.2552 และบริเวณปากแม่น้ำระยองมีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุริดา และคณะ (2548) แต่ต่ำกว่าการศึกษาของ ชลิ และคณะ (2551) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.81 - 2.37 และ 5.24 - 46.49 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสภาวะการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลของปากแม่น้ำระยอง พบมากเป็นอันดับสอง รองจากปากแม่น้ำจันทบุรีเมื่อเทียบกับบริเวณปากแม่น้ำของชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก แสดงดังตารางที่ 7 รวมทั้งปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 2.17 ± 0.54 (0.21 - 12.07) ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ยังมีค่าต่ำกว่าบริเวณอ่าวไทยตอนบน และชายฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.79 ± 7.80 (0.02 - 27.68) และ 3.40 ± 3.26 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (สมภพ, 2542; กนกวรรณ, 2552) ซึ่งบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีนิคมอุตสาหกรรม ท่าเทียบเรือ เป็นทางออกของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำเพชรบุรี และเป็นแหล่งรองรับการระบายของเสียจากกิจกรรมต่างๆ ทำให้มีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลจากการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าค่าเฉลี่ยบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทยในปี พ.ศ.2553 ที่มีค่าเท่ากับ 0.36 ± 0.56 (0.06 - 3.30) ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) โดยชายฝั่งทะเลด้านอันดามัน (0.61 ± 1.03 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลสูงกว่าชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย (0.28 ± 0.26 ไมโครกรัมต่อลิตร) (ศุภวัตร และคณะ, 2554) รวมทั้งมีค่าสูงกว่าบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด จังหวัดระยอง ที่มีค่าเฉลี่ย 1.05 ± 1.33 (0.02 - 19.4) ไมโครกรัมต่อลิตร (Suthanaruk, 1991) เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม

มาพบดาพบรวมถึงบริเวณปากคลองต่างๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมทางทะเล แต่ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤตยาพร (2538) และ Wattayakorn and Rungsupa (2012) บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง และรอบเกาะสีชังถึงศรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.05 - 11.84 และ 0.01 - 12.55 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ตามลำดับ ซึ่งบริเวณใกล้ฝั่งมีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากชายฝั่งออกมา โดยชายฝั่งทะเลศรีราชา (2.24 ± 1.53 ไมโครกรัมต่อลิตร) มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าบริเวณโดยรอบเกาะสีชัง (1.23 ± 0.54 ไมโครกรัมต่อลิตร) ทั้งนี้พื้นที่อุตสาหกรรมชายฝั่งทะเลของจังหวัดระยองจะมีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (1.94 ไมโครกรัมต่อลิตร) สูงกว่าเขตชุมชน (1.12 ไมโครกรัมต่อลิตร) และแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (1.09 ไมโครกรัมต่อลิตร) รวมทั้งการศึกษาของ สมภพ (2553) รายงานว่า ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณชายฝั่งทะเลและท่าเรือมีค่าสูงกว่ารอบอ่าวไทยตอนบนห่างฝั่ง มากกว่า 9 เท่า ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.51 - 8.68 และ 0.66 - 1.26 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลกับกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล พบว่า ผลจากการศึกษาปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลครั้งนี้ ($0.21 - 12.07$ ไมโครกรัมต่อลิตร chrysene equivalents) มีค่าต่ำกว่าในกรณีของการเกิดเหตุน้ำมันรั่วไหลในปี พ.ศ.2549 บริเวณด้านในท่าเทียบเรือมาบตาพุด จังหวัดระยอง และบริเวณชายหาดแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ที่มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลอยู่ในช่วง 0.01 - 15.62 และ 3.74 - 48.07 ไมโครกรัมต่อลิตร (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) รวมทั้งในกรณีของน้ำมันดิบรั่วไหลกลางทะเลเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2556 ซึ่งอยู่ห่างจากชายฝั่งท่าเรือมาบตาพุดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร โดยปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณรอบเกาะเสม็ดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม 2556 มีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.05 - 513 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วน PAHs มีค่าน้อยกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร (วันเพ็ญ และคณะ, 2557) และบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ปี พ.ศ.2556 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.02 - 51.17 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยค่าสูงสุดพบบริเวณอ่าวน้อยหน้า (สุริดา และคณะ, 2557) แต่หลังจากน้ำมันรั่วเป็นระยะเวลานาน 1 และ 4 เดือน มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 ($0.06 - 9.08$) และ 0.66 ($0.12 - 1.92$) ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ซึ่งพบมากบริเวณเกาะเสม็ดด้านทิศเหนือ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2557) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่เกิดเหตุเป็นทะเล ทำให้การเคลื่อนตัวของสารกระจายน้ำเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ส่งผลให้ปริมาณปิโตรเลียม

ไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลลดลงตามระยะเวลาที่นานขึ้น นอกจากนี้ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีค่าต่ำกว่าชายฝั่งทะเลตะวันออกของ Peninsular ประเทศมาเลเซีย, Bassein-Mumbai ประเทศอินเดีย และ Tianjin Bohai Bay ประเทศจีน ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.4 – 21.8 ไมโครกรัมต่อลิตร (Seligi crude oil equivalents), 2.9 – 39.2 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) และ 23.7 - 508 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Tahir *et al.*, 1997; Chouksey *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2010)

ตารางที่ 7 การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลในพื้นที่ต่างๆ

พื้นที่ศึกษา	ปริมาณ TPH ($\mu\text{g/l}$)	อ้างอิง
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด	0.21 - 12.07	การศึกษาครั้งนี้
อุตสาหกรรมเรือเหล็กเก่า มาบตาพุด	0.02 – 19.4	Suthanaruk (1991)
ปากแม่น้ำระยอง จ.ระยอง	5.24 - 46.49	ชลี และคณะ (2551)
บ้านเพ จ.ระยอง	0.61 $\pm$ 0.26	Suwanagosoom (2001)
ชายฝั่งทะเล จ.ระยอง	0.05 - 11.84	กฤตยาพร (2538)
พื้นที่ชายฝั่ง จ.ระยอง	< 0.05 - 1.50	วันเพ็ญ และคณะ (2557)
ชายฝั่งทะเล จ.ระยอง	0.91	ศรัณย์ (2531)
ชายฝั่งทะเล จ.ชลบุรี	0.66	ศรัณย์ (2531)
เกาะสีชัง-ศรีราชา จ.ชลบุรี	0.01 - 12.55	Wattayakorn and Sompop (2012)
แสมสาร จ.ชลบุรี	0.11 $\pm$ 0.06	ธีรพงศ์ (2549)
ชายฝั่งอ่างศิลา จ.ชลบุรี	0 - 87.95	Chainarong (2008)
ท่าเทียบเรือ จ.ชลบุรี	4.81 $\pm$ 3.37	ธนพล (2550)
ปากแม่น้ำของอ่าวไทยฝั่งตะวันออก	0.14 – 6.72	สุริดา และคณะ (2548)
อ่าวไทยฝั่งตะวันออก	0.02 – 51.17	สุริดา และคณะ (2557)
แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง	1.61 $\pm$ 0.41	เกศินี (2534)
ปากแม่น้ำสงขลา จ.สงขลา	2.93 $\pm$ 1.64	จริยา (2549)
ท่าเทียบเรือคลอง จ.ภูเก็ต	0.73 $\pm$ 1.48	พิมพ์วิไลย และคณะ (2551)
อ่าวปากพนัง	0.31-8.56	จิรารัตน์ และคณะ (2557)
ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย	0.36 $\pm$ 0.56	ศุภวัตร และคณะ (2554)
ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย	0.28 $\pm$ 0.26	ศุภวัตร และคณะ (2554)
ชายฝั่งทะเลอันดามัน	0.61 $\pm$ 1.03	ศุภวัตร และคณะ (2554)
ชายฝั่งทะเลตะวันออกอ่าวไทยตอนบน	3.40 $\pm$ 3.26	สมภพ (2542)

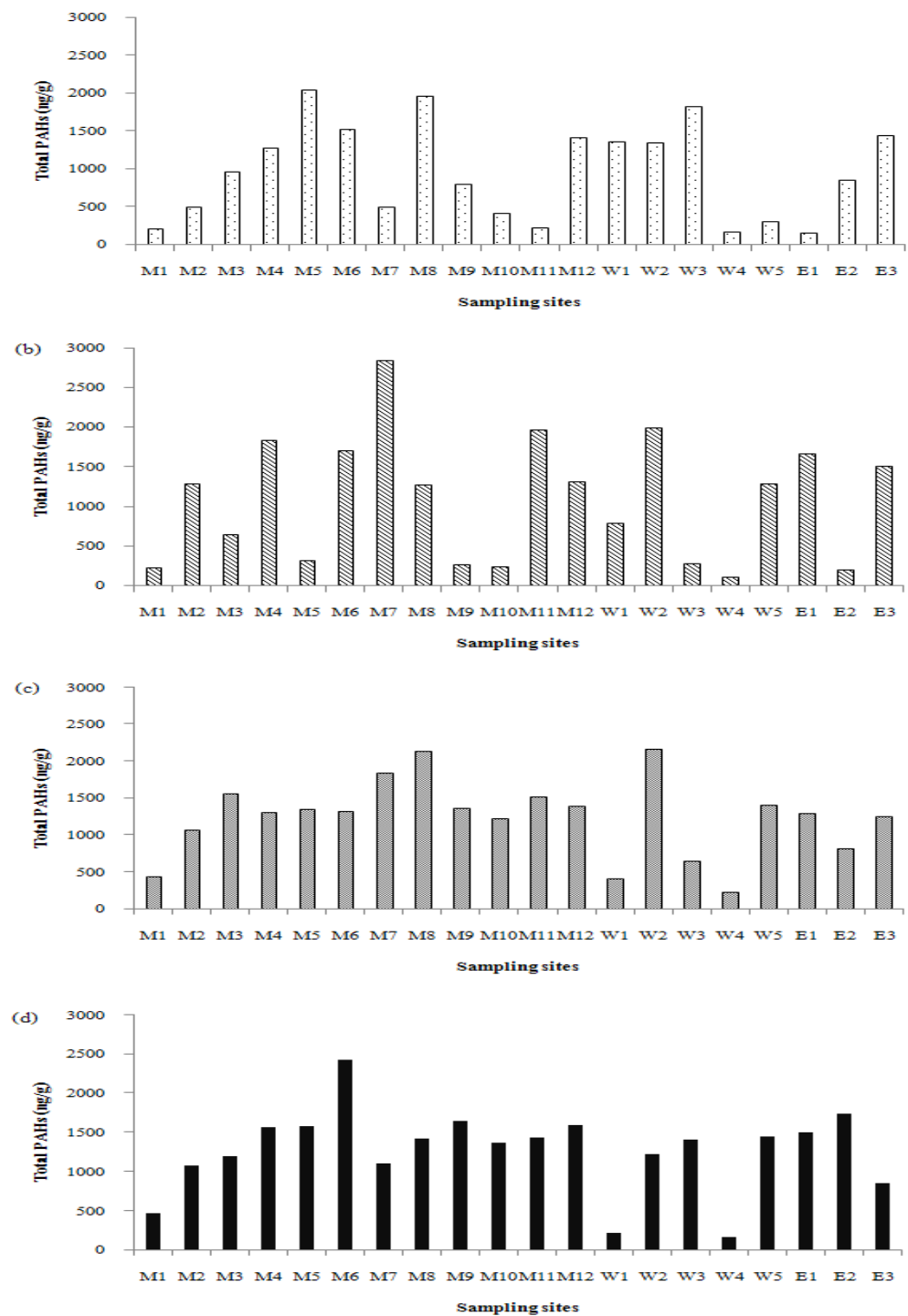
ตารางที่ 7 (ต่อ)

พื้นที่ศึกษา	ปริมาณ TPH ($\mu\text{g/l}$)	อ้างอิง
อ่าวไทยตอนบน	0.49 ± 1.03	นฤมล (2551)
อ่าวไทยตอนบน	5.79 ± 7.80	กนกวรรณ และคณะ (2552)
อ่าวไทยตอนบน	$0.65 - 8.30$	Wattayakorn (1987)
อ่าวไทยตอนล่าง	$0.07 - 6.50$	Wattayakorn (1987)
อ่าวไทยตอนล่าง	$0.05 - 4.13$	ปัญจรัตน์ (2539)
eastern coast of Peninsular Malaysia	$1.4 - 21.8$	Tahir <i>et al.</i> (1997)
Bassein-Mumbai, India	$2.9 - 39.2$	Chouksey <i>et al.</i> (2004)
Tianjin Bohai bay, China	$23.7 - 508$	Li <i>et al.</i> (2010)
Arabian gulf and gulf of Oman (U.A.E.)	$1.6 - 13.0$	Shriadah (2000)

2. ชนิดและปริมาณ PAHs ในดินตะกอน และคุณภาพดินตะกอน

2.1 ชนิดและปริมาณ PAHs ในดินตะกอน

การศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอน เน้นศึกษาเฉพาะชนิด โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เท่านั้น ปริมาณ PAHs 14 ชนิด ที่ตรวจพบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดทั้ง 4 ครั้งของการเก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2552 ตุลาคม 2552 สิงหาคม 2553 และพฤษภาคม 2554 มีค่าอยู่ในช่วง $97.36 - 2,839.52$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณ PAHs ทั้งหมดในดินตะกอนในแต่ละสถานี แสงได้ดังตารางผนวกที่ 1 – 4 และภาพที่ 15 ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของ PAHs จากจำนวน 20 สถานีมีค่าเท่ากับ $1,133.87 \pm 426.29$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ ที่เป็นแหล่งอุตสาหกรรม อาจเนื่องมาจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดที่มีคุณภาพก่อนปล่อยลงสู่ทะเล และลักษณะดินตะกอนบริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นดินทรายทำให้มีการสะสมของ PAHs ได้น้อยกว่าดินที่มีลักษณะเป็นดินเลนละเอียด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่า (Breedveld and Karlsaen, 2000) และการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษา PAHs 14 ชนิด ซึ่งตาม US-EPA ได้กำหนดให้มีการศึกษา PAHs 16 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากมีความไม่สะดวกในช่วงของการดำเนินการวิเคราะห์



ภาพที่ 15 ปริมาณ PAHs รวม (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานี เก็บตัวอย่างในเดือนพฤษภาคม 2552 (a) ตุลาคม 2552 (b) สิงหาคม 2553 (c) และ พฤษภาคม 2554 (d)

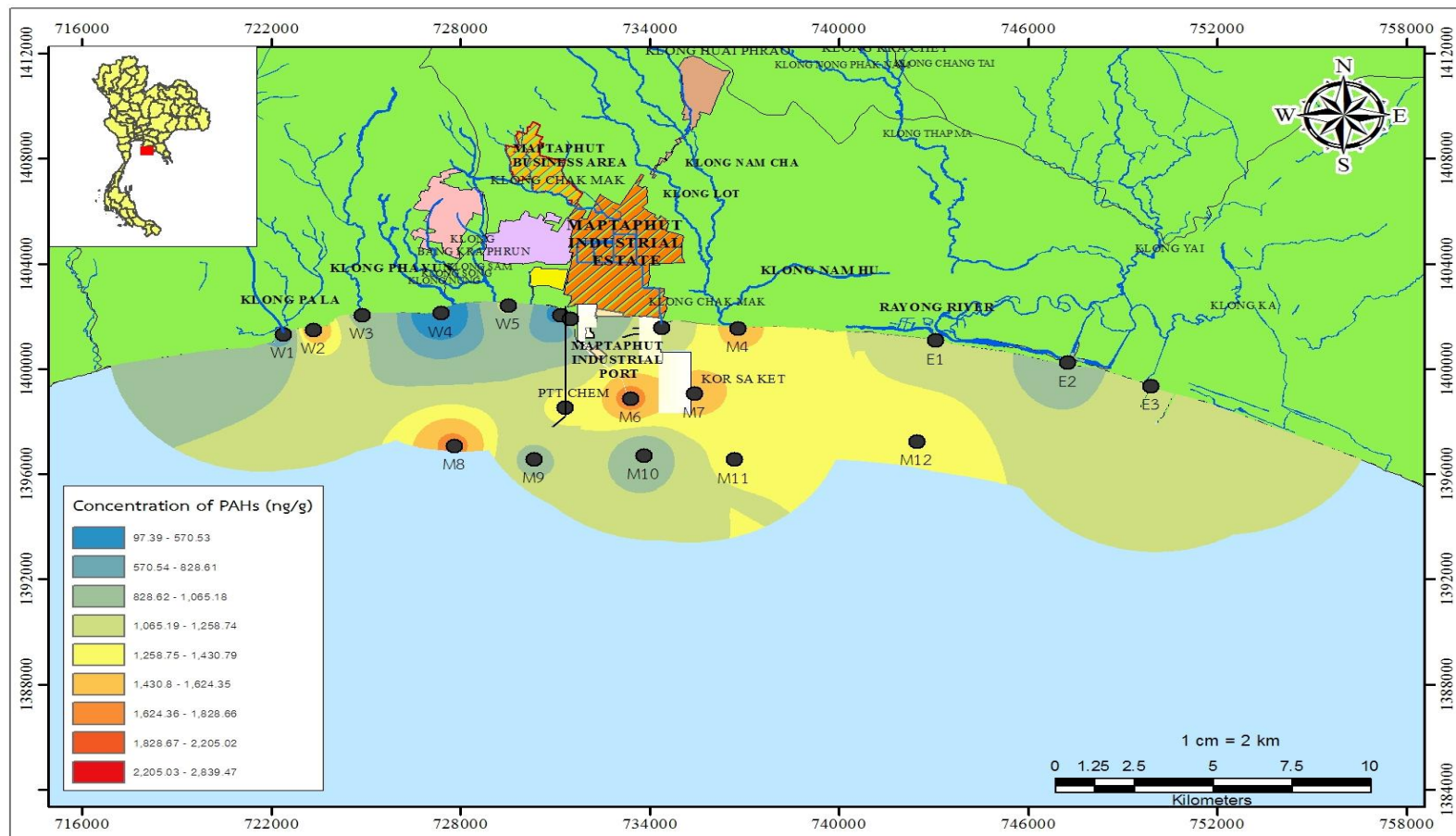
เมื่อพิจารณาตามฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553) ปริมาณ PAHs เฉลี่ยจากจำนวน 20 สถานี มีค่าเท่ากับ $1,156.99 \pm 594.67$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) เพียงเล็กน้อยที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,110.82 \pm 470.43$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยสถานี M6 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร) และ สถานี M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร) มีปริมาณ PAHs สูงสุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับ และในทั้งสองฤดูกาลพบปริมาณ PAHs ค่าสุดที่สถานี W4 (หาดน้ำริน) แสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 16 - 18 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กรมควบคุมมลพิษ (2542) ที่พบว่า บริเวณพื้นที่อุตสาหกรรม มาบตาพุดและแหลมฉบัง มีปริมาณ PAHs รวม 17 ชนิด ในดินตะกอนช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าอยู่ในช่วง $< 1,850 - 12,200$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่มีค่าอยู่ในช่วง $1,860 - 7,380$ นาโนกรัมต่อกรัม และปริมาณ PAHs บริเวณจุดที่ใกล้นิคมอุตสาหกรรมจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่ไกลนิคมอุตสาหกรรม จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณ PAHs ในแต่ละฤดูกาลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) จะเห็นได้ว่าฤดูกาลไม่มีผลต่อการสะสมของ PAHs ในดินตะกอน เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง (เชาว์, 2538)

สำหรับรูปแบบการแพร่กระจายของ PAHs ในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด พบว่า บริเวณศูนย์กลางนิคมอุตสาหกรรม (สถานี M1 - M12) มีปริมาณ PAHs ในดินตะกอนเฉลี่ย $1,226.54 \pm 407.56$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าด้านทิศตะวันออก (สถานี E1 - E3) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,099.07 \pm 186.46$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และด้านทิศตะวันตกของนิคมอุตสาหกรรม (สถานี W1 - W5) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 932.49 ± 558.27 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยสถานีที่อยู่ห่างจากแนวชายฝั่ง 3 กิโลเมตร (สถานี M5 - M7) มีปริมาณ PAHs ในดินตะกอนสูงสุดในเดือนพฤษภาคม 2552 พฤษภาคม 2554 และตุลาคม 2552 ตามลำดับ และสถานี W2 (ชุมชนประมงบ้านปลา) มีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม 2553 ซึ่งสูงกว่าสถานีที่ห่างจากชายฝั่ง 5 กิโลเมตร (สถานี M8 - M12) และสถานีตามแนวชายฝั่งของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม (สถานี M1 - M4) ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดได้มีการถมทะเลเพื่อก่อสร้างพื้นที่อุตสาหกรรมและขยายท่าเทียบเรือมาบตาพุด ซึ่งพื้นที่ถมทะเลอยู่ในระยะห่างจากฝั่ง 3 กิโลเมตร โดยมีกลุ่มโรงงานปิโตรเคมีที่มีคลังเก็บวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี และโรงไฟฟ้า ถ่านหินที่มีการขนถ่ายถ่านหินและมีกองถ่านหินอยู่ริมฝั่ง ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง

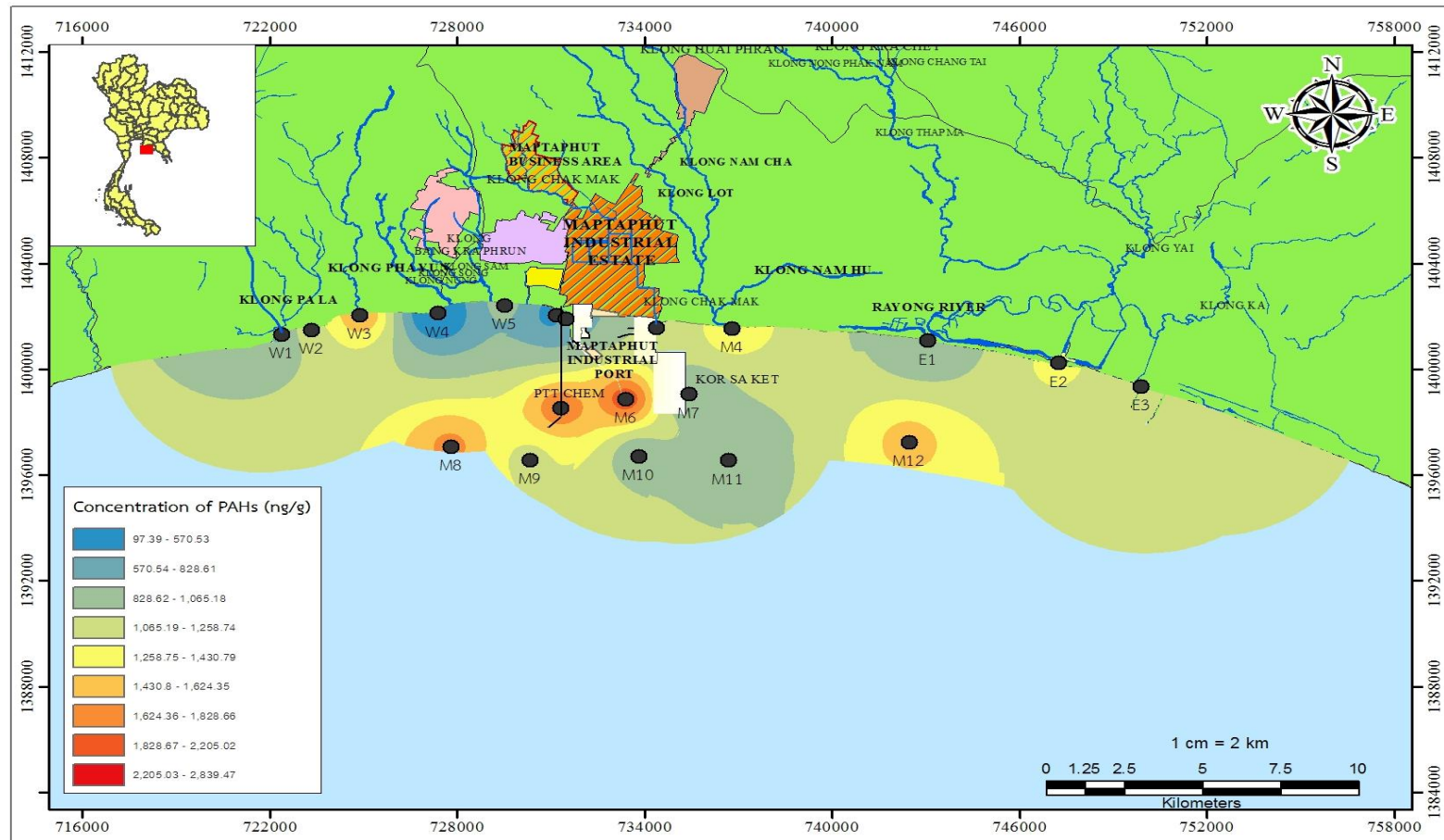
จากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งยังมีเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่สัญจรผ่านเข้าออกท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นจำนวนมาก จึงย่อมมีโอกาสทำให้เกิดการรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนลงสู่ทะเล โดยเฉพาะ PAHs ทำให้เกิดการสะสมมากกว่าในบริเวณอื่นๆ นอกจากนี้ ปริมาณ PAHs ต่ำสุดที่สถานี W4 (หาดน้ำริน) ยกเว้น ในเดือนพฤษภาคม 2552 ที่ปริมาณ PAHs ต่ำสุดที่สถานี E1 (หาดแสงจันทร์) เนื่องจากหาดน้ำรินและหาดแสงจันทร์อยู่บริเวณชายฝั่ง เป็นแหล่งท่องเที่ยวชายหาดของจังหวัดระยอง ไม่มีกิจกรรมการเดินเรือ การขนส่งสินค้า และลักษณะเนื้อดินตะกอนบริเวณนี้จัดเป็นดินทราย ทำให้การสะสมของ PAHs ในดินตะกอนมีปริมาณน้อยตามไปด้วย

ตารางที่ 8 ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและฤดูกาล

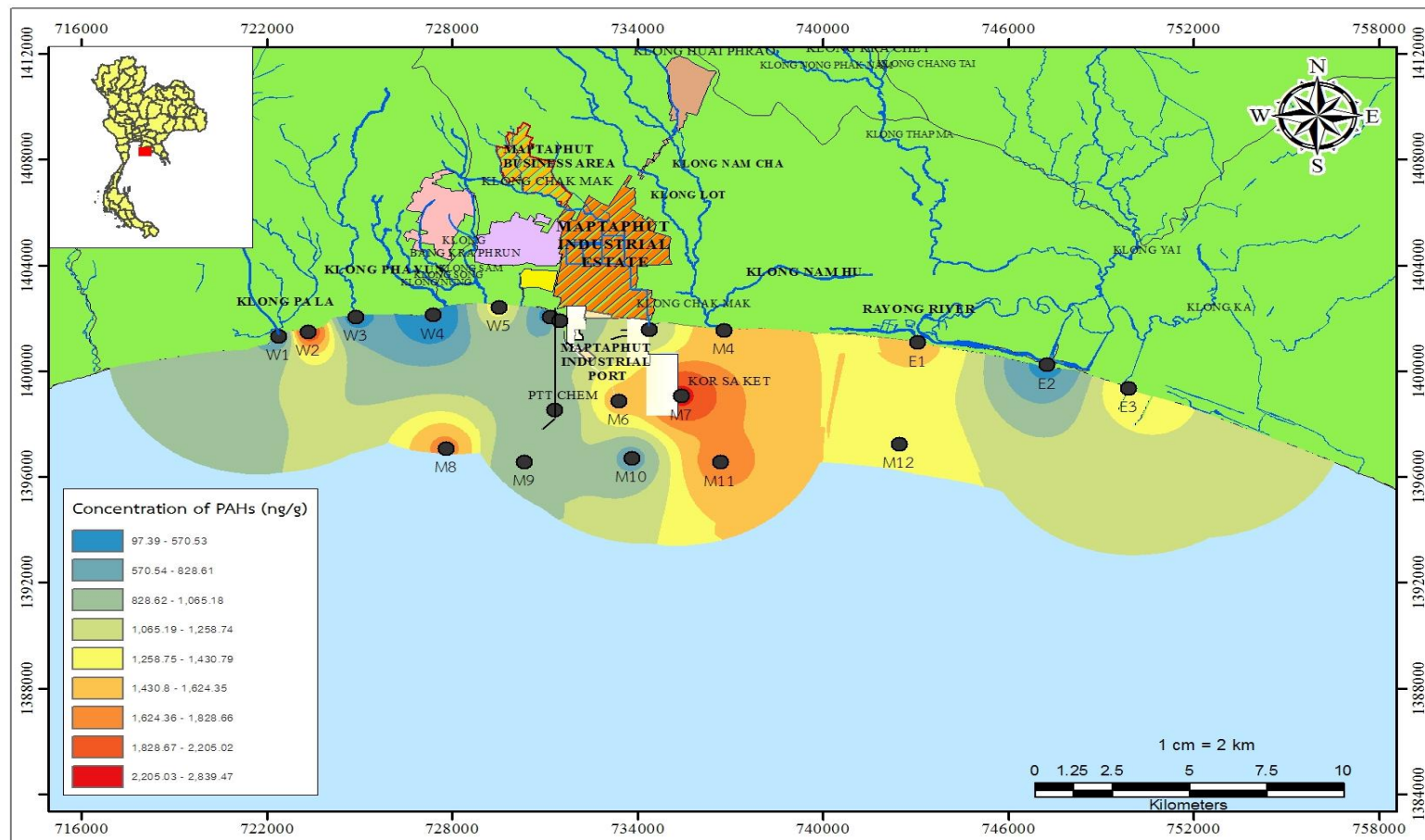
การเปรียบเทียบ		ปริมาณ PAHs ในดินตะกอน (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)			
		ค่าการแพร่กระจาย	ค่าเฉลี่ย	บริเวณต่ำสุด	บริเวณสูงสุด
ช่วง เวลาเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 52	145.10 - 2,030.95	955.62±634.51	E1 (หาดแสงจันทร์)	M5 (ห่างฝั่ง 3 กม.)
	ต.ค. 52	97.36 - 2,839.52	1,078.10±785.95	W4 (หาดน้ำริน)	M7 (ห่างฝั่ง 3 กม.)
	ส.ค. 53	224.22 - 2,167.79	1,235.89±524.38	W4 (หาดน้ำริน)	W2 (ชุมชน ประมงบ้านปลา)
	พ.ค. 54	162.15 - 2,422.81	1,266.01±531.39	W4 (หาดน้ำริน)	M6 (ห่างฝั่ง 3 กม.)
ฤดูกาล	ฤดูมรสุม	159.36 - 1,970.04	1,110.82±470.43	W4 (หาดน้ำริน)	M6 (ห่างฝั่ง 3 กม.)
	ตะวันออก				
	เฉียงเหนือ				
	ฤดูมรสุม	160.79 - 2,337.61	1,156.99±594.67	W4 (หาดน้ำริน)	M7 (ห่างฝั่ง 3 กม.)
	ตะวันตก				
	เฉียงใต้				



ภาพที่ 16 การแพร่กระจายของปริมาณ PAHs เฉลี่ยทั้งหมด (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง จำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด



ภาพที่ 17 การแพร่กระจายของ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง จำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 18 การแพร่กระจายของ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง จำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ตารางที่ 9 ปริมาณ PAHs เฉลี่ย (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และระดับภาวะมลพิษในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

Sites	Acp	Flr	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DhA	BgP	Σ PAHs	Pollution level
W1	3.85	7.59	16.55	15.74	325.67	81.36	14.08	12.74	38.77	37.84	62.67	24.68	15.81	30.94	688.30	moderate
W2	9.42	13.51	31.84	20.04	583.18	220.96	13.76	145.37	99.94	158.11	151.21	75.42	59.56	91.56	1673.88	high
W3	6.79	16.91	24.43	22.85	345.23	143.30	19.67	79.95	78.84	101.59	72.05	49.25	31.99	39.16	1032.01	high
W4	3.71	10.34	8.04	7.17	10.55	15.93	7.01	6.74	22.16	13.55	16.21	8.02	9.22	21.43	160.08	moderate
W5	16.85	15.00	31.08	19.64	347.21	178.82	6.12	178.71	61.60	84.00	72.50	36.61	28.93	31.10	1108.16	high
M1	16.31	13.16	11.62	7.14	48.23	30.08	6.68	17.30	50.89	24.64	20.33	34.04	28.50	20.93	329.85	moderate
M2	7.05	11.22	41.00	20.88	376.92	166.96	3.45	2.76	83.84	42.54	78.72	61.37	37.85	40.74	975.29	moderate
M3	12.25	15.47	28.12	15.58	325.49	108.53	6.60	95.95	91.77	133.76	85.75	72.19	39.89	54.27	1085.62	high
M4	8.39	12.92	45.24	23.30	458.18	197.73	18.42	174.74	180.45	101.44	127.86	47.65	45.51	49.07	1490.88	high
M5	11.92	19.91	32.28	12.50	495.32	186.24	7.97	58.43	63.33	137.60	100.85	55.90	92.16	43.23	1317.64	high
M6	14.05	17.71	50.04	37.92	689.89	198.04	91.86	113.05	80.85	140.02	104.00	56.94	63.76	82.86	1740.99	high
M7	13.21	13.09	45.41	25.83	454.36	199.59	13.56	182.58	80.92	132.23	161.62	70.02	65.36	110.08	1567.86	high
M8	6.08	12.06	46.32	21.08	509.51	204.34	41.92	150.50	135.54	157.22	212.74	65.80	62.97	66.44	1692.51	high
M9	5.94	8.07	28.14	17.51	382.41	161.44	30.53	18.36	70.19	56.93	99.19	38.07	49.96	45.97	1012.69	high
M10	4.74	7.78	35.93	16.36	251.22	115.77	6.37	66.93	50.41	53.88	43.62	37.21	63.01	52.04	805.29	moderate
M11	6.52	13.98	38.58	20.51	433.70	148.65	14.92	105.81	54.31	122.19	106.75	68.05	59.48	85.68	1279.13	high
M12	7.31	74.90	27.33	12.40	498.17	191.49	9.92	42.79	69.39	297.47	75.63	36.54	31.85	45.55	1420.73	high

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Sites	Acp	Flr	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DhA	BgP	Σ PAHs	level of pollution
E1	8.39	10.13	41.94	9.06	442.26	180.53	63.96	64.76	63.32	86.10	71.32	34.01	35.16	39.02	1149.96	high
E2	6.48	11.20	20.83	13.86	229.06	111.60	18.25	92.15	92.46	52.98	73.18	41.37	37.70	91.32	892.45	moderate
E3	23.14	12.71	27.16	14.88	305.72	153.66	16.41	237.61	86.56	162.60	75.03	58.32	33.58	47.42	1254.80	high
average	9.62	15.88	31.59	17.71	375.61	149.75	20.57	92.36	77.78	104.83	90.56	48.57	44.61	54.44	1133.91	high
ERL	16	19	240	85.3	600	665	261	384	320	280	430	-	63.4	430	3793.70	
ERM	500	540	1500	1100	5100	2600	1600	2800	880	1620	1600	-	260	1600	21700.00	
TEL	6.71	21.2	86.7	46.9	113	153	74.8	108	-	-	88.8	-	6.22	-	705.33	
PEL	88.9	144	544	245	1494	1398	693	846	-	-	763	-	135	-	6350.90	

สำหรับการประเมินผลกระทบของการปนเปื้อน PAHs ในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด พิจารณาจากการจัดระดับภาวะมลพิษของ PAHs ในดินตะกอนตาม Baumard *et al.* (1998) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การแบ่งระดับภาวะมลพิษของ PAHs ในดินตะกอน

ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	ระดับภาวะมลพิษ
0 – 100	ระดับต่ำ
> 100 – 1,000	ระดับปานกลาง
1,000 – 5,000	ระดับสูง
> 5,000	ระดับสูงมาก

ที่มา: Baumard *et al.* (1998)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณ PAHs เฉลี่ยในดินตะกอนจำนวน 20 สถานีบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีค่าเท่ากับ $1,133.91 \pm 426.29$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง จัดอยู่ในช่วงระดับภาวะมลพิษที่สูง อาจเนื่องมาจากบริเวณนี้เป็นแหล่งของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีการเดินเรือของเรือบรรทุกขนาดใหญ่และเป็นที่ตั้งของชุมชน ทำให้มีโอกาสสูงที่จะมีการปล่อยของเสียลงสู่ทะเล ซึ่งสถานีส่วนใหญ่ในบริเวณนี้จัดอยู่ในช่วงระดับภาวะมลพิษสูง ยกเว้น สถานี W1 (ปากคลองปลา) W4 (หาดน้ำริน) M1 (ด้านหน้าคลังเก็บน้ำมัน) M2 (จุดระบายน้ำโรงไฟฟ้าโกโลว) M10 (ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร) และ E2 (ปากน้ำระยอง) ที่ช่วงระดับภาวะมลพิษอยู่ในระดับปานกลาง แสดงดังตารางที่ 9 สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณ PAHs ในดินตะกอนบริเวณ Daya Bay, Bohai Sea and Northern part of Yellow Sea in China, West port semi enclosed basin in Malaysia และ Beaufort sea, Alaska in U.S.A. ที่มีภาวะมลพิษอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (Valette-Silver *et al.*, 1999; Khalid *et al.*, 2007; Tavakoly Sany *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2015) แสดงดังตารางที่ 11

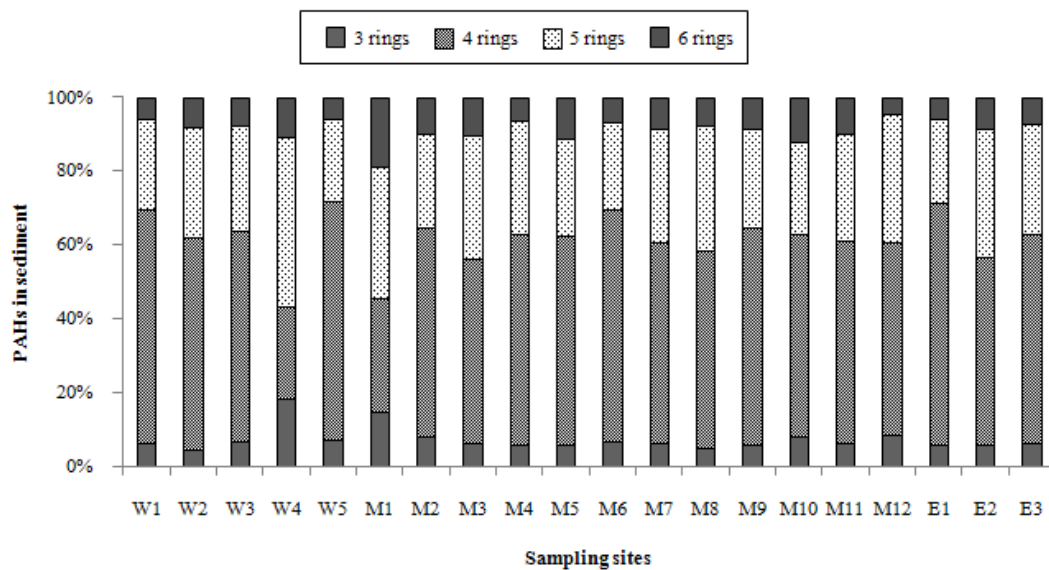
ตารางที่ 11 ปริมาณ PAHs รวม (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และระดับภาวะมลพิษของ
ดินตะกอนในพื้นที่ต่างๆ

Area	N ^a	ΣPAHs (ng/g)	Pollution level ^b	References
Map Ta Phut Area, Thailand	14	1,133.87±426.29	high	This study
Riverine, estuarine and marine sediments, Thailand		6-8,399	low - very high	Boonyatumanond <i>et al.</i> (2006)
Around Koh Sichang anchorage area, Chonburi province, Thailand	16	65.2-1,7994.1	low - high	Boonperm (2012)
Southwestern coast, Taiwan	28	15-907	low - moderate	Jiang <i>et al.</i> (2009)
West port semi enclosed basin, Malaysia	16	100.3-3,446.9	moderate - high	Tavakoly Sany <i>et al.</i> (2013)
River mouth and channel in Kaohsiung Harbor, Taiwan	16	39-30,521	low - very high	Chen <i>et al.</i> (2012)
Main aquaculture area in Guangdong, Daya Bay, China	16	115-1,134	moderate - high	Khalid <i>et al.</i> (2007)
Olbia Harbor (Northern Sardinia), Italy	16	160-770	moderate	De Luca <i>et al.</i> (2005)
Beaufort sea, Alaska, USA	16	159-1,092	moderate - high	Valette-Silver <i>et al.</i> (1999)
Baltimore Harbor, USA	21	2,944-29,590	high - very high	Pereira <i>et al.</i> (1999)
Santander Bay, Northern Spain	16	20-25,800	low - very high	Viguri <i>et al.</i> (2002)
Hellenic coastal zone, eastern Mediterranean, Greece	20	108-26,633	moderate - very high	Botsou and Hatzianestis (2011)
Estuary in Mexico	11	27-418	low - moderate	Jaward <i>et al.</i> (2012)
Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen	46	2.2-604	low to moderate	Mostafa <i>et al.</i> (2009)
Mediterranean coastal, Egypt	39	13.5-22,600	low to very high	Barakat <i>et al.</i> (2011)

หมายเหตุ: ^a Number of PAHs compounds analyzed in each study

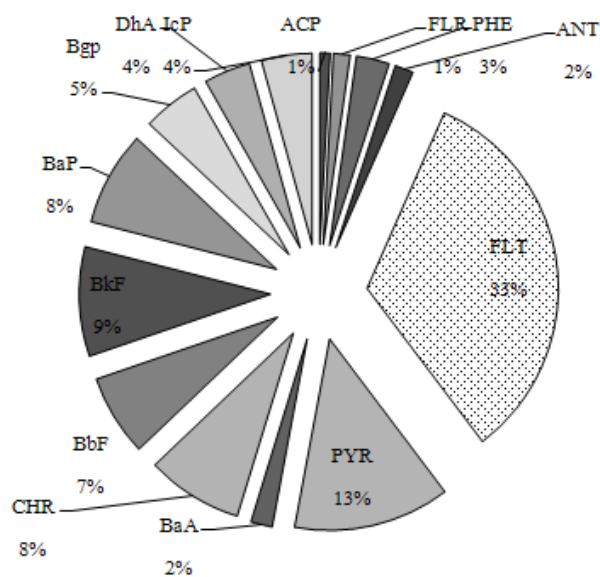
^b The pollution level are assigned by Baumard *et al.* (1998)

องค์ประกอบของ PAHs สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลต่ำ (low molecular weight: LMW PAHs) มีวงอะโรมาติก 2 - 3 วง และกลุ่มของ PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (high molecular weight: HMW PAHs) ประกอบด้วย วงอะโรมาติก 4 - 6 วง จากการศึกษาพบว่า ดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจากจำนวน 20 สถานี มี PAHs ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (HMW PAHs) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่ง PAHs จำนวน 4 วงอะโรมาติก เป็นชนิดเด่นที่พบในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ร้อยละ 56) รองลงมาคือ 5 วง (ร้อยละ 29), 6 วง (ร้อยละ 8) และ 3 วง (ร้อยละ 7) ตามลำดับ ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง ยกเว้น สถานี W4 (หาดน้ำริน) และ M1 (ด้านหน้าคลังเก็บน้ำมัน) ที่มีวงอะโรมาติก 5 วง เป็นชนิดเด่นที่พบ แสดงดังภาพที่ 19 สอดคล้องกับการศึกษา PAHs ในดินตะกอนบริเวณ Kaohsiung ประเทศไต้หวัน, Daya Bay ประเทศจีน, San Francisco Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา และชายฝั่งทะเล Hellenic ทางทิศตะวันออกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศกรีซ ที่พบว่า PAHs ชนิดที่ประกอบด้วยวงอะโรมาติก 4 วง เป็นชนิดเด่นที่มีการแพร่กระจายในดินตะกอน (Pereira *et al.*, 1996; Khalid *et al.*, 2007; Botsou and Hatzianestis, 2011; Chen *et al.*, 2012;) โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ได้แก่ fluoranthene (ร้อยละ 33), pyrene (ร้อยละ 13), benzo(k)fluoranthene (ร้อยละ 9), chrysene, benzo(a)pyrene (ร้อยละ 8), benzo(b)fluoranthene (ร้อยละ 7) ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 20 และ 21

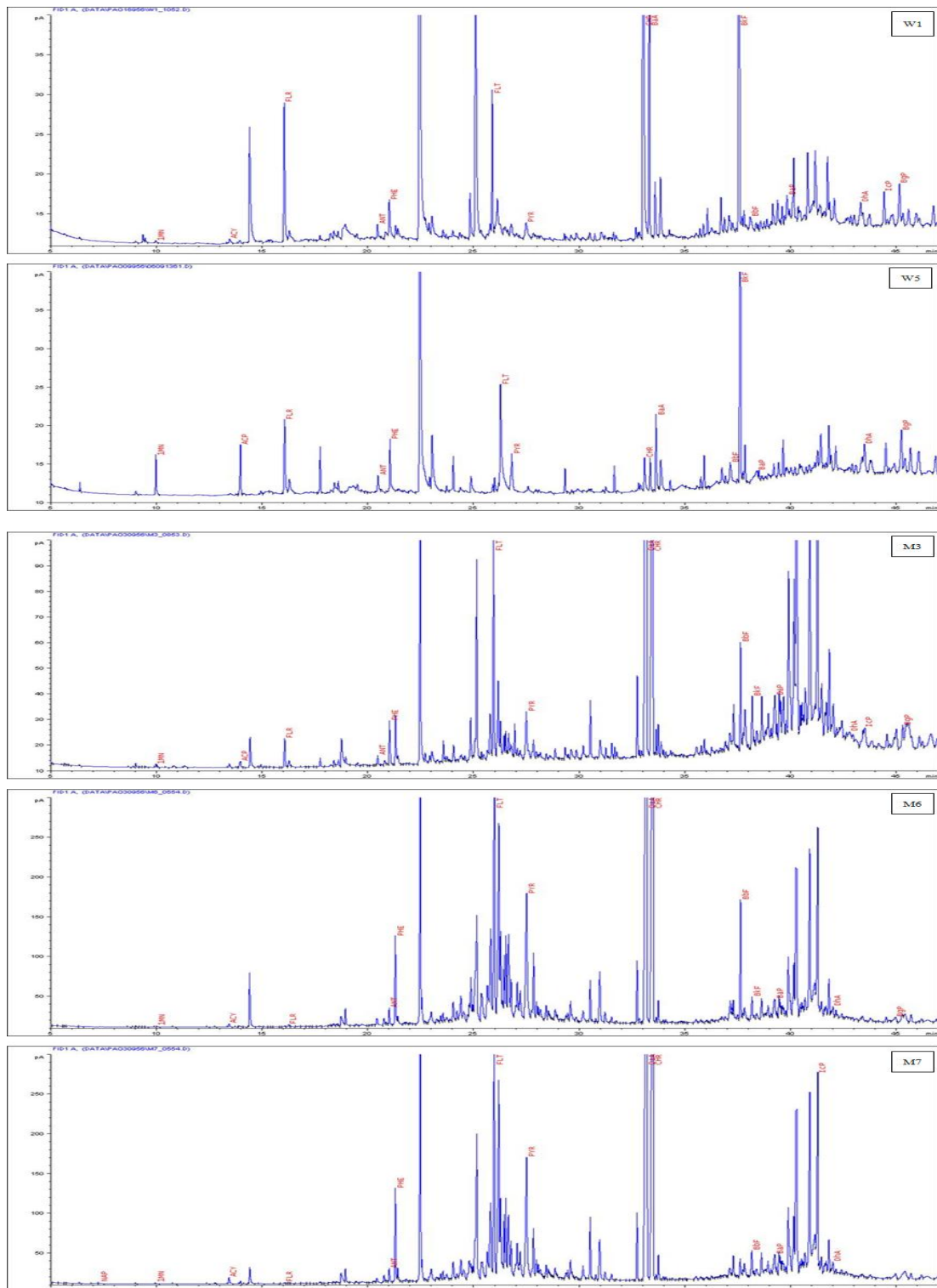


ภาพที่ 19 ปริมาณองค์ประกอบของ PAHs ในดินตะกอน (3 – 6 วงอะโรมาติก)

หมายเหตุ: 3 rings: acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene; 4 rings: fluoranthene, pyrene, benz(a)anthracene, chrysene; 5 rings: benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenz(a,h)anthracene); 6 rings: indeno(1,2,3-cd)pyrene and benzo(g,h,i)perylene



ภาพที่ 20 สัดส่วนชนิดของ PAHs (ร้อยละ) ที่พบในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด



ภาพที่ 21 โครมาโตแกรมของ PAHs ในตัวอย่างดินตะกอนสถานี W1 (ปากคลองพลา) W5 (เขื่อนบ้านหนองแฟบ) M3 ปากคลองซากหมาก M6 (ปากทางเข้าอ่าวมาบตาพุด) และ M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร)

แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอน

อัตราส่วนของ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMW-PAHs) และ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LMW-PAHs) ถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาหาแหล่งกำเนิด PAHs ในสิ่งแวดล้อม โดย pyrogenic source จะมีอัตราส่วนของ LMW/HMW PAHs มากกว่า 1 ในขณะที่ petrogenic source จะมีอัตราส่วนของ LMW/HMW PAHs น้อยกว่า 1 (Yunger *et al.*, 2002; Rocher *et al.*, 2004) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณ LMW-PAHs และ HMW-PAHs มีค่าเฉลี่ยจากจำนวน 20 สถานี เท่ากับ 74.81 และ 1,059.10 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนของ LMW/HMW มีค่าเท่ากับ 0.07 และในทุกสถานีเก็บตัวอย่างมีอัตราส่วนของ LMW/HMW PAHs น้อยกว่า 1 แสดงดังตารางที่ 12 ดังนั้น แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนในทุกสถานีเก็บตัวอย่างบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจึงมาจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เครื่องจักรต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรม และถ่านหิน (pyrogenic source) เป็นหลัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Millward (2014) ที่รายงานว่า PAHs ที่มีแหล่งกำเนิดจาก petrogenic source จะไม่คงทนถาวรและไม่เกิดการสะสมอยู่ในดินตะกอน

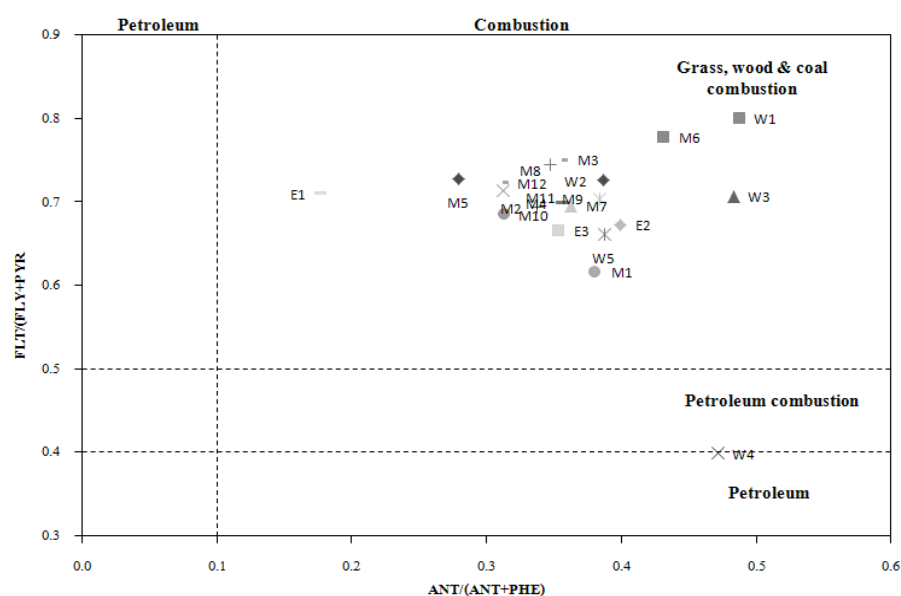
นอกจากนี้ อัตราส่วนความสัมพัทธ์ (isomer ratio) ของสารประกอบ PAHs ได้แก่ Phe/Ant, Ant/Ant+Phe, Flt/Pyr และ Flt/Flt+Pyr ได้นำมาใช้ในการพิจารณาหาแหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอน โดยถ้าอัตราส่วนความสัมพัทธ์ของ Phe/Ant มีค่ามากกว่า 15 และ Ant/Ant+Phe มีค่าน้อยกว่า 0.1 จะบ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดของสาร PAHs มาจากปิโตรเลียม (petrogenic source) แต่ถ้า Phe/Ant มีค่าน้อยกว่า 10 และ Ant/Ant+Phe มีค่ามากกว่า 0.1 จะชี้ให้เห็นได้ว่าสาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (pyrogenic source) ในขณะที่อัตราส่วนความสัมพัทธ์ของ Flt/Pyr มีค่าน้อยกว่า 1.0 และ Flt/Flt+Pyr มีค่าน้อยกว่า 0.4 ชี้ให้เห็นว่า แหล่งกำเนิด PAHs จะมาจากปิโตรเลียม แต่ถ้า Flt/Pyr มีค่ามากกว่า 1.0 และ Flt/Flt+Pyr มีค่ามากกว่า 0.5 แหล่งกำเนิดจะมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และถ้า Flt/Flt+Pyr มีค่าอยู่ในช่วง 0.4 – 0.5 สาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เป็นของเหลว (liquid fossil fuel combustion) (Baumard *et al.*, 1998; Younger *et al.*, 2002)

ตารางที่ 12 อัตราส่วนของ PAHs สำหรับการหาแหล่งกำเนิด PAHs ในดินตะกอนของแต่ละสถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

Sites	LMW PAHs	HMW PAHs	LMW/ HMW	Phe/Ant	Ant/ (Ant+Phe)	Flt/Pyr	Flt/ (Flt+Pyr)
W1	43.73	644.57	0.07	1.05	0.49	4.00	0.80
W2	74.81	1599.07	0.05	1.59	0.39	2.64	0.73
W3	70.99	961.02	0.07	1.07	0.48	2.41	0.71
W4	29.27	130.81	0.22	1.12	0.47	0.66	0.40
W5	82.57	1025.60	0.08	1.58	0.39	1.94	0.66
M1	48.23	281.62	0.17	1.63	0.38	1.60	0.62
M2	80.15	895.14	0.09	1.96	0.34	2.26	0.69
M3	71.42	1014.20	0.07	1.80	0.36	3.00	0.75
M4	89.84	1401.04	0.06	1.94	0.34	2.32	0.70
M5	76.61	1241.03	0.06	2.58	0.28	2.66	0.73
M6	119.73	1621.26	0.07	1.32	0.43	3.48	0.78
M7	97.55	1470.31	0.07	1.76	0.36	2.28	0.69
M8	85.54	1606.97	0.05	2.20	0.31	2.49	0.71
M9	59.66	953.03	0.06	1.61	0.38	2.37	0.70
M10	64.82	740.47	0.09	2.20	0.31	2.17	0.68
M11	79.58	1199.55	0.07	1.88	0.35	2.92	0.74
M12	121.94	1298.79	0.09	2.20	0.31	2.60	0.72
E1	69.52	1080.44	0.06	4.63	0.18	2.45	0.71
E2	52.37	840.08	0.06	1.50	0.40	2.05	0.67
E3	77.88	1176.92	0.07	1.83	0.35	1.99	0.67
average	74.81	1059.10	0.07	1.87±0.76 (1.05-4.63)	0.37±0.07 (0.18-0.49)	2.41±0.68 (0.66-4.00)	0.69±0.08 (0.40-0.80)

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อัตราส่วนความสัมพันธ์ของ Phe/Ant มีค่าน้อยกว่า 10 และ Ant/Ant+Phe มีค่ามากกว่า 0.1 ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนจำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

แบบไม่สมบูรณ์ (pyrogenic source) รวมทั้งอัตราส่วนความสัมพันธของ Flt/Pyr มีค่ามากกว่า 1.0 และ Flt/Flt+Pyr มีค่ามากกว่า 0.5 ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง ยกเว้น สถานี W4 (หาดน้ำริน) แสดงให้เห็นได้ว่า แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมาจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของชีวมวลและถ่านหินเป็นหลัก (pyrogenic source) ส่วนบริเวณหาดน้ำรินสาร PAHs เกิดจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของปิโตรเลียมที่อาจมาจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วของเรือประมงลงสู่ทะเล แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 22 ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนี้เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมและท่าเรือน้ำลึกขนาดใหญ่เพื่อรองรับกิจกรรมทางทะเลและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว มีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก โดยเฉพาะเป็นที่ตั้งของกลุ่มโรงงานปิโตรเคมีและโรงไฟฟ้าถ่านหินที่มีการขนถ่ายถ่านหินและมีกองถ่านหินริมฝั่งบนพื้นที่ที่มีการถมทะเลลงไป จึงทำให้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ที่สะสมอยู่ในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดนี้ คาดว่าน่าจะมาจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากน้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรม การใช้เชื้อเพลิงของเรือที่สัญจรผ่านเข้าและออกท่าเทียบเรือมาบตาพุด การปล่อยควันเสียจากรถ เรือ โรงงานอุตสาหกรรมออกมาเป็นจำนวนมาก การชะล้างหน้าดินจากแผ่นดินที่มี PAHs ปนเปื้อน รวมทั้งการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วของเรือลงสู่ทะเล



ภาพที่ 22 แหล่งกำเนิดของ PAHs ในดินตะกอนจำนวน 20 สถานี จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ Ant/Ant+Phe และ Flt/Flt+Pyr ในดินตะกอน

การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา (ecological risk assessment) เป็นกระบวนการในการประเมินความเป็นไปได้เกี่ยวกับผลกระทบต่อนิเวศวิทยาในทางลบที่อาจจะเกิดขึ้นหรือกำลังเกิดขึ้นอยู่ขณะที่ได้รับสัมผัสกับตัวคุกคาม (stressor) หนึ่งสิ่งหรือมากกว่า (US-EPA, 1992) โดย Sediment Quality Guidelines (SQGs) เป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อนำมาประเมินความเป็นพิษของ PAHs ในดินตะกอนที่มีต่อชุมชนพื้นท้องทะเล โดยอยู่บนพื้นฐานที่มาจาก การรวบรวมข้อมูลความเป็นพิษของ PAHs ที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเลจำนวนมาก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของ PAHs แต่ละชนิดในดินตะกอน (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) โดยมีค่าที่แสดงปริมาณของ PAHs ได้แก่ ระดับผลกระทบต่ำ (Effects Range – Low: ERLs) ระดับผลกระทบปานกลาง (Effects Range – Median: ERM) ระดับผลกระทบเริ่มต้น (Threshold Effects Level: TELs) และระดับที่มีโอกาสที่จะเกิดผลกระทบ (Probable Effects Level: PELs) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ (1) ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ (rarely) (ERL/TEL) (2) ระดับที่เกิดผลกระทบทางชีวภาพปานกลาง ส่งผลกระทบเป็นบางครั้ง (occasionally) ($\geq ERL/TEL$ และ $< ERM/PEL$) และ (3) ระดับที่เกิดผลกระทบอยู่บ่อยครั้ง (frequently) ($\geq ERM/PEL$) (Long *et al.*, 1995, 2006; McCready *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2009)

จากการศึกษา พบว่า ปริมาณ PAHs เฉลี่ยในแต่ละชนิดมีค่าต่ำกว่าค่า ERM และ PEL ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง โดยบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดมีปริมาณ PAHs เฉลี่ยในแต่ละชนิดในดินตะกอนจากจำนวน 20 สถานี จัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ ($< ERL/TEL$) ยกเว้น acenaphthene, fluoranthene, benzo(a)pyrene และ dibenzo(g,h,i)anthracene ที่มีค่ามากกว่าค่า TEL ที่กำหนดไว้ จึงจัดอยู่ระดับที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบทางชีวภาพ ($\geq ERL/TEL$ และ $< ERM/PEL$)

เมื่อพิจารณาในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง พบว่า ความเข้มข้นของ acenaphthene ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่า TEL จึงจัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ ยกเว้น สถานี W1, W4, M8 - M11 และ E2 ที่มีค่าน้อยกว่าค่า TEL ส่วนความเข้มข้นของ fluorene ส่วนใหญ่จัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ ($< ERL/TEL$) ยกเว้น สถานี M5 และ M12 ที่มีค่ามากกว่าค่า TEL สำหรับความเข้มข้นของ phenanthrene, anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene และ benzo(g,h,i)perylene จัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ ($< ERL/TEL$) ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ความเข้มข้นของ fluoranthene ในทุกสถานีเก็บตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า TEL จัดอยู่ในระดับที่เกิดผลกระทบทางชีวภาพปานกลาง ส่งผลกระทบเป็นบางครั้ง ยกเว้น สถานี W4

(หาดน้ำริน) และ W1 (ปากคลองพลา) ส่วนความเข้มข้นของ pyrene ในแต่ละสถานีส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่า TEL จัดอยู่ในระดับที่เกิดผลกระทบทางชีวภาพปานกลาง ยกเว้น สถานี W1 (ปากคลองพลา) W4 (หาดน้ำริน) M3 (ปากคลองชักหมาก) M10 (ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร) และ E2 (ปากน้ำระยอง) และความเข้มข้นของ benzo(a)anthracene ในทุกสถานีเก็บตัวอย่างจัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ ยกเว้น สถานี M6 (ปากทางเข้าอ่าวมาตาพูด) มีค่ามากกว่าค่า TEL ที่กำหนดไว้ รวมทั้งความเข้มข้นของ chrysene ในแต่ละสถานีส่วนใหญ่จัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ มีเพียง 7 สถานี (สถานี W2, W5, M4, M6, M7, M8 และ E3) ที่มีค่ามากกว่าค่า TEL ความเข้มข้นของ benzo(a)pyrene ในแต่ละสถานีส่วนใหญ่จัดอยู่ระดับที่ไม่ค่อยมีผลกระทบทางชีวภาพ มีเพียง 8 สถานี (สถานี W2, M4-M9 และ M11) มีค่ามากกว่าค่า TEL และความเข้มข้นของ dibenzo(g,h,i)anthracene ในทุกสถานีเก็บตัวอย่างมีค่ามากกว่าค่า TEL จึงจัดอยู่ระดับที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดผลกระทบทางชีวภาพ ส่งผลกระทบระดับปานกลางต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเล ($\geq$ ERL/TEL และ $<$ ERM/PEL) แสดงดังตารางที่ 9

Mean ERM Quotients เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสิ่งมีชีวิต (Long and MacDonald, 1998; McCready, 2006; Liu *et al.*, 2009) ตามสูตรดังนี้

$$M - ERM - Q = \frac{\sum (C_i / ERM_i)}{n}$$

โดยที่ C_i คือ ความเข้มข้นดินตะกอนของสารประกอบ i , ERM_i คือ ERM สารประกอบ i , และ n คือ จำนวนของสารประกอบ โดย Mean ERM Quotients จะสัมพันธ์กับโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (low) ระดับปานกลาง (medium-low) ระดับสูง (medium-high) และระดับค่อนข้างสูงที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษ (high-priority) ที่มีค่า < 0.10 , $0.11 - 0.50$, $0.51 - 1.50$ และ > 1.50 ตามลำดับ ซึ่งโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดความเป็นพิษคิดเป็นร้อยละ ≤ 11 , ร้อยละ $25 - 30$, ร้อยละ $46 - 53$ และมากกว่าร้อยละ 75 ตามลำดับ (Long and MacDonald, 1998; Long *et al.*, 1998, 2000) จากการศึกษา พบว่า ในทุกสถานีเก็บตัวอย่างดินตะกอนจำนวน 20 สถานี มีค่า Mean ERM Quotients อยู่ในช่วง $0.01 - 0.08$ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 (ตารางที่ 13) แสดงให้เห็นว่า บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาตาพูดมีความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาอยู่ในระดับต่ำของการปนเปื้อน

สาร PAHs ในดินตะกอน ซึ่งโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือผลกระทบที่มีต่อสัตว์น้ำอยู่ในระดับต่ำสุด (ร้อยละ ≤ 11)

นอกจากนี้ ความเป็นพิษของดินตะกอนที่อาจเกิดขึ้นต่อสัตว์น้ำ สามารถประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจาก PAHs ได้โดยใช้ total toxic benzo(a)pyrene equivalent (TEQ^{carc}) (Qiao *et al.*, 2006; Chen and Chen, 2011) คำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{TEQ}^{\text{carc}} = \sum_i C_i \times \text{TEF}_i^{\text{carc}}$$

โดยที่ C_i เป็นปริมาณ PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และ $\text{TEF}_i^{\text{carc}}$ (toxic equivalency factors) เป็นปัจจัยที่เป็นพิษของ PAHs เมื่อเทียบกับ benzo(a)pyrene โดย US-EPA (1993) กำหนดค่า TEFs สำหรับ benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene และ indeno(1,2,3-cd)pyrene มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.001, 0.1, 0.01, 1, 1 และ 0.1 ตามลำดับ จากการศึกษาค่า TEQ^{carc} ของดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจำนวน 20 สถานี พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 29.29 – 301.77 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (BaP_{eq}) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 151.01±65.14 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (BaP_{eq}) แสดงดังตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า TEQ^{carc} ในดินตะกอนกับ ผลการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ผลการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าบริเวณ Bohai Sea and northern part of Yellow Sea, China (5.95 - 68.80 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง BaP_{eq}) แต่ต่ำกว่าในบริเวณ Meiliang Bay, China (94 – 845 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง BaP_{eq}) Kaohsiung Harbor, Taiwan (55 - 1,964 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง BaP_{eq}) และ Naples Harbor, Italy (2 - 4,723 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง BaP_{eq}) (Qiao *et al.*, 2006; Sprovieri *et al.*, 2007; Chen and Chen, 2011; Li *et al.*, 2015)

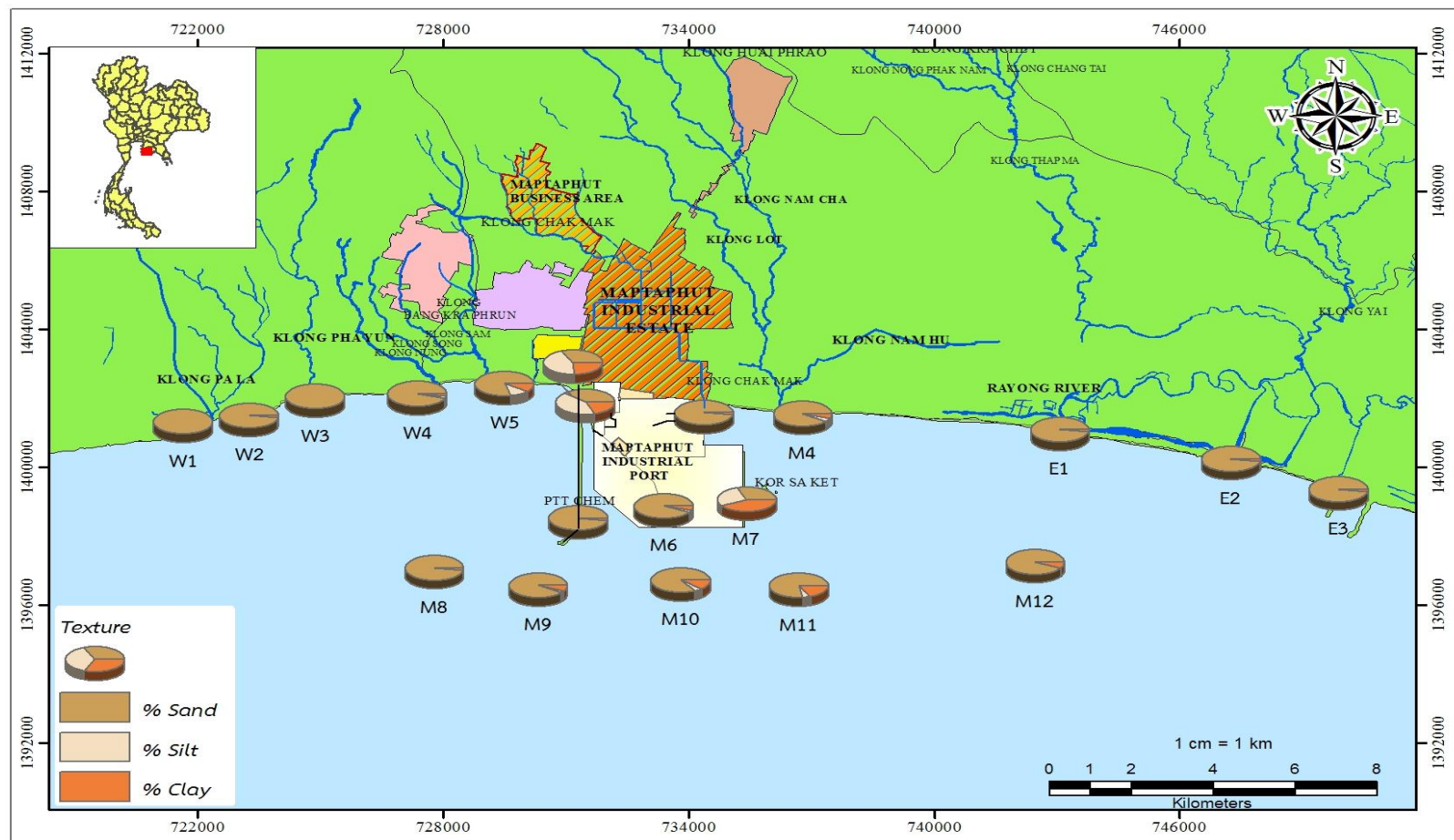
ตารางที่ 13 ค่า ERMq และ TEQ ในดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

Sites	ERMq	total of TEQ
W1	0.03	86.63
W2	0.07	231.41
W3	0.05	119.90
W4	0.01	29.29
W5	0.05	112.88
M1	0.02	58.26
M2	0.04	131.86
M3	0.05	144.13
M4	0.07	199.20
M5	0.07	207.17
M6	0.08	192.24
M7	0.07	244.93
M8	0.08	301.77
M9	0.05	163.61
M10	0.04	116.64
M11	0.06	181.29
M12	0.06	122.08
E1	0.05	123.54
E2	0.04	126.71
E3	0.06	126.61
average	0.05	151.01

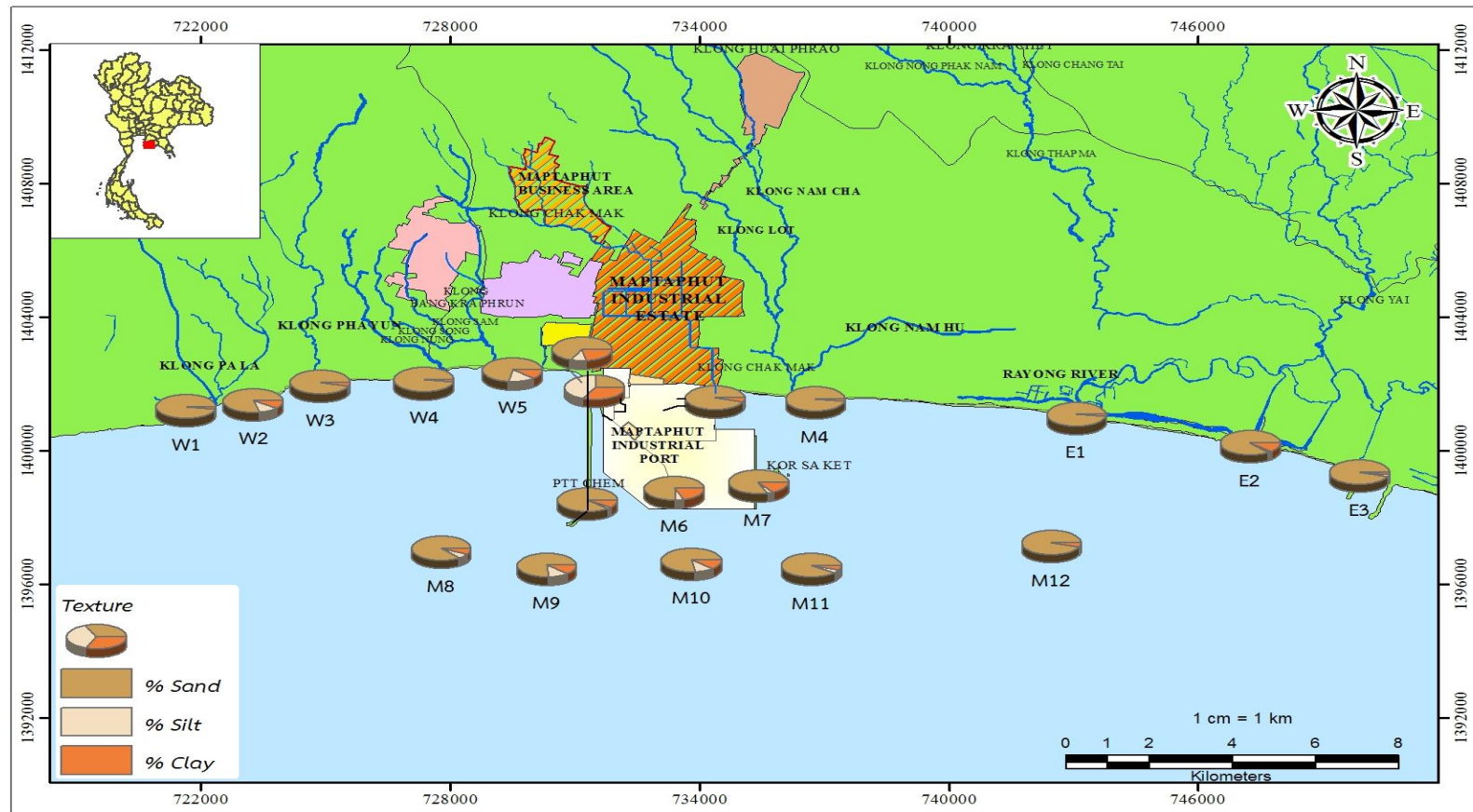
2.2 คุณภาพดินตะกอน

จากการศึกษาปริมาณน้ำในดินตะกอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของแต่ละสถานีตลอดระยะเวลาการศึกษา พบว่า มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.72 ± 8.24 (2.51 – 56.05), 0.45 ± 0.42 (0.05 – 2.67) และ 0.26 ± 0.25 (0.03 – 1.55) ตามลำดับ แสดงดังตารางภาคผนวกที่ จ1 – จ4 จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและ

อินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของทุกช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและฤดูกาลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) โดยบริเวณศูนย์กลางนิคมอุตสาหกรรม (สถานี M1 – M12) มีปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนสูงกว่าด้านทิศตะวันออก (สถานี E1 – E3) และด้านทิศตะวันตกของนิคมอุตสาหกรรม (สถานี W1 – W5) ซึ่งสถานีตามแนวชายฝั่ง (สถานี M1 – M4) มีปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าสถานีที่อยู่ห่างจากแนวชายฝั่ง 3 กิโลเมตร (สถานี M5 – M7) และ 5 กิโลเมตร (สถานี M8 – M12) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนพบมากตามแนวชายฝั่งและลดลงตามระยะห่างจากแนวชายฝั่งที่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนของแต่ละเขตพื้นที่และตามระยะห่างจากฝั่งของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) โดยสถานี M1 (ด้านหน้าคลังเก็บน้ำมัน) M2 (จุดระบายน้ำโรงไฟฟ้าโรงถลุง) และ M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร) มีปริมาณน้ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนสูงสุดในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากทั้ง 3 สถานี มีลักษณะเนื้อดินตะกอนเป็นดินเหนียว (clay) ดินร่วน (loam) และดินร่วนปนเหนียว (clay loam) มีความแตกต่างจากสถานีอื่นๆ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งเนื้อดินตะกอนส่วนใหญ่เป็นดินทราย (sand) ดินร่วนปนทราย (sandy loam) และดินทรายปนร่วน (loamy sand) แสดงดังภาพที่ 23-24 สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาของ แววดา และคณะ (2548); กรมควบคุมมลพิษ (2545); กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ (2552) ที่รายงานว่า ชายฝั่งทะเลมาบตาพุดมีพื้นที่ท้องทะเลทั่วไปเป็นทรายหรือทรายปนโคลน โดยมีทรายมากกว่าโคลน และบางบริเวณพบเปลือกหอยเป็นจำนวนมาก ซึ่งแบบแผนการแพร่กระจายของปริมาณน้ำในดินตะกอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอนมีลักษณะที่เหมือนกัน จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ อินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอน พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้ขนาดอนุภาคดินตะกอนเป็นปัจจัยควบคุมลักษณะการแพร่กระจาย โดยอนุภาคดินตะกอนขนาดใหญ่จำพวกดินทรายจะพบสารอินทรีย์และปริมาณน้ำในดินตะกอนได้น้อย แต่หากอนุภาคดินตะกอนมีขนาดเล็ก จะสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ สารอินทรีย์และปริมาณน้ำในดินตะกอนจะพบได้มากตามไปด้วย (ทิพวัลย์, 2546)



ภาพที่ 23 ลักษณะเนื้อดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



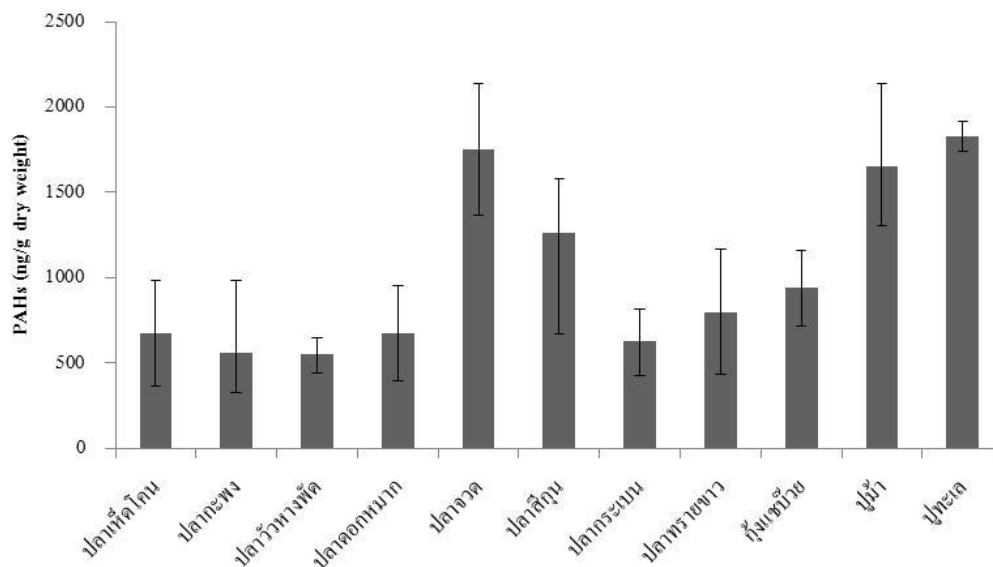
ภาพที่ 24 ลักษณะเนื้อดินตะกอนของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างในอุตสาหกรรมตะวันออกเฉียงเหนือ

3. ชนิดและปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำ และชนิดสัตว์น้ำ

3.1 ชนิดและปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำ

การศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์น้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ทำการรวบรวมสัตว์น้ำจากชาวประมงที่ทำการประมงบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จำนวน 4 สถานี ได้แก่ หาดปลา หาดพูน เขื่อนบ้านหนองแพปล และบ้านตากวน โดยศึกษาปริมาณ PAHs 14 ชนิด ในเดือนพฤษภาคม 2552 เดือนตุลาคม 2552 เดือนสิงหาคม 2553 และเดือนพฤษภาคม 2554 ในสัตว์น้ำทั้งหมด 11 ชนิด แบ่งเป็นปลาจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ ปลาสิ่กุน ปลากระพง ปลาหัวหางพัด ปลาดอกหมากกระโดง ปลาทรายขาว ปลาเห็ดโคน ปลาจวดเทา ปลากระเบน และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง 3 ชนิด ได้แก่ กุ้งแชบ๊วย ปูม้า และปูทะเล

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำจากการเก็บตัวอย่างทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 367.03 – 2,135.24 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ย $1,029.16 \pm 502.90$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แสดงดังตารางผนวกที่ ฉ1 และภาพที่ 25 โดยสัตว์น้ำที่มีปริมาณ PAHs เฉลี่ยสูงสุดคือ ปูทะเล ($1,830.32 \pm 122.71$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ ปลาจวด ($1,751.17 \pm 543.16$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปูม้า ($1,649.91 \pm 355.58$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปลาสิ่กุน ($1,266.05 \pm 513.16$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) กุ้งแชบ๊วย (939.28 ± 313.53 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปลาทรายขาว (798.11 ± 517.03 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปลาดอกหมากกระโดง (675.43 ± 396.52) ปลาเห็ดโคน (674.27 ± 330.36 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปลากระเบน (624.99 ± 196.21 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ปลากระพง (562.01 ± 296.76 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และปลาหัวหางพัด (549.25 ± 87.21 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ



ภาพที่ 25 ปริมาณ PAHs เฉลี่ย (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำแต่ละชนิด

โดยปลาทูน่าเป็นสัตว์น้ำที่มีปริมาณ PAHs มากกว่าสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ อาจเนื่องจากเป็นสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ที่พื้นทะเล และกินซากอินทรีย์สาร ซากพืชซากสัตว์ที่ตายแล้ว ส่วนปลาที่มีปริมาณ PAHs มากที่สุดคือ ปลาจวดเทา เนื่องจากเป็นปลาที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้หน้าดิน ในเขตทะเลตื้นๆ ทั่วไป กินปลาและสัตว์น้ำขนาดเล็กเป็นอาหาร ทำให้อาจได้รับสาร PAHs ที่มีการสะสมอยู่ในดินตะกอนและอาหารที่กินเข้าไป สอดคล้องกับการศึกษาของ จุมพล และคณะ (2548) บริเวณอ่าวเพ จังหวัดระยอง ที่พบการสะสมของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในปลาทูน่ามากกว่าในปลาเห็ดโคน รวมทั้งการศึกษาปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเล Ondo State, Nigeria ของ Ololade and Lajide (2010) ที่พบว่า ปลา (Callinectes sapidus) เป็นชนิดสัตว์น้ำที่มีปริมาณ PAHs และค่าการสะสม PAHs ในสิ่งมีชีวิต (bioconcentration factor: BCF) มากที่สุดรองลงมาก็คือ หอย (*Littorina littorea*) และปลา (*Tilapia zilli*) ตามลำดับ ซึ่ง PAHs มีแนวโน้มที่จะสะสมในพวกสัตว์น้ำที่มีเปลือกแข็ง เช่น หอย กุ้ง มากกว่าในปลา เนื่องจากในปลา PAHs จะถูกทำให้สลายตัวได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผู้อยู่อาศัยที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการทำประมง มีโอกาสที่จะรับประทานปลาหรือหอยที่จับได้ในท้องถิ่นในปริมาณที่มากกว่าผู้ที่อยู่อาศัยไกลออกไป (พงศ์เทพ, 2547)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำกับการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งส่วนใหญ่ ทำการศึกษาในปลาและหอยชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า ปริมาณ PAHs ในปลาชนิดต่างๆ จากการศึกษาค้างนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 549.25 – 1,751.17 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่ง มีค่าน้อยกว่าปริมาณ PAHs ในปลาที่อยู่บริเวณ Straits of Malacca of Malaysia, Victoria Harbor of Hong Kong และ Coastal zone of Ondo State, Nigeria (Fang *et al.*, 2009b; Ololade and Lajide, 2010; Manan *et al.*, 2011)

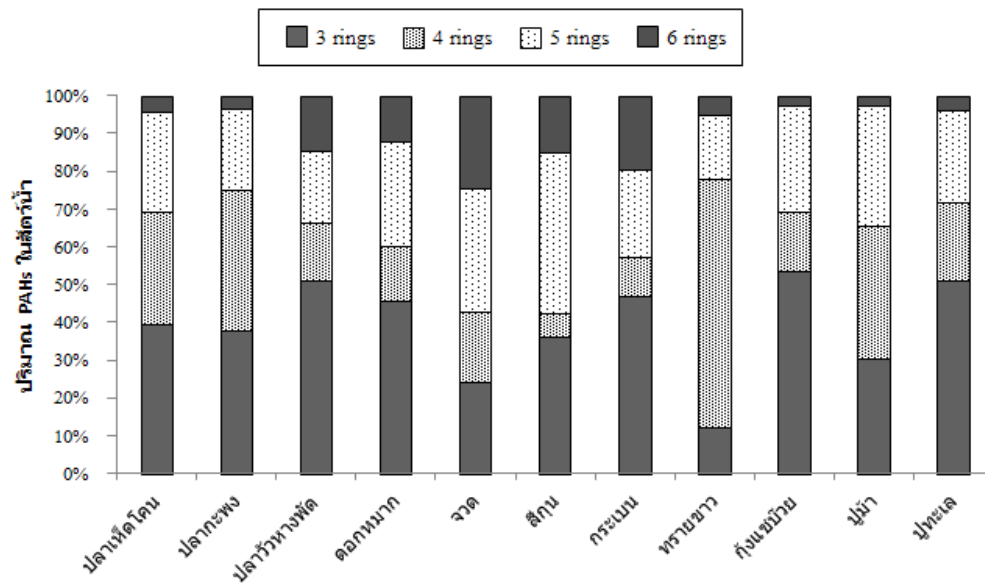
ตารางที่ 14 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำบริเวณพื้นที่ต่างๆ

Samples	Area	N	Concentration	References
Red Fish (<i>Lutjanus erythropterus</i>)	Straits of Malacca, Malaysia	18	130 – 5,138	Manan <i>et al.</i> (2011)
Grouper (<i>Epinephelus areolatus</i>)			3,721 - 9,610	
Pomfret (<i>Pampus argenteus</i>)			7,574	
Mandeli (<i>Coilia dussumieri</i>)	Mumbai Harbor,	15	70.44 (wet wt.)	Dhananjayan and
Mathi (<i>Sardinella longiceps</i>)	India		17.43 (wet wt.)	Muralidharan (2012)
Rabbit fish (<i>Siganus oramin</i>)	Victoria Harbor, Hong Kong	16	1,050 – 4,260	Fang <i>et al.</i> (2009b)
Fishes (<i>Drapane Africana</i> , <i>Cynoglossus senegalensis</i> , <i>Pomadasys peroteti</i>)	The coast of the gulf of Guinea (Ghana)	16	67 - 453	Musa Bandowe <i>et al.</i> (2014)
Flat sardinella (<i>Sardinella maderensis</i>)	Coastal waters of Ghana	15	34.04±0.56 (wet wt.) 54.13±5.22 (wet wt.)	Nyarko <i>et al.</i> (2011)
Common threadfin (<i>Galeoides decadactylus</i>)				
<i>Tilapia zilli</i>	Coastal zone of Ondo State, Nigeria	12	< MDL – 6,870	Ololade and Lajide (2010)
Crab (<i>Callinectes sapidus</i>)	Coastal zone of Ondo State, Nigeria	12	20 - 85,600	Ololade and Lajide (2010)
Green mussel (<i>Perna viridis</i>)	The east coast of Chonburi province	16	2,330 – 3,150	Mokkongpai <i>et al.</i> (2010)

ตารางที่ 14 (ต่อ)

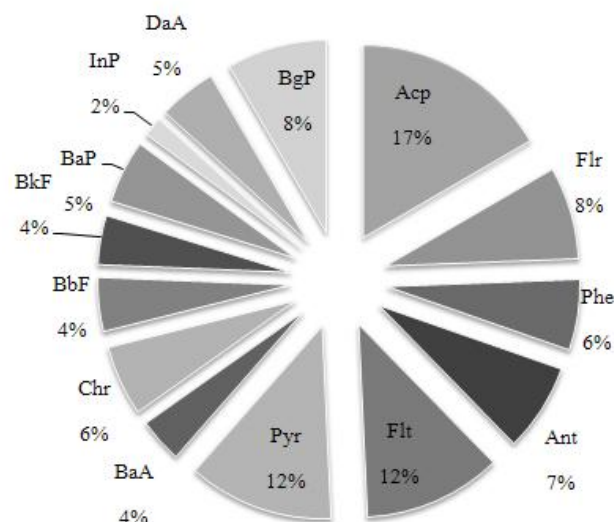
Samples	Area	N	Concentration	References
Green mussel (<i>Perna viridis</i>)	Lower Chao Phraya river	16	240 - 470	เซาว์ (2538)
Ark clam (<i>Barbatia helblingii</i>)	Bushehr coast, Iran	16	421.86	Safahieh <i>et al.</i> (2011)
Rock oyster (<i>Saccostrea cucullata</i>)	The Northern Part of the Persian Gulf (Bushehr Province), Iran	14	146.92 – 268.06	Mirza <i>et al.</i> (2012)
mussel (<i>Perna perna</i>)	Southeastern Brazilian Bay	16	9.51±4.78	Yoshimine and Carreira (2012)
Green-lipped mussel (<i>Perna viridis</i>)	Victoria Harbor, Hon Kong	15	600.4 – 22,858.6	Fang <i>et al.</i> (2009a)
Mussel (<i>Tapes decussate</i>)	Abu Qir Bay, Egypt		11 – 3,880	Khairy <i>et al.</i> (2009)
(<i>Macra coralline</i>)			242 – 2,830	
Perwinkles (<i>Littorina littorea</i>)	Coastal zone of Ondo State, Nigeria	12	< MDL – 79,430	Ololade and Lajide (2010)

สำหรับ PAHs ที่ประกอบด้วยวงอะโรมาติก 3 วง เป็นกลุ่มที่พบมากที่สุดในตัวน้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ร้อยละ 38) รองลงมาคือ กลุ่ม PAHs ที่มี 5 วง (ร้อยละ 28), 4 วง (ร้อยละ 24) และ 6 วง (ร้อยละ 10) ตามลำดับ โดยชนิดของ PAHs ที่พบในตัวอย่างน้ำมากที่สุดคือ acenaphthene รองลงมาคือ pyrene, fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, fluorene, anthracene, phenanthrene และ chrysene ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 26 และ 27 และตารางผนวกที่ 1 สำหรับโครมาโตแกรมของ PAHs ในตัวอย่างตัวน้ำ แสดงดังภาพที่ 28 สอดคล้องกับการศึกษาของ Ololade and Lajide (2010) ที่พบ PAHs ที่มีวงอะโรมาติก 2 - 3 วง เช่น phenanthrene และ anthracene เป็นชนิดเด่นในตัวอย่างน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล Ondo State, Nigeria

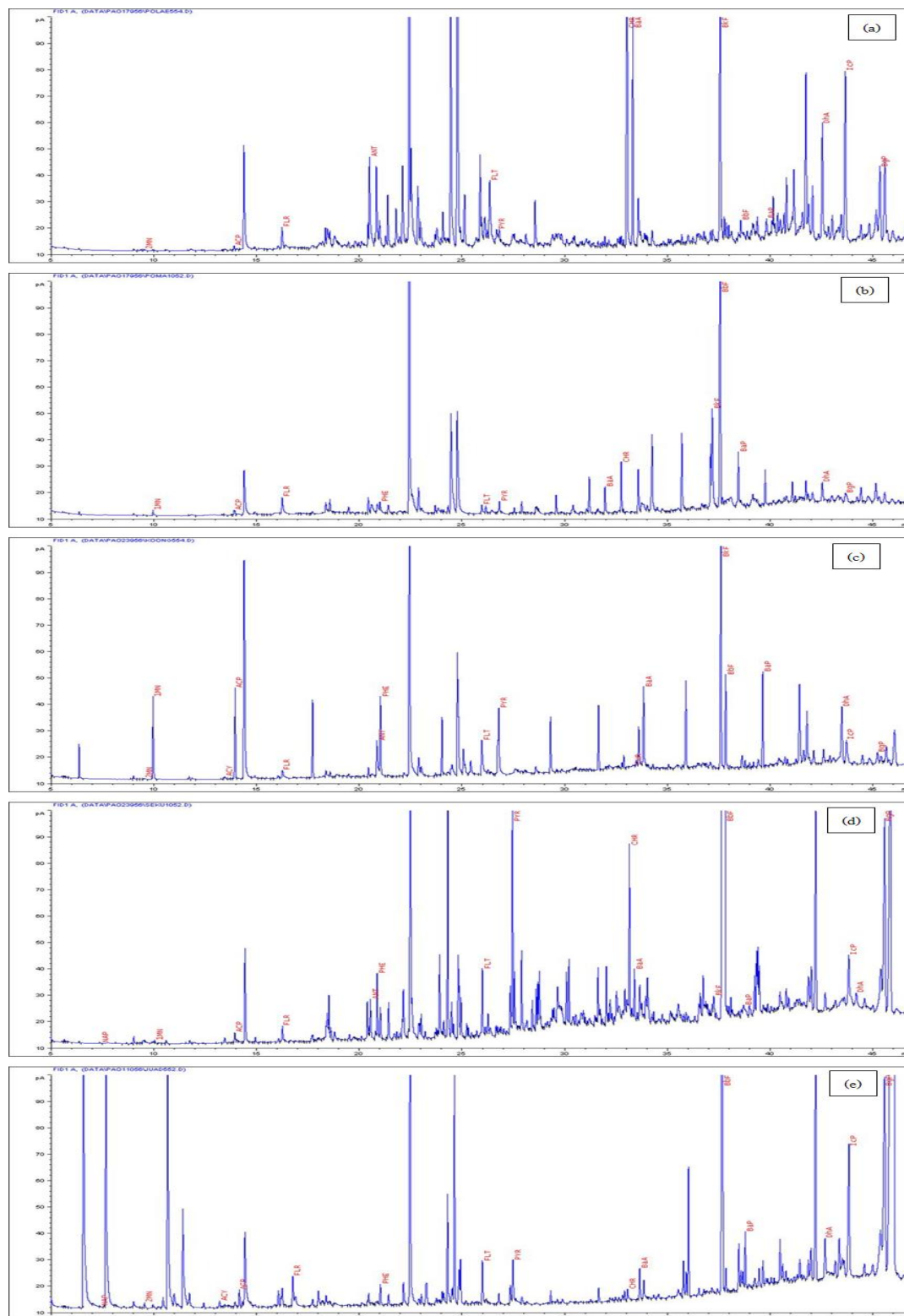


ภาพที่ 26 ปริมาณองค์ประกอบ PAHs ในสัตว์น้ำแต่ละชนิด (3 – 6 วงอะโรมาติก)

หมายเหตุ: 3 rings: acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene; 4 rings: fluoranthene, pyrene, benz(a)anthracene, chrysene; 5 rings: benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenz(a,h)anthracene); 6 ring: indeno(1,2,3-cd)pyrene and benzo(g,h,i)perylene



ภาพที่ 27 สัดส่วนชนิดของ PAHs (ร้อยละ) ที่พบในสัตว์น้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด



ภาพที่ 28 โครมาโตแกรมของ PAHs ที่พบในตัวอย่างสัตว์น้ำ ปูทะเล (a) ปูม้า (b) กุ้งแชบ๊วย (c)
ปลาสิกุล (d) และ ปลาจวดเทา (e)

3.2 ชนิดสัตว์น้ำ

ลักษณะการทำประมง

จากการสัมภาษณ์ชาวประมงที่ทำการประมงบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดที่
หาดพลา หาดพูน บ้านตากวน และบ้านหนองแฟบ พบว่า การทำประมงบริเวณนี้เป็นการทำ
ประมงพื้นบ้านขนาดเล็กแบบเป็นครอบครัว โดยรวมกลุ่มกันจัดตั้งเป็นชมรมประมงเรือเล็ก ทำ
ประมงห่างฝั่งไม่เกิน 3 กิโลเมตร ตามแนวปะการังบริเวณเกาะสะเก็ดและบริเวณหินใหญ่ที่อยู่
ทางด้านทิศตะวันออกของเกาะสะเก็ดที่อยู่ห่างจากท่าเทียบเรือประมาณ 1 กิโลเมตร รวมทั้งบริเวณ
กองหินได้นำขนาดเล็กทางด้านทิศตะวันตกของท่าเรือมาบตาพุด ตั้งแต่หาดน้ำรินไปจนถึงหาดพลา
ได้แก่ หินกอง หินกองน้อย หินยวน หินโจ่ง หินสองพี่น้อง หินพะยูน หินซีก หินแหลมแท่น และ
หินบ้านพระที่มีการเจริญของแนวปะการัง โดยชาวประมงจะออกไปวางอวนลอยในช่วงเช้าเวลา
ประมาณ 5.00 น. และออกไปกู้วนอีกครั้งในเวลาประมาณ 9.00 น. ใช้เวลาที่ยวดยาวประมาณ 2 - 3
ชั่วโมง จำนวน 1 - 2 เที่ยว ส่วนลอบปูจะนำไปวางช่วงเย็น และในช่วงเช้าจะออกไปกู้ลอบเก็บ
ขึ้นมา นอกจากนี้ยังมีการเดินรุนเคย การขุดหาหอยเสียบตามหาดทราย การงมหาหอยครง หอย
หวาน รวมถึงการเลี้ยงหอยแมลงภูแบบแพเชือกที่บ้านตากวน ส่วนการค้าขายสัตว์น้ำในบริเวณนี้
ส่วนใหญ่พ่อค้าจะมารับซื้อถึงที่ นอกจากนั้นชาวประมงจะนำออกไปขายในตลาดที่อยู่บริเวณ
ใกล้เคียง

เรือที่ใช้สำหรับการทำประมงชายฝั่งบริเวณนี้ใช้เรือไม่มีเครื่องยนต์วางท้องแบบไม่มี
เก๋ง ใช้คนทำการประมง 1 - 2 คน ต่อการทำประมง 1 เที่ยว สอดคล้องกับการศึกษาของ ชิริยุทธ
และคณะ (2555) พบว่า เรือประมงที่ใช้ทำประมงในเขตอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ใช้เรือไม่มีทั้งเรือ
เครื่องยนต์วางท้อง และเรือหางยาว ในแต่ละจังหวัดจะมีความยาวเรือใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกัน
ที่รูปร่างของเรือโดยเรือประมงอวนจมปูในเขตจังหวัดระยองเป็นเรือเครื่องยนต์วางท้องแบบไม่มี
เก๋ง ส่วนในเขตจังหวัดจันทบุรีเป็นเรือหางยาวที่ส่วนใหญ่มีความยาว 6.5 เมตร เครื่องยนต์ 4 - 65
แรงม้า และในเขตจังหวัดตราดมีทั้งเรือเครื่องยนต์วางท้องแบบมีเก๋ง มีความยาว 6.0 - 7.0 เมตร
เครื่องยนต์ 8 - 65 แรงม้า และเรือหางยาวที่ส่วนใหญ่มีความยาว 6.0 เมตร เครื่องยนต์ 5 - 85 แรงม้า
เมื่อเปรียบเทียบกับเรือประมงอวนจมปูในเขตอ่าวไทยตอนล่าง จังหวัดสงขลาและจังหวัด

นครศรีธรรมราช ส่วนใหญ่เป็นเรือหางยาว มีความยาวเรือ 7.0 เมตร จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันที่รูปร่างและลักษณะของเรือ (วราภรณ์ และ หัสพงศ์, 2549)

องค์ประกอบชนิดของประชาคมสัตว์น้ำ

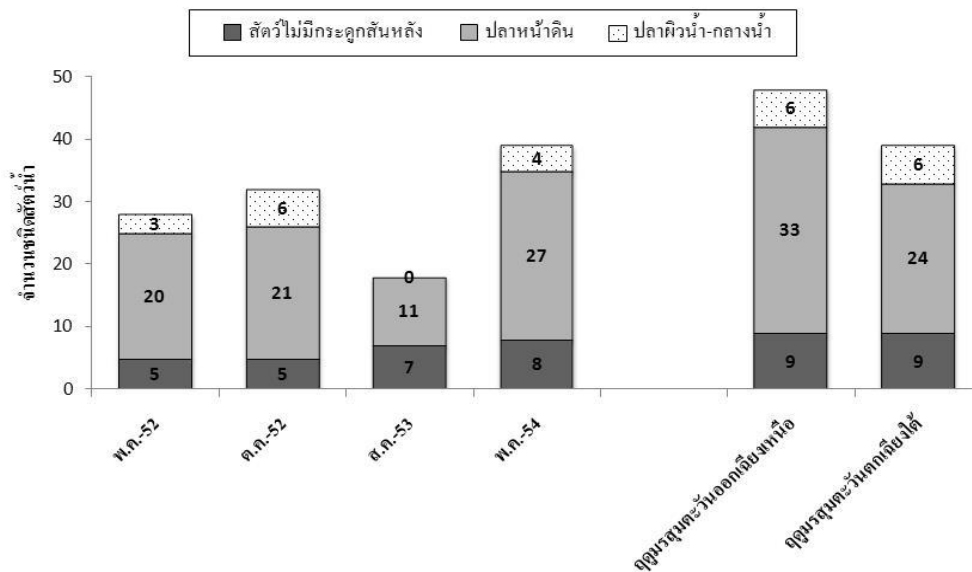
จากการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำจากชาวประมงที่ทำการประมงในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด 4 สถานี ได้แก่ ชุมชนประมงบ้านปลา ชุมชนประมงหาดพูน ชุมชนประมงเขื่อนบ้านหนองแฟบ และชุมชนประมงบ้านตากวน ในช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน พบสัตว์น้ำทั้งหมด 60 ชนิด 38 วงศ์ วงศ์ที่มีความหลากหลายชนิดที่สุดคือ วงศ์ปลาเป็น (Leiognathidae) และวงศ์ปลาทราย (Nemipteridae) พบจำนวน 4 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ปลาสิğun (Carangidae) วงศ์ปลาหลังเขียว (Clupeidae) วงศ์ปลากะพง (Lutjanidae) และวงศ์ปลากระเบน (Trygonidae) พบจำนวน 3 ชนิด การศึกษาครั้งนี้สามารถจำแนกกลุ่มสัตว์น้ำที่จับได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (ตารางผนวกที่ ข1 และภาคผนวก ข) ได้แก่

1. กลุ่มปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำถึงกลางน้ำ มีจำนวน 11 ชนิด 6 วงศ์
2. กลุ่มปลาที่อาศัยอยู่ตามหน้าดิน มีจำนวน 37 ชนิด 22 วงศ์
3. กลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีจำนวน 12 ชนิด 10 วงศ์

โดยในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างสัตว์น้ำทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่า ในเดือนพฤษภาคม 2554 พบจำนวนชนิดพันธุ์สัตว์น้ำมากที่สุด (39 ชนิด จาก 28 วงศ์) รองลงมาคือ ในเดือนตุลาคม 2552 (32 ชนิด จาก 21 วงศ์) เดือนพฤษภาคม 2552 (28 ชนิด จาก 22 วงศ์) และเดือนสิงหาคม 2553 (18 ชนิด จาก 14 วงศ์) ตามลำดับ ซึ่งในทุกช่วงเวลากการเก็บตัวอย่าง ประเภทสัตว์น้ำที่พบมากที่สุด คือ กลุ่มปลาที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดิน รองลงมาคือ กลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และกลุ่มปลาที่อาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำถึงกลางน้ำ ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 29 ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำที่พบได้ในทุกช่วงเวลากการเก็บตัวอย่าง มีจำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ปลาเกล็ดขาวเม้า ปลาดอกหมากกระโดง ปลากะพงเหลืองขมิ้น ปลาหัวหางพัด ปลาจวดเทา ปลาเห็ดโคนเงิน หมึกหอม หอยแมลงภู และปูม้า ชนิดพันธุ์สัตว์น้ำที่พบจากการศึกษาครั้งนี้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมาบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และแนวปะการังบริเวณเกาะเสม็ด เช่น วงศ์ปลากะพง ปลาสลิดทะเล ปลาเห็ดโคน ปลาดอกหมาก ปลาเป็น ปลาสิğun ปลาทรายขาว ปลาหัว ปลาหมูสี และปลากระเบน ส่วนสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น กุ้งตักแตน หมึกหอม หอยแมลงภู หอยวาน ปูม้า (กรมควบคุมมลพิษ, 2545; แวดา และคณะ, 2548; ดุสิต และคณะ, 2551) โครงสร้างประชาคมปลาบนกลุ่มปะการังบริเวณเกาะและกองหินได้

น้ำใกล้พื้นที่ทำเทียบเรือน้ำลึกและนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีรายงานว่า ในปี 2535 บริเวณเกาะสะแกและหินใหญ่พบชนิดพันธุ์ปลา 40 และ 29 ชนิด ตามลำดับ แต่ในปี 2545 บริเวณเกาะสะแกพบชนิดพันธุ์ปลาลดลงเหลือเพียง 6 ชนิด หินใหญ่พบเพิ่มขึ้นเป็น 36 ชนิด และพบมากที่สุดทางทิศใต้ของหินกอง 52 ชนิด (Sudara *et al.*, 1992; Manthachitra and Cheevaporn, 2007) อาจเนื่องมาจากปะการังในบริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของเกาะสะแกได้รับอิทธิพลจากความขุ่นของน้ำทะเลมากที่สุด มีอัตราการตกตะกอนสูงที่สุด ซึ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเลจะทำให้แหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำลดจำนวนลง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากรสัตว์น้ำ

เมื่อพิจารณาตามฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) พบชนิดพันธุ์สัตว์น้ำทั้งหมด 48 ชนิด 32 วงศ์ มากกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553) ที่พบสัตว์น้ำจำนวน 39 ชนิด 25 วงศ์ ซึ่งกลุ่มปลาที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดินมีจำนวนชนิดพันธุ์สัตว์น้ำมากที่สุด สอดคล้องกับการสำรวจบริเวณมาบตาพุดของ บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด (2541) พบว่า ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบสัตว์น้ำจำนวน 59 ชนิด รวม 38 วงศ์ ปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้เฉลี่ย 117.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มากกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พบสัตว์น้ำเพียง 35 ชนิด รวม 26 วงศ์ โดยพบปลาเป็นมากที่สุด ปริมาณสัตว์น้ำจับได้เฉลี่ย 897.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะเดือนสิงหาคม 2553 มีฝนตกเกือบทุกวัน ทำให้ชาวประมงไม่สามารถออกเรือไปทำการประมงได้ตามปกติ และการทำประมงด้วยการวางอวนลอยนั้นไม่สามารถทำได้ ต้องมีการเปลี่ยนมาทำประมงด้วยเครื่องมือลอบปูแบบพับได้แทน ส่งผลให้จำนวนชนิดและปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้จำพวกปลาลดจำนวนลง สอดคล้องกับการศึกษาของ นิลนาจ และ อนุตร (2543); จารุภา และ คุสิต (2551) ที่พบการทำประมงด้วยเครื่องมือลอบปูแบบพับได้ ตามแนวชายฝั่งห่างฝั่งไม่เกิน 3,000 เมตร ที่ระดับความลึกน้ำ 5.5 - 8.5 เมตร จากหมู่บ้านชาวประมงบ้านที่ตำบลตะพง บริเวณหินดำ และบ้านกรอกยายชา บริเวณรอบเกาะสะแก



ภาพที่ 29 จำนวนชนิดพันธุ์สัตว์น้ำที่พบตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างและฤดูกาล

สัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด สามารถนำมาจำแนกกลุ่มสัตว์น้ำตามชนิดของอาหารที่กินได้เป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มสัตว์น้ำที่กินแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหาร (planktivores) พบจำนวนทั้งสิ้น 12 ชนิด แบ่งเป็นปลา 7 ชนิด ได้แก่ ปลาทุ ปลาหลังเขียว ปลาหลังเขียวทองขาว ปลาแป้นครีบเหลือง ปลาแป้นใหญ่ ปลาแป้นแถบ และ ปลาแป้นเบื้อ สำหรับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มี 5 ชนิด ได้แก่ เคย หอยหวาน หอยแมลงภู่ กุ้งแชบ๊วย และ กุ้งกุลาดำ

2. กลุ่มสัตว์น้ำที่กินพืช สาหร่ายเป็นอาหาร (herbivores) พบจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ปลากระบอกหางเขียว และ ปลานกแก้วสีเพลิง

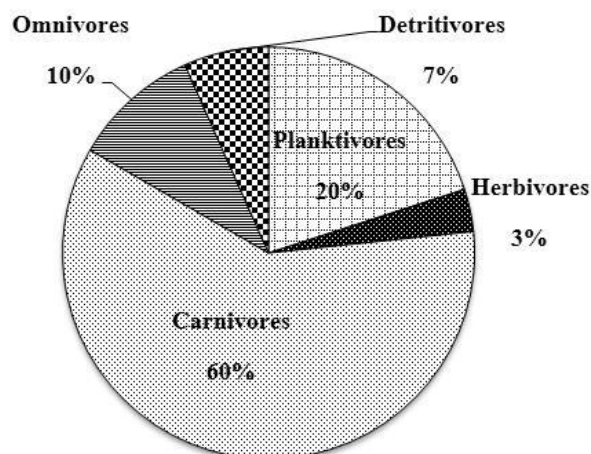
3. กลุ่มสัตว์น้ำที่กินแพลงก์ตอนสัตว์ ปลา และสัตว์น้ำขนาดเล็กเป็นอาหาร (carnivores) เป็นกลุ่มที่พบมากที่สุดจำนวน 36 ชนิด แบ่งเป็นปลา 33 ชนิด ได้แก่ ปลาเฉลิบบ ปลาสิกุลแก้มดำ ปลาสิกุลกบ ปลากระดูกขาว ปลากระดูก ปลาแมว ปลาลิ้นควาย ปลาลิ้นหมา ปลาเกล็ดข้าวเม่า ปลาดอกหมากกระโดง ปลากระดูกงา ปลาสร้อยนกเขาทะเล ปลาข้าวเม่าน้ำลึก ปลาหมูสี แก้มแดง ปลากระดูกแดงปาน ปลากระดูกข้างเหลือง ปลากระดูกเหลืองขมิ้น ปลาหัวหางพัด ปลาทรายขาวหลังแถบขาว ปลาทรายขาวจุด ปลาทรายแดงโม่ง ปลาหางควาย ปลาซ่อนทะเล ปลาจวด

เทา ปลากระรังเสือกกริบยาว ปลาเก๋ำบั้งแจก ปลาเห็ดโคนเงิน ปลาเห็ดโคนแท่ง ปลาลิ้นควายจุด ปลา
วัวหนามยาว ปลากระเบน ปลากระเบนทองจุดฟ้า และ ปลากระเบนหัวแหลม ส่วนสัตว์ไม่มีกระดูก
สันหลัง พบจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ หมึกหอม กุ้งตักเตนเขียว และ หอยกะพง

4. กลุ่มสัตว์น้ำที่กินอาหารทุกชนิดทั้งพืชและสัตว์ หรืออาจจะกินสลับกันแล้วแต่ชนิด
ของอาหารที่พบ (omnivores) มีจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปลาข้างตะเกียบ ปลาสาหร่าย ปลาฉลาม ปลา
ตะกรับ ปลาสลิดทะเลจุดส้ม และ ปลาสลิดทะเลแถบ

5. กลุ่มสัตว์น้ำที่กินซากพืชซากสัตว์ อินทรีย์ที่เน่าเปื่อยเป็นอาหาร (detritivores) พบ
จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ หอยครง หอยเสียบ ปูม้า และ ปูทะเล

กลุ่มสัตว์น้ำที่พบมากที่สุดบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดคือ กลุ่มสัตว์น้ำที่กิน
สัตว์เป็นอาหาร (carnivores) คิดเป็นร้อยละ 60 ของสัตว์น้ำที่พบทั้งหมด รองลงมาคือ กลุ่มกิน
แพลงก์ตอน (planktivores) (ร้อยละ 20) กลุ่มกินทั้งพืชและสัตว์ (omnivores) (ร้อยละ 10) กลุ่มกิน
ซากพืชซากสัตว์ (ร้อยละ 7) และ กลุ่มสัตว์น้ำกินพืช (herbivores) (ร้อยละ 3) ตามลำดับ แสดงดัง
ภาพที่ 30



ภาพที่ 30 กลุ่มสัตว์น้ำที่พบโดยเก็บรวบรวมจากชาวประมงในบริเวณหาดปลา หาดพุน เขื่อนบ้าน
หนองแฟบ และบ้านตากวน ในช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล และดินตะกอน ซึ่ง
แบ่งตามชนิดของอาหารที่กิน

เมื่อนำข้อมูลด้านชีววิทยาการกินอาหารของสัตว์น้ำมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปของห่วงโซ่อาหารเพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ของการกินอาหารระหว่างสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระบบนิเวศ พบว่า ห่วงโซ่อาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดส่วนใหญ่เป็นประเภทแบบจับกิน (grazing food chain) โดยลำดับขั้นของการกิน (trophic level) เริ่มจากผู้ผลิตขั้นต้น (primary producer) ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช และสาหร่าย ผ่านไปยังสัตว์กินพืช (grazing herbivore) ผู้บริโภคลำดับที่ 1 เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ กุ้ง หอย ปลาขนาดเล็ก และผ่านไปยังผู้บริโภคลำดับที่ 2 คือสัตว์ที่กินผู้บริโภคลำดับที่ 1 เป็นอาหาร (carnivores) เช่น หมึก ปลาต่างๆ และผู้บริโภคลำดับสุดท้ายเป็นพวกปลากินเนื้อที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังพบห่วงโซ่อาหารแบบกินเศษอินทรีย์ (detritus food chain) ซึ่งเป็นห่วงโซ่อาหารที่เริ่มต้นจากสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายซากของสิ่งมีชีวิตโดยผู้ย่อยสลาย และจะถูกกินโดยสัตว์ เช่น หอยและปู แล้วส่งต่อไปยังผู้ล่าอื่นๆ ตามลำดับขั้นการบริโภค ทั้งนี้ระบบนิเวศทางทะเลบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจะมีการรวมตัวกันของห่วงโซ่อาหารหลายๆ ชุด อย่างซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตหนึ่งสามารถกินอาหารได้หลายอย่างและในเวลาเดียวกันยังเป็นอาหารให้กับสิ่งมีชีวิตอื่นอีกหลายชนิด ทำให้มีการถ่ายทอดพลังงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นและสัมพันธ์เกี่ยวโยงกันไปมาในลักษณะสายใยอาหาร (food web) โดยในช่วงเดือนพฤษภาคม 2554 มีความซับซ้อนมากที่สุด เพราะเป็นช่วงเวลาที่พบจำนวนชนิดสัตว์น้ำมากที่สุด สำหรับสายใยอาหารในแต่ละช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพผนวกที่ ณ1 – ณ4

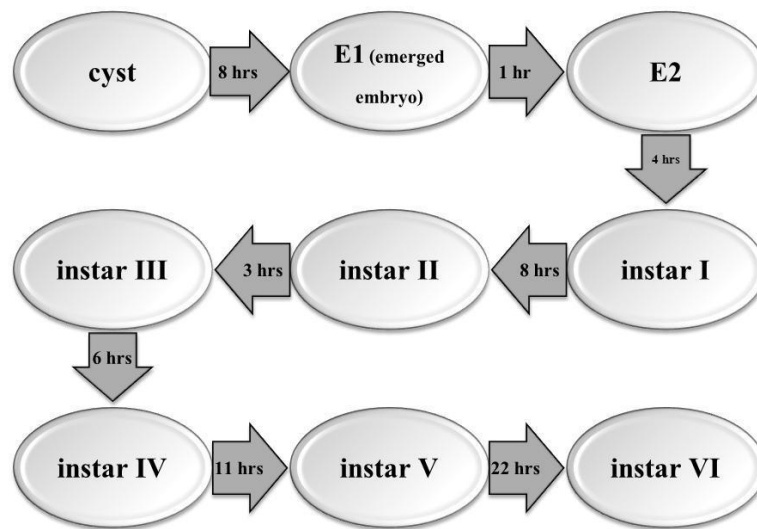
4. ความเป็นพิษเฉียบพลัน

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ของสารไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด ได้แก่ phenanthrene และ fluoranthene และสารมาตรฐานคือ sodium dodecyl sulphate (SDS) ที่มีต่อสัตว์น้ำ 3 ชนิด ได้แก่ อาร์ทีเมีย (*Artemia* sp.) กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguensis*) และปลากะพงขาว (*Lates calcarifer*) ผลการศึกษาที่ได้เป็นดังนี้

4.1 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่ออาร์ทีเมีย

ในขั้นตอนแรกศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะฟักและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาของตัวอ่อนระยะต่างๆ ของอาร์ทีเมีย เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมากำหนดเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอ่อนอาร์ทีเมียระยะ instar II หรือ III ซึ่งเป็นระยะตัวอ่อนที่จะนำมาทดสอบตามหลักการ ARC-test โดยเป็นระยะที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาทดสอบความเป็นพิษ เนื่องจากอาร์ทีเมียระยะ instar II-III มีความไวในการตอบสนองต่อการได้รับสารมากกว่า instar I เป็นเพราะระยะ instar I ที่เพิ่งฟักจากไข่ใหม่ๆ เป็นช่วงที่มีไข่แดงเก็บสะสมอยู่ ซึ่งการซึมผ่านทางเยื่อผิวหนังของระบบทางเดินอาหารในระยะตัวอ่อนนี้ยังไม่สมบูรณ์ และมีการสัมผัสสารพิษทันทีที่สัตว์มีการลอกคราบเพื่อเข้าสู่ระยะ instar II (Sorgeloos *et al.*, 1978; Vanhaecke, 1980; Togulga, 1998;)

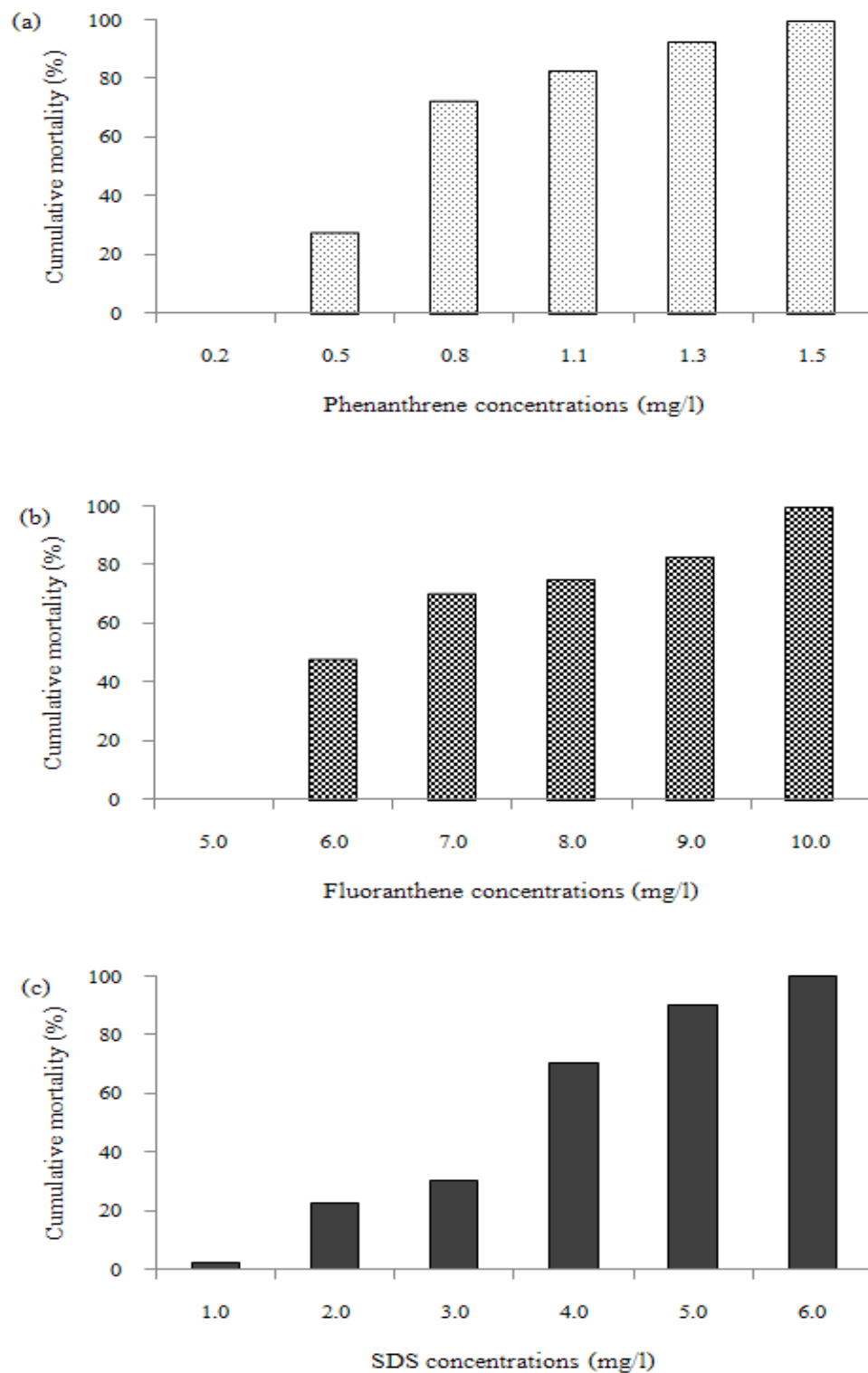
ผลการศึกษาครั้งนี้ เวลาที่อาร์ทีเมียใช้ในการฟักออกจากไข่ (cyst) จนเป็นตัวอ่อนระยะ instar I ใช้เวลา 13 ชั่วโมง และพัฒนาจากระยะ instar I เข้าสู่ตัวอ่อนระยะต่างๆ ของอาร์ทีเมีย แสดงดังภาพที่ 31 แสดงให้เห็นว่า ไข่อาร์ทีเมียที่นำมาทดสอบเป็นไข่ที่มีคุณภาพ เนื่องจากไข่เริ่มฟักเป็นตัวอ่อนภายในระยะเวลา 15 ชั่วโมง (อนันต์ และคณะ, 2536) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อาร์ทีเมียมีการพัฒนาเป็นตัวอ่อนในระยะ instar V ซึ่งอาร์ทีเมียระยะ instar III หรือ IV เป็นตัวอ่อนในระยะแรกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องกินอาหาร (Sorgeloos *et al.*, 1978; Vanhaecke *et al.*, 1980) ทำให้การอดอาหารระหว่างการทดลองไม่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง



ภาพที่ 31 ระยะเวลาในการเพาะฟักและพัฒนาเป็นตัวอ่อนระยะต่างๆ ของอาร์ทีเมีย

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene fluoranthene และ SDS ต่ออาร์ทีเมียในช่วงระดับความเข้มข้น 0.2 – 1.5, 5.0 – 10.0 และ 1.0 – 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราการตายสะสมของอาร์ทีเมียเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงไว้ดังภาพที่ 32

เมื่อนำอัตราการตายสะสมมาคำนวณหาค่าระดับความเข้มข้นที่ทำให้อาร์ทีเมียตายร้อยละ 50: LC_{50} (ช่วงระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) พบว่า phenanthrene, fluoranthene และ SDS มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.654 (0.577 – 0.724), 6.620 (5.727 – 7.367) และ 3.612 (1.465 – 4.404) มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่า อาร์ทีเมียมีความไวในการตอบสนองต่อ phenanthrene มากที่สุด รองลงมาคือ SDS และ fluoranthene ตามลำดับ โดยสาร PAH ชนิด phenanthrene (3 วง) มีความเป็นพิษมากกว่า fluoranthene (4 วง) สอดคล้องกับการศึกษาของ Kennish (1997) ที่รายงานว่า สาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (กลุ่มที่มี 2-3 วง) มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันมากกว่ากลุ่มสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (กลุ่มที่มี 4-5 วง) รวมทั้งการศึกษาของ Kuwabara *et al.* (1980); Abernethy *et al.* (1986) พบว่า anthracene (3 วง) มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่ออาร์ทีเมียมากกว่า pyrene (4 วง) และ benzo(a)pyrene (5 วง) ตามลำดับ นอกจากนี้สาร PAHs มีความเป็นพิษต่ออาร์ทีเมียมากกว่าสารไฮโดรคาร์บอนประเภทเบนซีน โทลูอิน และไซลีนที่มีค่า LC_{50} ที่เวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 310.50, 136.42 และ 106.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดารณี, 2545)



ภาพที่ 32 การตายสะสมของอาร์ทีเมีย เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 15 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ช่วงความเชื่อมน้อยละ 95 ของสารทดลองต่ออาร์ทีเมีย ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

Chemical	Acute toxicity of <i>Artemia</i> (mg/l)		
	LC ₅	LC ₁₀	LC ₅₀
phenanthrene	0.319	0.374	0.654
fluoranthene	4.586	4.973	6.620
sds	2.423	2.646	3.612

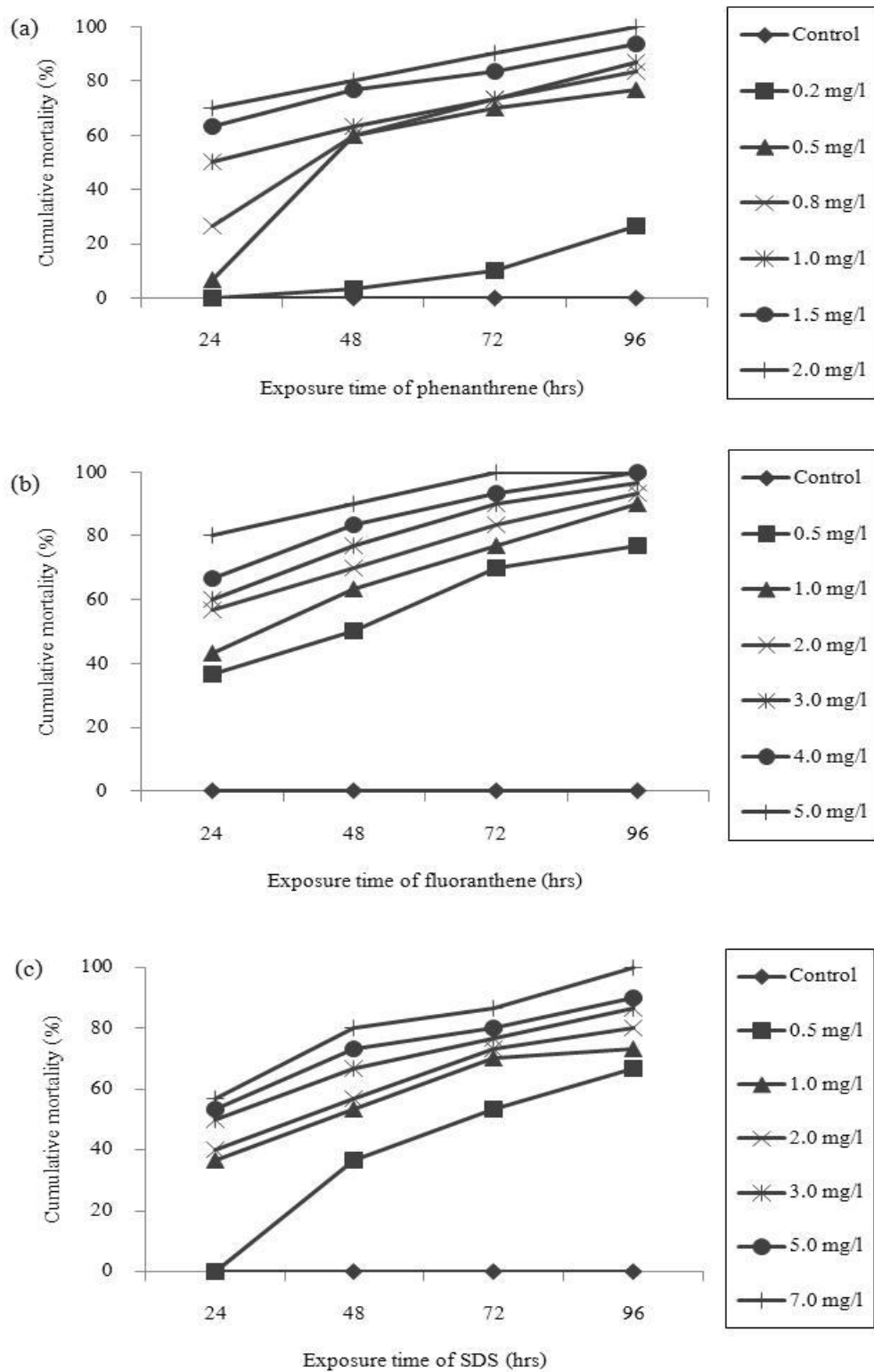
เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene ต่ออาร์ทีเมียกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Abernethy *et al.* (1986) ที่มีค่า LC₅₀ ในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.677 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ fluoranthene ผลการศึกษาที่ได้มีค่ามากกว่าการศึกษาของ Kagan *et al.* (1985) ที่มีค่า LC₅₀ เท่ากับ 0.040 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 3 ชั่วโมง อาจเนื่องจากระยะเวลาที่สัมผัสสารแตกต่างกันมาก ส่วนค่าความเป็นพิษของ SDS ที่ใช้เป็นสารพิษอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมาของ Vanhaecke *et al.* (1980); Steertegem and Persoone (1993) พบว่า มีค่า LC₅₀ เท่ากับ 17.8 และ 19.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเค็ม 35 ppt เนื่องจากอุณหภูมิและความเค็มของการทดลองมีความแตกต่างกัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิ น้ำสูงขึ้น ความเค็มต่ำ ส่งผลให้ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงขึ้น (Neff and Anderson, 1981) รวมทั้งแหล่งกำเนิดของไซอาร์ทีเมียที่นำมาเพาะฟักสำหรับการทดสอบอาจมีความแตกต่างกัน ทำให้ผลการศึกษาที่ได้แตกต่างกับการศึกษาที่ผ่านมา สำหรับการศึกษารั้งนี้ไซอาร์ทีเมียนำมาจาก Great Salt Lake ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเมื่อทดสอบกับสารลูกอด (lugol) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า มีความทนทานมากกว่าอาร์ทีเมียที่มาจากประเทศจีน บัลแกเรีย และอ่าวซานฟรานซิสโก ประเทศสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ (Sorgeloos *et al.*, 1978) นอกจากนี้ไซอาร์ทีเมียแต่ละสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดในรูปแบบที่ต่างกัน จากการศึกษาของ ดารณี (2545) พบว่า อาร์ทีเมียสายพันธุ์จากอเมริกามีความไวในการตอบสนองต่อความเป็นพิษของสารไฮลิโนมากกว่าสายพันธุ์จากจีน แต่ในขณะที่อาร์ทีเมียสายพันธุ์จากจีนมีความไวในการตอบสนองต่อความเป็นพิษของสารเบนซีนและโทลูอินมากกว่าสายพันธุ์อเมริกา

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้อาร์ทีเมียเป็นตัวแทนของแพลงก์ตอนสัตว์ที่นำมาทดสอบทางชีววิเคราะห์ เนื่องจากอาร์ทีเมียสามารถทนความเค็มได้ในช่วงกว้าง 5 - 250 ppt และอุณหภูมิ 6 - 35 องศาเซลเซียส มีความคงชีพสูง ขนาดร่างกายเล็ก สามารถปรับตัวได้ในสภาวะสิ่งแวดล้อมต่างๆ ไม่เลือกกินอาหาร ราคาถูก สามารถนำไปมาเพาะเองได้ในห้องทดลอง (Nunes *et al.*, 2006)

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีค่าดังนี้ ความเค็มมีค่าเท่ากับ 30 ppt อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27.1 - 31.1 องศาเซลเซียส pH อยู่ระหว่าง 7.90 - 8.16 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 5.2 - 7.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากอาร์ทีเมียที่ใช้มีขนาดเล็กและการทดลองใช้เวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น รวมทั้งคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเพาะฟักไข่อาร์ทีเมียคือ มีค่า pH ระหว่าง 7.5 - 9 อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 20 - 34 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนควรอยู่ระดับอย่างน้อย 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพการเพาะฟักไข่สูงสุดอยู่ที่ 4 - 6 มิลลิกรัมต่อลิตร (อนันต์ และคณะ, 2536) นอกจากนี้ในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารใดๆ และชุดควบคุมที่มีการเติมอะซิโตน ไม่พบการตายของอาร์ทีเมียทั้ง 2 ชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการศึกษา ผลการศึกษาที่ได้ถือเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากในการทดสอบอัตราการตายของอาร์ทีเมียในชุดควบคุมต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 (Vanhaecke *et al.*, 1981)

4.2 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อกุ้งแชบ๊วย

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วยในช่วงระดับความเข้มข้น 0.2 - 2.0, 0.5 - 5.0 และ 0.5 - 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง (ภาพที่ 33) แสดงให้เห็นว่าอัตราการตายของกุ้งแชบ๊วยที่ทำการทดลองเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารทดลอง และระยะเวลาที่กุ้งแชบ๊วยอยู่ในสารทดลอง

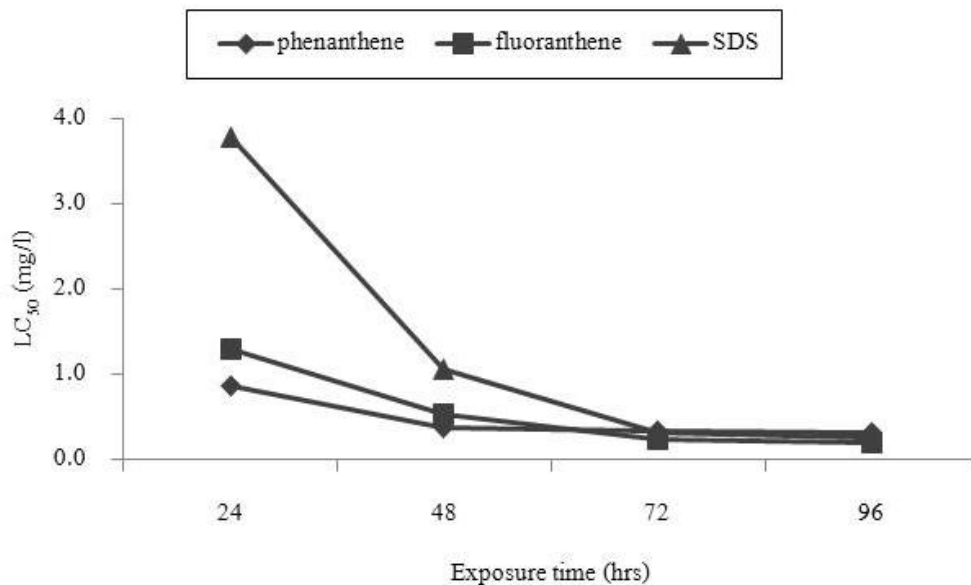


ภาพที่ 33 การตายสะสมของกุ่มแฮบวัย เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

เมื่อนำอัตราการตายสะสมมาคำนวณหาค่าระดับความเข้มข้นที่ทำให้กุ้งแชบ๊วยตาย ร้อยละ 5, 10 และ 50 ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วยมีค่า LC_{50} ช่วงแห่งความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 0.323 ± 0.094 , 0.193 ± 0.169 และ 0.262 ± 0.228 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่า ในเวลา 48 ชั่วโมงของการทดลอง กุ้งแชบ๊วยมีความไวต่อการตอบสนองต่อ phenanthrene มากที่สุด รองลงมาคือ fluoranthene และ SDS ตามลำดับ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 72 และ 96 ชั่วโมง กุ้งแชบ๊วยมีความไวต่อการตอบสนองต่อ fluoranthene มากที่สุด รองลงมาคือ SDS และ phenanthrene ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 34

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อกุ้งแชบ๊วยที่ระยะเวลาต่างๆ

Chemical	Acute toxicity of shrimp (mg/l)					
	24 hrs.			48 hrs.		
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
phe	0.448	0.518	0.858	0.198	0.226	0.366
flu	0.033	0.074	1.293	0.018	0.038	0.535
sds	0.212	0.400	3.780	0.020	0.048	1.056
	72 hrs.			96 hrs.		
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
phe	0.153	0.183	0.341	0.075	0.104	0.324
flu	0.012	0.023	0.237	0.021	0.034	0.193
sds	0.002	0.007	0.312	0.009	0.019	0.262



ภาพที่ 34 ค่า LC_{50} ของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วยที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

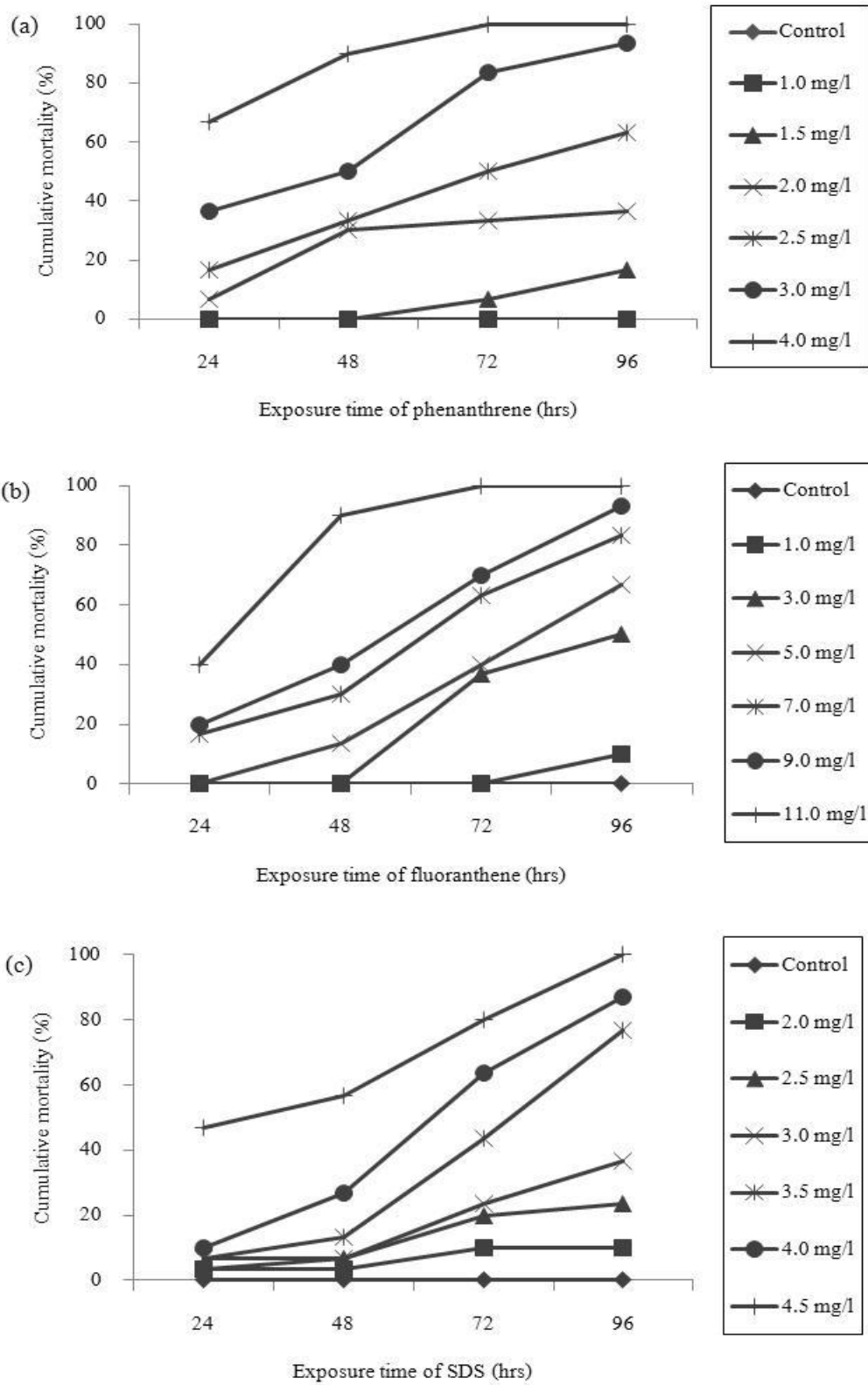
สำหรับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและลักษณะของกุ้งแชบ๊วยเมื่อสัมผัสกับสารทดลองเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากการสังเกตพบว่า กุ้งแชบ๊วยจะเกิดความเครียดเมื่อได้สัมผัสกับสารทดลองทั้ง 3 ชนิด โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของสารทดลองสูงๆ กุ้งจะแสดงอาการผิดปกติที่เร็วและชัดเจนกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ เมื่อเริ่มปล่อยกุ้งลงไป กุ้งจะว่ายน้ำด้วยความเร็วที่ผิดปกติ จากนั้นจะลงไปเกาะนิ่งอยู่บริเวณก้นโหล หลังจากนั้นกุ้งจะมีการว่ายน้ำที่ผิดปกติ เสียการทรงตัว ว่ายน้ำหมุน แล้วค่อยๆ หายท้องลงไปนอนที่ก้นโหลทดลอง การเคลื่อนไหวของกุ้งจะช้าลง จนไม่มีการเคลื่อนไหว และตายในที่สุด จากการศึกษาของ สมควร (2545) พบว่า กุ้งจะได้รับสารต่างๆ ผ่านทางเหงือก โดยกุ้งจะโบกพัดสารผ่านเหงือกเพื่อแลกเปลี่ยนออกซิเจน ทำให้สารต่างๆ ผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ ทำให้คุณสมบัติในการคัดเลือกผ่านของเซลล์ บริเวณเหงือกเปลี่ยนแปลงไป เป็นเหตุให้การแลกเปลี่ยนแก๊สไม่สะดวก เหงือกมีเซลล์บุผิวที่บางปกคลุมอยู่ และสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ทำให้เหงือกได้สัมผัสกับสารพิษตลอดเวลา โดยพบการบวมน้ำ (edema) การโป่งพองของกิ่งเหงือก เมื่อกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) สัมผัสกับน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันชนิด OD 4000 นอกจากนี้ Duffus (1982) กล่าวว่า ในน้ำมันดิบมีกลุ่มสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งเป็นพวกที่มีความเป็นพิษสูง จะไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด มีผลต่อระบบหายใจ และกระตุ้นหรือกดประสาทส่วนกลาง ทำให้สัตว์ขาดออกซิเจน และเสียการทรงตัว

รวมถึงกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจุดเดือดต่ำจะทำให้สัตว์สลบหรือเกิดอาการมีนงงและตายได้

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองมีค่าดังนี้ ความเค็มมีค่า 30 ppt อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28.2 – 30.1 องศาเซลเซียส pH อยู่ระหว่าง 7.92 - 8.05 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 5.35 - 7.2 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำในช่วงการทดลองมีค่าความเค็มที่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดต่างของน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากกุ้งแชบ๊วยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้และมีการให้อากาศตลอดการทดลอง รวมทั้งคุณภาพน้ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเพาะและอนุบาลลูกกุ้งทะเลคือ มีค่าความเค็ม 28 - 32 ppt อุณหภูมิ 28 - 32 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดต่าง 7.8 - 8.3 (สถานีวิจัยประมงศรีราชา, 2546) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในการทดลองจึงไม่มีผลต่อการทดลอง และมีค่าอยู่ในช่วงที่กุ้งแชบ๊วยสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารใดๆ และชุดควบคุมที่มีการเติมอะซิโตนไม่พบการตายของกุ้งแชบ๊วยทั้ง 2 ชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการศึกษา ทำให้ผลการศึกษาที่ได้ถือเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากการทดสอบทางชีววิเคราะห์สัตว์น้ำ อัตราการตายในชุดควบคุมต้องน้อยกว่าร้อยละ 10 (American Society for Testing Materials, 2001)

4.3 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อปลากระพงขาว

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อปลากระพงขาว ในช่วงระดับความเข้มข้น 1.0 - 4.0, 1.0 - 11.0 และ 2.0 - 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง แสดงไว้ดังภาพที่ 35 แสดงให้เห็นว่า อัตราการตายของปลากระพงขาว ที่ทำการทดลองเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารทดลอง และระยะเวลาที่ปลากระพงขาวอยู่ในสารทดลอง

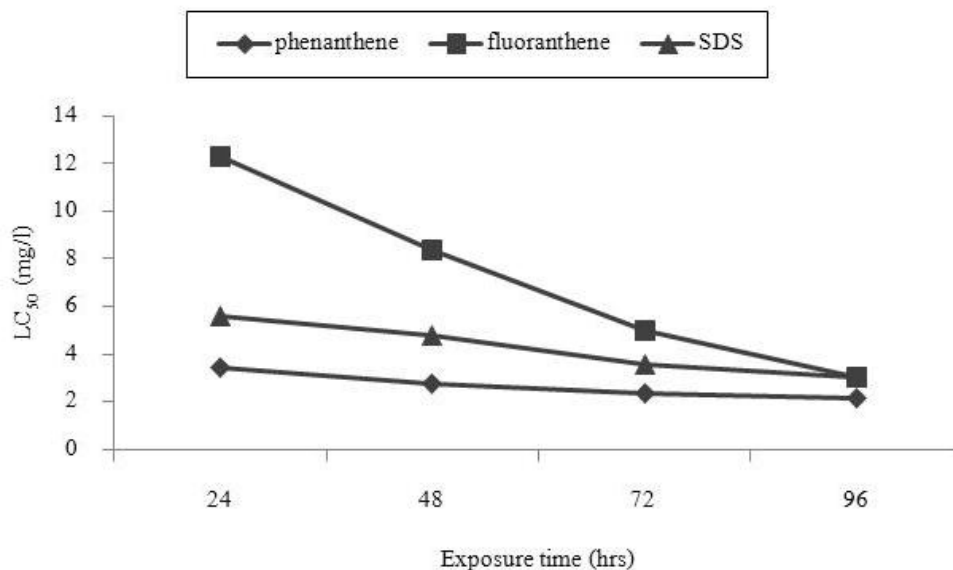


ภาพที่ 35 การตายสะสมของปลากระดูกขาว เมื่อเลี้ยงในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่ระยะเวลา 24 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

เมื่อนำอัตราการตายสะสมมาคำนวณหาค่าระดับความเข้มข้นที่ทำให้ปลากระพงขาว ตายที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ความเข้มข้นของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อปลากระพงขาว มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 2.125 ± 0.157 , 3.018 ± 0.729 และ 2.987 ± 0.176 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 17 แสดงให้เห็นว่า ในทุกช่วงเวลาของการทดลอง ปลากระพงขาวมีความไวต่อการตอบสนองต่อ phenanthrene มากที่สุด รองลงมาคือ SDS และ fluoranthene ตามลำดับ ซึ่ง phenanthrene เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มี 3 วงอะโรมาติก มีความเป็นพิษมากกว่า fluoranthene ที่มี 4 วงอะโรมาติก แสดงดังภาพที่ 36

ตารางที่ 17 ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสารทดลองต่อปลากระพงขาวที่ระยะเวลาต่างๆ

Chemical	Acute toxicity of fish (mg/l)					
	24 hrs			48 hrs		
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
phe	1.971	2.226	3.420	1.586	1.794	2.771
flu	5.945	6.976	12.266	4.550	5.204	8.360
sds	2.768	3.233	5.591	2.558	2.933	4.752
	72 hrs			96 hrs		
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
	LC_5	LC_{10}	LC_{50}	LC_5	LC_{10}	LC_{50}
phe	1.488	1.643	2.326	1.338	1.482	2.125
flu	1.545	1.998	4.958	0.845	1.120	3.018
sds	1.902	2.183	3.550	1.991	2.178	2.987



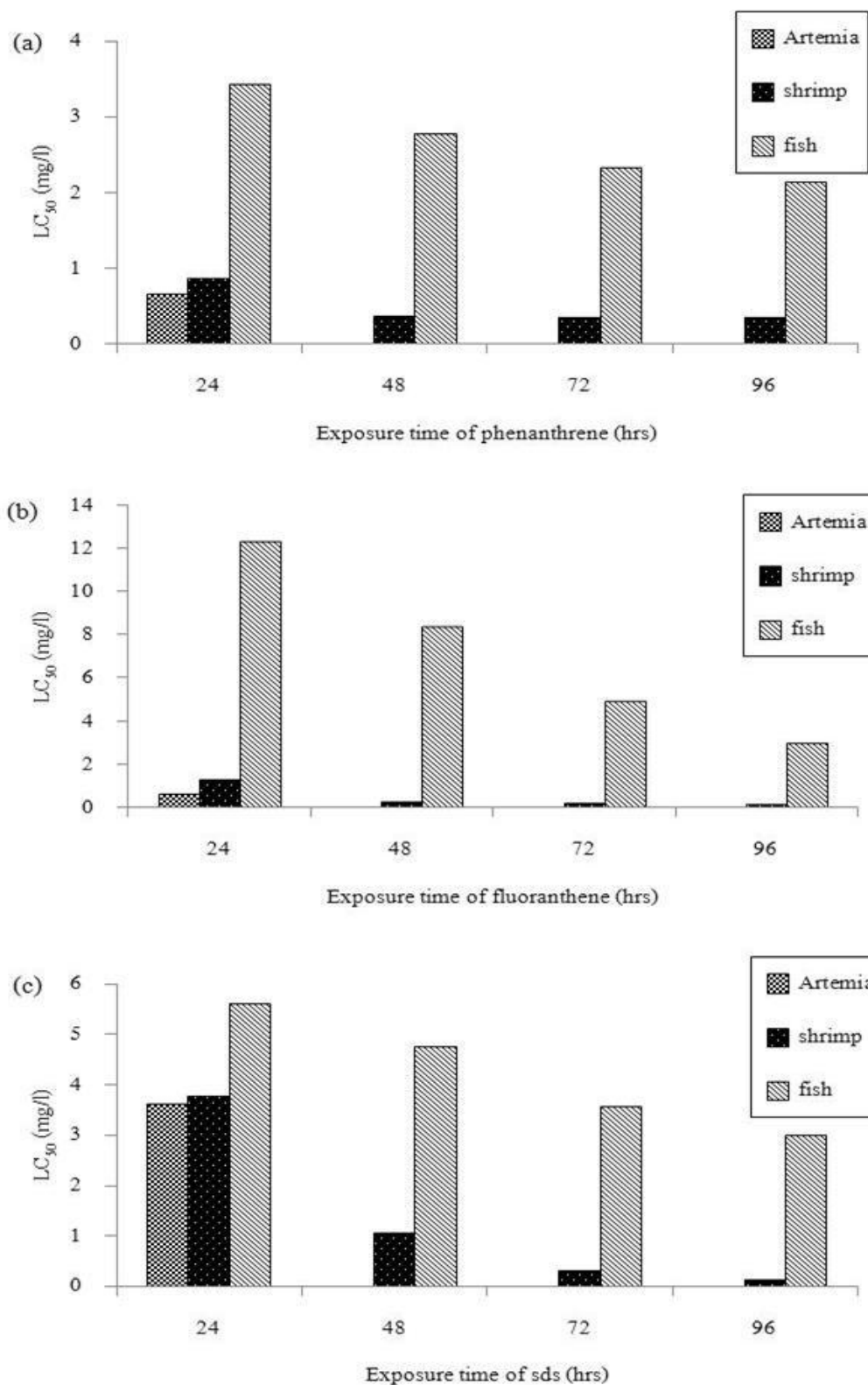
ภาพที่ 36 ค่า LC_{50} ของ phenanthrene fluoranthene และ SDS ต่อปลากระพงขาวที่ระยะเวลาต่างๆ

ผลการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและลักษณะของปลากระพงขาวเมื่อสัมผัสกับสารทดลองทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ phenanthrene, fluoranthene และ SDS เปรียบเทียบกับชุดควบคุม จากการสังเกตพบว่า ในชุดควบคุมที่ไม่มีการใส่สารทดลอง ปลากระพงขาวจะยังคงว่ายน้ำปกติ อยู่กระจัดกระจายทั่วพื้นที่ขวดแก้ว ลำตัวตั้งฉากหรือขนานกับแนวระดับ สีลำตัวเป็นลวดลายมีสีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง โดยธรรมชาติปลากระพงขาวเป็นปลาที่ปราดเปรียว ว่องไว ว่ายน้ำรวดเร็ว แต่ในการทดลองเมื่อเวลาผ่านไป ปลากระพงขาวจะแสดงอาการผิดปกติ โดยเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของสารทดลองสูงๆ ปลากระพงขาวจะแสดงอาการผิดปกติที่เร็วและชัดเจนกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ โดยปลาจะหมุนวนไปตามกระแสน้ำที่เกิดจากการให้อากาศ ไม่มีทิศทางที่แน่นอน ไม่สามารถทรงตัวอยู่ได้ แผ่นปิดเหงือกมีการเปิดและปิดเร็วขึ้นเพื่อให้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนเพียงพอ กับความต้องการของร่างกาย และเมื่อนำที่ให้อากาศออก ปลาจะค่อยๆ จมตัวลงก้นโหลทดลอง มีอาการว่ายน้ำตะแคง สูญเสียการทรงตัว นอนหงายท้องนิ่งอยู่ที่ก้นโหลทดลอง มีเพียงการเปิดปิดของแผ่นปิดเหงือกเท่านั้น และตายในที่สุด โดยเมื่อใช้แท่งแก้วแตะที่ลำตัวปลาจะไม่มีการตอบสนอง ไม่มีการเปิดปิดของแผ่นปิดเหงือก นอกจากนี้ยังพบว่า สีลำตัวของปลากระพงขาวในชุดทดลองที่ได้รับสารจะมีสีเข้มกว่าในชุดควบคุม สอดคล้องกับการศึกษาของ Correia *et al.* (2007) พบว่า ปลา gilthead seabream (*Sparus aurata*) ภายหลังจากได้สัมผัส phenanthrene เป็นเวลา 4 วัน ปลามีอาการเชื่องซึมเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 39 การว่ายน้ำและการอยู่รวมกันเป็นฝูงลดลง เนื่องจาก phenanthrene มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย ทำให้ปลาต้องมีการปรับเปลี่ยน

พฤติกรรมการว่ายน้ำ ลดการเคลื่อนไหวร่างกาย เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งในการกำจัดสารเคมี ออกจากร่างกายผ่านระบบทางเดินน้ำและคั้นนั้นต้องการพลังงานมากขึ้น ส่งผลให้พฤติกรรมของ ปลาเปลี่ยนแปลงไป เช่นเดียวกับผลจากการสัมผัส pyrene ของปลาน้ำจืด common goby (*Pomatoschistus microps*) ที่ก่อให้เกิดพิษต่อระบบประสาทและกล้ามเนื้อ กระทบการทำงานใน ทุกขั้นตอนทางด้านสรีรวิทยา ทำให้พฤติกรรมการว่ายน้ำ ความสามารถในการจับเหยื่อและการ หนีจากผู้ล่าลดลง รวมทั้งลดความสามารถในการอพยพหลีกเลี่ยงพื้นที่มลพิษ และโอกาสการ สืบพันธุ์ที่มีผลต่อการเติบโตของประชากร (Oliveira *et al.*, 2012)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเกลือระหว่างการทดลองมีค่าดังนี้ ความเค็ม 30 ppt อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 29.2 – 31.5 องศาเซลเซียส pH อยู่ระหว่าง 7.40 - 7.86 ปริมาณออกซิเจนที่ ละลายในน้ำอยู่ระหว่าง 5.35 - 6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำในช่วงการทดลองมีค่าความเค็ม คงที่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ไม่มีผล ต่อการตายของปลากะพงขาว เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างและปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากะพงขาวอยู่ในช่วง 6.8 - 8.5 และ มากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ศูนย์สื่อการสอนทางอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, ม.ป.ป.) สำหรับการศึกษาครั้งนี้มีการ ให้อากาศตลอดการทดลอง ดังนั้นคุณภาพของน้ำในการทดลองจึงไม่มีผลต่อการทดลอง และค่าที่ ได้มีค่าอยู่ในช่วงที่สัตว์ทดลองสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งในชุดควบคุมที่ไม่มีการ เติมน้ำใดๆ และชุดควบคุมที่มีการเติมน้ำก็ไม่พบการตายของปลากะพงขาวทั้ง 2 ชุดการ ทดลองตลอดระยะเวลาการศึกษา ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ถือเป็นที่ยอมรับ เนื่องจากในการทดสอบทาง ชีววิเคราะห์สัตว์น้ำ อัตราการตายในชุดควบคุมต้องน้อยกว่าร้อยละ 10 (American Society for Testing Materials, 2001)

เมื่อเปรียบเทียบชนิดสัตว์น้ำต่อความไวในการตอบสนองต่อ phenanthrene, fluoranthene และ SDS พบว่า อาร์ทีเมียมีความไวต่อการตอบสนองต่อสารทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด รองลงมาคือ กุ้งแชบ๊วย และปลากะพงขาวเป็นสัตว์น้ำที่มีความทนทานต่อสารทดลองมากที่สุด ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ความเป็นพิษเฉียบพลันของ phenanthrene (a) fluoranthene (b) และ SDS (c) ที่มีต่อ อาร์ทีเมีย กุ้งแชบ๊วย และปลากะพงขาว ในระยะเวลาต่างๆ

ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารพิษ (safety level)

ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารพิษ หมายถึง ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่มีอยู่ได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การดำรงชีวิต การอยู่รอดของไข ตัวอ่อน รวมทั้งผลผลิตของสัตว์น้ำทั้งหมด ค่าระดับความปลอดภัยของสารพิษแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อสารพิษแต่ละชนิดเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจึงเกิดผลกระทบต่องานเลี้ยงมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำแตกต่างกัน ตามวิธีการของ Sprague (1971) ใช้สูตร $0.1 \times LC_{50}$ ที่ 48 ชั่วโมง จากการศึกษา พบว่า ค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วย มีค่าเท่ากับ 0.037, 0.054 และ 0.106 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยต่อปลากระพงขาว มีค่าเท่ากับ 0.277, 0.836 และ 0.475 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ระดับสารพิษตามค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสัตว์น้ำ

การจัดระดับสารพิษตาม GESAMP (2002) พิจารณาจากค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) ที่เวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแบ่งตามระดับขึ้นได้ 7 ระดับ แสดงดังตารางที่ 18 จากการศึกษาครั้งนี้ ค่า LC_{50} ที่เวลา 96 ชั่วโมง สำหรับสาร phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วยมีค่าเท่ากับ 0.324, 0.193 และ 0.262 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามการจัดระบบสารพิษ พบว่า phenanthrene, fluoranthene และ SDS เป็นสารที่มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่อกุ้งแชบ๊วยอยู่ในระดับสูง (ระดับ 4) ส่วนค่า LC_{50} ที่เวลา 96 ชั่วโมง ของสาร phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อปลากระพงขาว มีค่าเท่ากับ 2.125, 3.018, 2.987 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามการจัดระบบสารพิษ พบว่า phenanthrene, fluoranthene และ SDS เป็นสารที่มีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่อปลากระพงขาวอยู่ในระดับปานกลาง (ระดับ 3)

ตารางที่ 18 การจัดแบ่งระดับสารพิษตามค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสัตว์น้ำ

Rating	Description	LC ₅₀ (mg/l) at 96 hrs.
0	Non-toxic	> 1,000
1	Practically non-toxic	> 100 – ≤ 1,000
2	Slightly toxic	> 10 – ≤ 100
3	Moderately toxic	> 1 - ≤ 10
4	Highly toxic	> 0.1 - ≤ 1
5	Very highly toxic	> 0.01 – ≤ 0.1
6	Extremely toxic	≤ 0.01

ที่มา: GESAMP (2002)

ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ อาจแตกต่างไปจากการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งความเป็นพิษของ PAHs แต่ละชนิดจะมีผลต่อสัตว์น้ำในแต่ละชนิดที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่า LC₅₀ ของสาร PAHs และ SDS ต่อสัตว์น้ำชนิดต่างๆ

Chemical	Aquatic Species	Exposure Times	LC ₅₀ (mg/l)	References
fluoranthene C ₁₆ H ₁₀	<i>Artemia</i> sp.	24	6.620	This study
	Banana shrimp <i>Penaeus merguensis</i>	96	0.193	This study
	White perch <i>Lates calcarifer</i>	96	3.018	This study
	<i>Artemia salina</i>	3	0.040	Kagan <i>et al.</i> (1985)
	Hard clam <i>Mercenaria mercenaria</i>	24	0.65	Chung <i>et al.</i> (2007)
phenanthrene C ₁₄ H ₁₀	<i>Artemia</i> sp.	24	0.654	This study
	Banana shrimp <i>Penaeus merguensis</i>	96	0.324	This study
	White perch <i>Lates calcarifer</i>	96	2.125	This study
	<i>Artemia salina</i>	24	0.677	Abernethy <i>et al.</i> (1986)
	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	48	0.360	Unger <i>et al.</i> (2007)

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Chemical	Aquatic Species	Exposure Times	LC ₅₀ (mg/l)	References
phenanthrene	Harpacticoid copepod	96	0.890	Stringer <i>et al.</i> (2012)
C ₁₄ H ₁₀	<i>Robertsonia propinqua</i>	96	0.750	Stringer <i>et al.</i> (2012)
	<i>Quinquelao phonte</i>			
naphthalene	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	96	2.400	Eisler (1987)
C ₁₀ H ₈	Brown shrimp <i>Penaeus aztecus</i>	24	2.500	Eisler (1987)
	Dungeness crab <i>Cancer magister</i>	96	2.000	Eisler (1987)
naphthalene	Sheepshead minnow <i>Cyprinodon</i>	24	2.400	Eisler (1987)
C ₁₀ H ₈	<i>variegatus</i>			
dimethyl	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	48	0.500	Unger <i>et al.</i> (2007)
naphthalene	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	96	1.100	Eisler (1987)
	Dungeness crab <i>Cancer magister</i>	96	1.300	Eisler (1987)
	Sheepshead minnow <i>Cyprinodon</i>	96	2.000	Eisler (1987)
	<i>variegatus</i>			
ethyl	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	48	0.295	Unger <i>et al.</i> (2007)
naphthalene	Dungeness crab <i>Cancer magister</i>	96	1.900	Eisler (1987)
1-methyl	Sheepshead minnow <i>Cyprinodon</i>	96	3.400	Eisler (1987)
naphthalene	<i>variegatus</i>			
acenaphthene	Brown trout <i>Salmo trutta</i>	96	0.580	Nagpal (1993)
C ₁₂ H ₁₀	Fathead minnow <i>Pimephales</i>	96	0.610	Nagpal (1993)
	<i>promelas</i>			
anthracene	<i>Artemia salina</i>	24	> 0.050	Abernethy <i>et al.</i> (1986)
C ₁₄ H ₁₀	Milk fish <i>Chanos chanos</i>	96	0.030	Palanikumar <i>et al.</i> (2012)
fluorene	Amphipod <i>Gammarus</i>	96	0.600	Heitzman (2006)
C ₁₃ H ₁₀	<i>pseudolimnaeus</i>			
	Grass shrimp <i>Palaemonetes pugio</i>	96	0.320	Eisler (1987)
	Rainbow trout <i>Salmo gairdneri</i>	96	0.820	Heitzman (2006)
	Sheepshead minnow <i>Cyprinodon</i>	96	1.680	Eisler (1987)
	<i>variegatus</i>			

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Chemical	Aquatic Species	Exposure Times	LC ₅₀ (mg/l)	References
pyrene	<i>Artemia salina</i>	24	> 0.099	Abernethy <i>et al.</i> (1986)
C ₁₆ H ₁₀	<i>Artemia salina</i>	3	0.008	Kagan <i>et al.</i> (1985)
	Common goby <i>Pomatoschistus microps</i>	96	0.871	Oliveira <i>et al.</i> (2012)
benzo(a)pyrene	<i>Artemia salina</i>	48	10	Kuwabara <i>et al.</i> (1980)
C ₂₀ H ₁₂	Milk fish <i>Chanos chanos</i>	96	0.014	Palanikumar <i>et al.</i> (2012)
SDS	<i>Artemia</i> sp.	24	3.612	This study
	Banana shrimp <i>Penaeus merguensis</i>	96	0.262	This study
	White perch <i>Lates calcarifer</i>	96	2.987	This study
	Brine shrimp <i>Artemia</i> (larvae)	24	19	Steertegem and
	Brine shrimp <i>Artemia</i> (adult)	24	76	Persoone (1993)
	<i>Artemia</i> nauplii	24	17.8	Vanhaecke <i>et al.</i> (1980)
	Crustacean <i>Artemia parthenogenetica</i>	48	12.2	Nunes <i>et al.</i> (2005)
	Eastern mosquito fish <i>Gambusia holbrooki</i>	96	15.1	Nunes <i>et al.</i> (2005)
	Fat snook <i>Centropomus parallelus</i>	96	1.79	Rocha <i>et al.</i> (2007)
	Gilthead seabream <i>Sparus aurata</i>	96	6.10	Ribelles <i>et al.</i> (1995)
	Turbot <i>Scophthalmus maximus</i>	96	7.50	Rosety-Rodríguez <i>et al.</i> (2002)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มีต่อสัตว์น้ำ ที่ทำให้ค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีความแตกต่างกับการศึกษาที่ผ่านมา ได้แก่ ชนิดของสารไฮโดรคาร์บอน ระยะเวลาการสัมผัสสาร ชนิดของสัตว์น้ำ และสิ่งแวดล้อมในการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม (Kornberg, 1981; Nagpal, 1993)

1. ชนิดและคุณสมบัติของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

1.1 น้ำหนักโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น แนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนจะลดลง โดยสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (กลุ่มที่มี 2 - 3 วง) เช่น แนฟทาลิน ฟลูออรีน ฟิแนนทรีน เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำและมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันมากกว่ากลุ่มสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (กลุ่มที่มี 4 - 5 วง) ที่จะเป็นสารก่อมะเร็ง และกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่อื่น ๆ จะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากนัก (Anderson *et al.*, 1974; Kennish, 1997b; Kornberg, 1981; Nagpal, 1993)

1.2 การแทนที่ด้วยหมู่แอลคิล (Alkyl substitution)

สารที่มีหมู่แทนที่มาต่อกับคาร์บอนอะตอมจะมีพิษมากกว่าสารที่ไม่มีหมู่แทนที่มาต่อ โดย dimethynaphthalene หรือ trimethynaphthalene และ 1-methyphenanthrene จะมีความเป็นพิษมากกว่า naphthalene และ phenanthrene (Neff and Anderson, 1981) จากการศึกษาของ Calbet *et al.* (2007) พบว่า ความเป็นพิษของ naphthalene และ 1,2- dimethynaphthalene ต่อ marine copepod (*Paracartia grani*) มีค่า LC_{50} ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 2,535 และ 161 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Unger *et al.* (2007) พบว่า ethylnaphthalene, dimethynaphthalene และ phenanthrene ต่อกุ้ง grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) มีค่า LC_{50} ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 295, 500 และ 360 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. ระยะเวลาการสัมผัสกับสาร PAHs ของสัตว์น้ำ

ความเป็นพิษเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการได้รับสาร PAHs นานขึ้น จากการศึกษาของ Nagpal (1993) รายงานว่า ค่า LC_{50} ในเวลา 48 ชั่วโมง ของสาร 1-methylnaphthalene และ 2-methylnaphthalene ต่อปู dungeness crab (*Cancer magister*) มีค่า 8,200 และ 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนที่เวลา 96 ชั่วโมง ค่า LC_{50} มีค่า 1,900 และ 1,300 ไมโครกรัมต่อลิตร

3. ชนิด อายุ ขนาดความยาว น้ำหนักของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำชนิดเดียวกันที่มีอายุน้อยกว่าจะมีความไวต่อความเป็นพิษมากกว่า และระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิต เช่น ไข่ และตัวอ่อนจะมีความไวต่อความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมากกว่าในระยะตัวเต็มวัย วิทยา และ สุทธิณี (2544) พบว่า ระดับความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีผลทำให้เกิดการตายของปลากระพงขาวขนาดเล็กสูงกว่าการตายของปลากระพงขาวขนาดใหญ่ในระยะเวลาที่ปลากระพงขาวมีการสัมผัสปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเท่ากัน ซึ่งความเป็นพิษของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อหอยจะน้อยกว่ากุ้ง จากการศึกษาของ Xu *et al.* (2011) พบว่า อัตราการตายของหอย *Scapharca subcrenata* ขนาด 21-30 เซนติเมตร ต่ำกว่าระยะตัวอ่อนของกุ้ง *Penaeus japonicus* นอกจากนี้ Laughin and Neff (1979a) พบว่า ในช่วงการลอกคราบของปู mud crab (*Rhithropanopeus harrisi*) ระยะซุเอีย 1 และซุเอีย 2 จะลดลงเมื่อได้สัมผัส phenanthrene เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ตัวอ่อนมีความไวต่อการตอบสนองต่อการได้รับสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่าระยะอื่นๆ

4. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะสูงขึ้น เนื่องมาจากสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น และสัตว์ทดลองมีเมตาบอลิซึมและกิจกรรมเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้อัตราการหายใจของ juvenile mud crab (*Rhithropanopeus harrisi*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย รวมทั้งอุณหภูมิมีผลต่อการดูดซึมของสาร PAH จากน้ำเข้าสู่บริเวณพื้นผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์น้ำ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิลดลง การดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หอย *Rangia cuneata* และ boreal clam (*Protothaca staminea*) สามารถดูดซึม naphthalene เข้าไปได้ร้อยละ 4.2 แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สามารถดูดซึมเข้าไปได้ถึงร้อยละ

27 ดังนั้น ค่าความเป็นพิษของ naphthalene จะสูงสุดในหอยที่ได้รับสารที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับการดูดซับ anthracene ในเซลล์โคพีพอด *Calanus helgolandicus* จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Neff and Anderson, 1981) ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิมีน้ำทะเลต่อความเป็นพิษของสัตว์น้ำให้ผลเช่นเดียวกับในน้ำจืดของ anthracene ที่มีต่อปลา blue gill sunfish (*Lepomis macrochirus*) มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่า LC_{50} เป็นแบบผกผัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า LC_{50} ลดลง และความเป็นพิษเพิ่มขึ้น (McCloskey and Oris, 1991)

5. ความเค็ม

ในน้ำที่มีความเค็มสูงปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจะสามารถละลายในน้ำได้น้อย ทำให้ความเป็นพิษของต่อสิ่งมีชีวิตต่ำ (Neff and Anderson, 1981) ซึ่งความเป็นพิษของ phenanthrene ต่อตัวอ่อนปู mud crab (*Rhithropanopeus harrisi*) เพิ่มขึ้นที่ความเค็มต่ำ (Laughin and Neff, 1979a) จากการศึกษาของ Neff and Anderson (1981) พบว่า อัตราการสะสมของ phenanthrene จะต่ำ แต่มีความเป็นพิษมากต่อสัตว์น้ำที่ความเค็มต่ำและสูงกว่าความเค็มระดับปานกลาง โดย phenanthrene ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้ง grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) ที่ความเค็ม 17 ppt มีความทนทานต่อสารพิษมากกว่าที่ความเค็ม 2 ppt และ 32 ppt ในเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับกุ้ง *Penaeus setiferus* ที่มีความทนทานต่อ phenanthrene ที่ความเค็ม 20 ppt มากกว่าที่ความเค็ม 8 ppt และ 32 ppt ดังนั้นความไวต่อการตอบสนองของกุ้งต่อ phenanthrene เพิ่มขึ้นที่ความเค็มสูงและความเค็มต่ำ รวมทั้งกุ้งยังสามารถปลดปล่อย phenanthrene ออกมาได้อย่างรวดเร็วเมื่อนำกลับออกมาใส่ในน้ำทะเลที่ไม่มีสารปนเปื้อนภายในเวลา 24 ชั่วโมง และ Sukrarurk (1999) พบว่า ความเป็นพิษของน้ำมันดิบคูโบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเค็มของน้ำที่ใช้ทดลอง โดยที่ความเค็ม 14, 21, 28 และ 35 ppt มีค่า LC_{50} ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 81.548, 13.555, 40.651 และ 80.054 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ความเป็นพิษของ naphthalene ต่อปลา mummichog (*Fundulus heteroclitus*) พบอัตราการตายสูงสุดที่ความเค็มต่ำกว่า 8 ppt และมากกว่า 15 ppt แสดงให้เห็นว่า สัตว์น้ำที่สามารถทนความเค็มได้ในช่วงกว้างจะสามารถทนต่อความเป็นพิษของสาร PAH ที่ได้รับที่ระดับความเค็มปานกลาง (isosmotic) (Levitan and Taylor, 1979)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลของทุกสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนสิงหาคม 2553) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2554) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.21 – 12.07 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.17 ± 0.54 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.59 ± 0.54 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ในสถานี M7 (ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 9.71 ± 3.34 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ในสถานี M3 (ปากคลองชักหาหมาก) โดยในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 ± 2.56 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) สูงกว่าในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.79 ± 1.77 ไมโครกรัมต่อลิตร (chrysene equivalents) ในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง ยกเว้น สถานี W5 (เขื่อนบ้านหนองแฟบ) และ M2 (จุดระบายน้ำโรงไฟฟ้าโกโลว์)

2. ปริมาณ PAHs เฉลี่ยในดินตะกอนของทุกสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 20 สถานี บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553) มีค่าอยู่ในช่วง 160.08 – 1,740.99 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,133.87 \pm 426.29$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยบริเวณศูนย์กลางนิคมอุตสาหกรรมมีปริมาณ PAHs ในดินตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ $1,226.54 \pm 407.56$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง สูงกว่าด้านทิศตะวันออกและด้านทิศตะวันตกของนิคมอุตสาหกรรม และสถานีที่อยู่ห่างจากแนวชายฝั่ง 3 กิโลเมตร มีปริมาณ PAHs ในดินตะกอนสูงกว่าสถานีที่ห่างจากชายฝั่ง 5 กิโลเมตร และสถานีตามแนวชายฝั่งของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม ตามลำดับ โดยชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด在地ดินตะกอน ได้แก่ fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, pyrene, chrysene และ Benzo(b)fluoranthene ซึ่งส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของ PAHs บริเวณนี้มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เป็นหลัก (pyrogenic source)

ปริมาณ PAHs เหลือในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จัดอยู่ในช่วงระดับภาวะมลพิษปานกลาง - สูง ($> 100 - 5,000$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และมีความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาอยู่ในระดับต่ำของการปนเปื้อนสาร PAHs ในดินตะกอน ซึ่งโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษหรือผลกระทบที่มีต่อสัตว์น้ำอยู่ในระดับต่ำ

3. คุณภาพดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ได้แก่ ปริมาณน้ำในดินตะกอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.72 ± 8.24 ($2.51 - 56.05$), 0.45 ± 0.42 ($0.05 - 2.67$) และ 0.26 ± 0.25 ($0.03 - 1.55$) ตามลำดับ ลักษณะเนื้อดินตะกอนส่วนใหญ่เป็นดินทราย (sand) ดินร่วนปนทราย (sandy loam) และดินทรายปนร่วน (loamy sand)

4. ปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำโดยการรวบรวมจากชาวประมงที่ทำการประมงบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ได้แก่ หาดปลา หาดพูน เขื่อนบ้านหนองแฟบ และบ้านตากวน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤษภาคม 2552 และเดือนพฤษภาคม 2554) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนตุลาคม 2552 และเดือนสิงหาคม 2553) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง $367.03 - 2,135.24$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,029.16 \pm 502.90$ นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยชนิดของ PAHs ที่พบในสัตว์น้ำมากที่สุดคือ acenaphthene รองลงมาคือ pyrene, fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, fluorene, anthracene, phenanthrene และ chrysene ตามลำดับ

5. ค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน (LC_{50}) ของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่ออาร์ทีเมีย ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.654, 6.620 และ 3.612 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับกุ้งแชบ๊วยมีค่า LC_{50} ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 0.323 ± 0.094 , 0.193 ± 0.169 และ 0.262 ± 0.228 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปลากระพงขาว มีค่า LC_{50} ระยะเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 2.125 ± 0.157 , 3.018 ± 0.729 และ 2.987 ± 0.176 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งความไวในการตอบสนองต่อ phenanthrene, fluoranthene และ SDS พบว่า อาร์ทีเมียมีความไวต่อการตอบสนองต่อสารทั้ง 3 ชนิดมากที่สุด รองลงมาคือ กุ้งแชบ๊วย และปลากระพงขาว เป็นสัตว์น้ำที่มีความทนทานต่อสารทดลองมากที่สุดในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา แสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดการปนเปื้อนสาร

ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน อาร์ทีเมียจะเป็นสัตว์น้ำที่ได้รับผลกระทบมากกว่าในกุ้งแชบ๊วย และ ปลากระพงขาว ตามลำดับ

6. ค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (Safety level) ของ phenanthrene, fluoranthene และ SDS ต่อกุ้งแชบ๊วย มีค่าเท่ากับ 0.037, 0.054 และ 0.106 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยต่อปลากระพงขาว มีค่าเท่ากับ 0.277, 0.836 และ 0.475 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

7. สารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำทะเล ดินตะกอน และในสัตว์น้ำบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีค่าอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสาร PAHs ที่มีต่อสัตว์น้ำ ดังนั้นปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจึงยังไม่มีผลกระทบแบบเฉียบพลันต่อสัตว์น้ำจำพวกอาร์ทีเมียที่เป็นตัวแทนของแพลงก์ตอนสัตว์ รวมทั้งกุ้งแชบ๊วย และปลากระพงขาว แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปอาจเกิดการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์น้ำ ก่อให้เกิดความเป็นพิษแบบเรื้อรัง และมีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบมากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต จึงต้องมีการจัดเตรียมแนวทางแก้ไขปัญหารวมทั้งมีมาตรการเข้มงวด และแผนการติดตามตรวจสอบเป็นระยะ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษา PAHs ในน้ำทะเล เพื่อจะได้เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PAHs ที่อยู่ในน้ำและดินตะกอน รวมทั้งความสัมพันธ์กับความเป็นพิษที่มีต่อสัตว์น้ำได้ดียิ่งขึ้น
2. ควรมีการศึกษาปริมาณ PAHs จากอนุภาคในบรรยากาศโดยรอบ เพื่อจะได้ช่วยอธิบายที่มาของ PAHs ได้ชัดเจนมากขึ้นว่า PAHs ที่พบนั้นมาจากแผ่นดินหรือบรรยากาศ
3. ควรมีการศึกษาความเป็นพิษแบบเรื้อรังของ PAHs ที่มีต่อสัตว์น้ำทางด้านสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพ หรือผลต่อกลไกการเปลี่ยนแปลงในร่างกายของสัตว์น้ำ จะทำให้สามารถอธิบายผลกระทบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกวรรณ ขาวค่อนข้าง, สุริยัน ัญญกิจงานุกิจ และ วีระยุทธ รักษาศักดิ์. 2552. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน, น. 175-182. ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. รายงานหลัก โครงการสำรวจปริมาณโลหะหนักและปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรม. คพ. 02/029. เล่มที่ 1/4. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2544. การศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนในน้ำมัน, น. 2-19. ใน **โครงการจัดหาข้อมูลการแปรสภาพของน้ำมันเพื่อการตรวจสอบการลักลอบทิ้งน้ำมัน**. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2545. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษและการประเมินความเสี่ยงต่อนิเวศทางทะเล. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2557. **แผนที่ตั้งโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ไฟล์ข้อมูล)**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2556. **น้ำมันรั่วไหลในทะเล**. แหล่งที่มา:
<http://marinegiscenter.dmcg.go.th/km/oilspill01/>, 3 มีนาคม 2558.

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. 2552. ข้อมูลสมุทรศาสตร์บริเวณมาบตาพุด. กรุงเทพฯ. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

กฤตยาพร ทัพพะทัต. 2538. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน บริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ. 2543. พีเอเอช (โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)). กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2554. รายงานประจำปี 2554: เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศพัฒนาก้าวไกล ห่วงใยสิ่งแวดล้อม. 122 หน้า

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2555. รายงานประจำปี 2555: Eco Industrial Estate & Networks. 122 หน้า.

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2557. สถานภาพผู้ใช้ที่ดินในนิคมอุตสาหกรรม. (ไฟล์ข้อมูล). กองบริการอนุญาตผู้ประกอบการ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

เกศินี สรรวานิช. 2534. ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จริยา อ่อนทอง. 2549. การประเมินการปนเปื้อนน้ำมันบริเวณปากทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จารุภา ศิริ และ คุสิต ตันวิไลย. 2551. ผลจับหอยหวาน (*Babylonia areolata*) จากลอบปูแบบพับ
ได้ในจังหวัดระยอง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2551. ศูนย์วิจัยพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทย
ฝั่งตะวันออก (ระยอง) สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเล สำนักวิจัยและ
พัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จุมพล สงวนสิน, สุริดา กาญจน์อติเรกกลาก, สุภวัตร กาญจน์อติเรกกลาก และ สมพงษ์ บันดิวิวัฒน์
กุล. 2548. การศึกษาการสะสมของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์พื้นทะเลบาง
ชนิด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/ 2558. ราชการบริหารส่วนกลาง กรมประมง, กรุงเทพฯ.

จิรารัตน์ เรียมเจริญ, วิชาญ ชูสุวรรณ, วรรณดี ห่อเพชร, สุวรรณ พุทธบัว และ วีระชาติ ยืนบุรี.
2557. การกระจายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลในอ่าวปากพนัง, น. 188.
ใน บทคัดย่อ นิทรรศการเทิดพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และ
การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4. สถานวิจัยความเป็นเลิศความ
หลากหลายทางชีวภาพแห่งคาบสมุทรไทย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และ สมาคมวิทยาศาสตร์
ทางทะเลแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.

ชรรัตน์ รุ่งเรืองศิลป์. 2533. น้ำมัน. กองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการ
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

ชลี ไพบูลย์กิจกุล, สุวรรณ ภาณุตระกูล, สุภวัตร กาญจน์อติเรกกลาก และ สุชาติพิย์ มาฟู. 2551.
การเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณปากแม่น้ำแฉม
หนู จังหวัดจันทบุรี และปากแม่น้ำระยอง จังหวัดระยอง, น. 509-516. ใน รายงานการ
ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขาทรัพยากรธรรมชาติ
และสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชัยยุทธ ช่างสาร และ เลิศณรงค์ ศรีพนม. 2543. **เคมีประยุกต์**. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

เชาว์ นกอยู่. 2538. การปนเปื้อนของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ตะกอน และ หอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดุสิต ต้นวิไลย, จารุภา ศิริ และ สุวิชา ใจเปี่ยม. 2551. สัตว์น้ำที่จับได้จากลอบปลาหลังการจัดสร้าง แหล่งอาศัยสัตว์ทะเล จังหวัดระยอง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 21/2551. ศูนย์วิจัยพัฒนา ประมงทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ระยอง) สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเล สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ดารณี สุขยั้ง. 2545. การทดสอบความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนโดยใช้อาร์ทีเมีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ทิพวัลย์ พลเดโช. 2546. การศึกษาคุณภาพดินตะกอนและคุณภาพน้ำในดินตะกอนบริเวณปาก แม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดตราด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชนกฤต หวังดำรงค์. 2542. ความเป็นพิษของน้ำมันและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสาหร่ายสีเขียว (*Chlorella spp*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ชนพล มีโกคา. 2550. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำและตะกอนดิน บริเวณสะพานปลา อำเภอแสนสุข จังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรพงศ์ ศรีอรุณ. 2549. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสาหร่ายทะเลสกุล *Padina* และน้ำทะเล บริเวณเกาะเสม็ด จังหวัดชลบุรี. ปัญหาพิเศษ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรยุทธ ศรีคุ้ม, ประภาส บินร่าห์มาน และ สุวิชา ใจเปี่ยม. 2555. การประมงอวนจมปูบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก. เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 15/2555. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก (ระยอง) สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีประมงทะเล สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 24 หน้า.

นฤมล กรณิตนันท์. 2551. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2551. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

นิลนิจ ชัยชนาวิสุทธิ์ และ อนุตร กฤษณะพันธุ์. 2543. การวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตหอยทะเลเศรษฐกิจชนิดใหม่: หอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1807) สำหรับฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรประมงชายฝั่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด. 2541. รายงานฉบับหลัก การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการติดตั้งอุปกรณ์ขนถ่ายสารปิโตรเคมีและคลังเก็บวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด. เสนอต่อ บริษัท มาบตาพุด แทงค์ เทอร์มินัล จำกัด.

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด. 2556. รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการผลิตโพลีเอสเตอร์ (ส่วนขยาย ครั้งที่ 1) (ฉบับสมบูรณ์). เสนอต่อ บริษัท อินโดรามา โพลีเอสเตอร์ อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน).

ประทีป เอ่งฉ้วน. ม.ป.ป. ทิศทางการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่มาบตาพุดต่อ
ศักยภาพการรองรับในปัจจุบัน และสภาพปัญหาในพื้นที่มาบตาพุด. สำนักงานนิคม
อุตสาหกรรมมาบตาพุด การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทรัพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร. 2557. เชื้อเพลิงและ
วัสดุหล่อลื่น. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ปราโมทย์ ไชยเวช และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2543. ปีโตรเลียมเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1.
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปัญจรัตน์ วงศ์ภาพรรณ. 2539. ปริมาณปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน บริเวณอ่าว
ไทยตอนล่าง. ปัญหาพิเศษ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พงศ์เทพ วิวรรณะเดช. 2547. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. บริษัท ไชเบอร์เพรส จำกัด,
เชียงใหม่.

พิมพ์วิไลยษ์ เชื้อผู้ดี, สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์ และ เอื้อมพร ศักนา. 2551. การแพร่กระจายของ
ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณท่าเทียบเรืออ่าวฉลอง จังหวัดภูเก็ต, น. 406-414. ใน
เรื่องเติมการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551 สาขา สมุทรศาสตร์เคมีและ
มลภาวะทางทะเล. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม, ภูเก็ต.

ราชกิจจานุเบกษา. 2550. ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 124 ตอนที่ 11ง, หน้า 123.

วรารณ เดชบุญ และ หัสพงศ์ สมชนะกิจ. 2549. การประมงปูม้าบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง.

เอกสารวิชาการฉบับที่ 19/2549. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 28 หน้า.

วันเพ็ญ ค่วนเวชยันตร์, พรศรี มิ่งขวัญ, ทศพร บำรุงวงษ์, ศิริพงศ์ ชอบแต่ง และ สุภกิจ จิวเจริญ.

2557. ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล บริเวณรอบเกาะเสม็ดและพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดระยอง หลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลกลางทะเล จังหวัดระยอง, น. 190. ใน **บทคัดย่อ นิทรรศการเทิดพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4.**

4. สถานวิจัยความเป็นเลิศความหลากหลายทางชีวภาพแห่งคาบสมุทรไทย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และ สมาคมวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.

วิทยา หะวานนท์ และ สุทธิณี ลิ้มธรรมมหิศร. 2544. ผลของน้ำมันเครื่องต่ออัตราการตายของปลากะพงขาว. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 15/2544.** สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดชุมพร. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

แววดา ทองระอา, กล้วย มุสิกะ, วันชัย วงศ์ดาวรรณ และ อาวุธ หมั่นหาผล. 2548. รายงานการวิจัย การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสารปรอทในดินตะกอนและน้ำ บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด. สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

ศรัณย์ เพ็ชรพิรุณ. 2531. ปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก (พัทยา-ตราด). **เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2531.** ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศุภวัตร กาญจน์อดิเรกกลาก, สุริดา กาญจน์อดิเรกกลาก และ วิษณุพงศ์ วิเชียรรัตนกุล. 2554. การปนเปื้อนของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งหมดในน้ำ บริเวณชายฝั่งทะเลประเทศไทย ปี 2553. ใน การสัมมนาวิชาการกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ประจำปี 2554. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ศูนย์สื่อการสอนทางอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. ม.ป.ป. บทที่ 6 การเพาะเลี้ยงปลา
กะพงขาว. แหล่งที่มา: [http://www.google.co.th/url?url=http://e-book.ram.edu-e-book/a/AT428\(S\)/AT428-6\(s\).pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=s9FmVaq1GMu1uAT3xYKQBw&ved=0CBMQFjAA&usg=AFQjCNHSHk7OoFFOa0tn-ErpthblpgNnBg](http://www.google.co.th/url?url=http://e-book.ram.edu-e-book/a/AT428(S)/AT428-6(s).pdf&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=s9FmVaq1GMu1uAT3xYKQBw&ved=0CBMQFjAA&usg=AFQjCNHSHk7OoFFOa0tn-ErpthblpgNnBg).

สถานีวิจัยประมงศรีราชา. 2546. โครงการพัฒนาศักยภาพการเพาะเลี้ยงและการแปรรูปสัตว์น้ำเศรษฐกิจแบบครบวงจร. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ โครงการวิจัยและถ่ายทอดงานวิจัยสู่ประชาชน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ฝ่ายสนับสนุนวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2557. สมุดปกขาว บทเรียนจากกรณีน้ำมันรั่วที่อ่าวพร้าว ปี 2556. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สมควร ไช้แก้ว. 2545. ผลกระทบของน้ำมันและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมภพ รุ่งสุภา. 2542. รายงานผลการวิจัย การตรวจเฝ้าระวังมลพิษทางทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนระยะที่ 8. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สมภพ รุ่งสุภา. 2553. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล ตะกอนดิน และสัตว์ทะเล บริเวณอ่าวไทยตอนบน กับมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง. สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สำนักงานท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด. 2557. ผู้ประกอบการ. แหล่งที่มา:
http://www.maptaphutport.com/maptaphut/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=84, 30 มิถุนายน 2557.

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2553. รายงานสถานการณ์ด้านมลพิษทางน้ำ เขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ประจำปี 2552. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2555. รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำและการดำเนินการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ประจำปี พ.ศ. 2554. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2556. รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำและการดำเนินการแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง ประจำปี พ.ศ. 2555. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2557. 6 ปี คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางทะเลหน้านิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง 2550 – 2555. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สุจิตรา เขาว์ปรีชา. 2530. ผลของน้ำมันดิบอะเรเบียนชนิดเบาในรูปที่ละลายน้ำต่อลูกปลากระพงขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธิดา กาญจน์อติเรกलग, สุภวัตร กาญจน์อติเรกलग, ลักขณา ห่มั่นเขตรกิจ และ ขวัญชัย ปากน้ำ.

2557. สารปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกของ
อ่าวไทยปี 2556, น. 171. ใน **บทคัดย่อ นิทรรศการเทิดพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้า
สิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ และการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 4**. สถาบัน
วิจัยความเป็นเลิศความหลากหลายทางชีวภาพแห่งคาบสมุทรไทย ภาควิชาชีววิทยา คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และ
สมาคมวิทยาศาสตร์ทางทะเลแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัด
สงขลา

สุธิดา กาญจน์อติเรกलग, สุภวัตร กาญจน์อติเรกलग, สุภฤกษ์ ราชมณี และ มิคมิินทร์ จารุจินดา.

2548. การปนเปื้อนของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนรวมในน้ำทะเล บริเวณปากแม่น้ำของ
อ่าวไทยฝั่งตะวันออก. **เอกสารวิชาการฉบับที่ 15/2548**. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากร
ทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สุนทรี ขุนทอง. 2557. **เคมีสำหรับวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุมาลี สุขदानนท์. 2554. **ทำเรือมาบตาพุด**. แหล่งที่มา:

<http://www.tri.chula.ac.th/triresearch/mabtaput/mabtaput.html>, 30 มิถุนายน 2557.

สุนันท์ เหล่าสุขสถิตย์. 2547. **เคมีของไฮโดรคาร์บอน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์ผลิตตำราเรียน
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สุวจน์ ชุณหรัตน์. 2549 ก. ผลกระทบของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ
ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*). วิทยานิพนธ์ปริญญา
โท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวจน์ ธีรุต. 2549 ข. มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์,
กรุงเทพฯ.

เสาวภา สวัสดิ์พีระ, วัชรินทร์ ปัญญาพวก, ปรรณนา ควรรดี และ ชาญวิทย์ สุขปัญญาพงศ์. 2537.
ผลกระทบของน้ำมันเบนซินและดีเซลต่อสาหร่าย *Tetraselmis helle*. วารสารสถาบัน
วิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา 3 (3): 9.

อนันต์ ดันสุตะพานิช, นกมล ภูพานิช, ธนัญช์ สังกรธนกิจ และ ธงชัย เพิ่มงาม. 2536. คู่มือการ
เพาะเลี้ยงและการใช้ประโยชน์จากอาร์ทีเมีย. งานเอกสารคำแนะนำ กองส่งเสริมการ
ประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อำพล ชื่อตรง และ สายันต์ ศรีวิเชียร. 2545. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น. สำนักพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริม
วิชาการ, กรุงเทพฯ.

Abernethy, S., Bobra, A.M., Shiu, W.Y., Wells, P.G. and MACKAY, D. 1986. Acute lethal
toxicity of hydrocarbons and chlorinated hydrocarbons to two planktonic crustaceans:
The key role of organism-water partitioning. **Aquatic Toxicology** 8: 163-174.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1995. **Toxicological Profile for
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. U.S. Department of health and human services
public health service. Atlanta, Georgia.

American Society for Testing Materials (ASTM). 2001. ASTM Standard E 2172-01: Standard guide for conducting laboratory soil toxicity with the nematode *Caenorhabditis elegans*. **Annual Book ASTM Standards** 11: 1606-1616.

Anderson, J.W., J.M. Neff, B.A. Cox, H.E. Tatem and G.M. Hightower. 1974. Characteristics of dispersions and water soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. **Mar. Biol.** 27: 75-88.

Barakat, A.O., A. Mostafa, T.L. Wade, S.T. Sweet and N.B. El Sayed. 2011. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt. **Mar. Pollut. Bull.** 62: 1969–1978.

Barron, M.G., T. Podrabsky, S. Ogte and R.W. Ricker. 1999. Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organism?. **Aqua. Toxicol.** 46: 253-268.

Baumard, P., H. Budzinski and P. Garrigues. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and mussels of the western Mediterranean sea. **Environ. Toxicol. Chem.** 17 (5): 765-776.

Beg, M.U., T. Saeed, S. Al-Muzaini, K.R. Beg, and M. Al-Bahloul. 2003. Distribution of petroleum hydrocarbon in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 54: 47–55.

Boehm, P.D. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), pp. 314-337. *In* R.D. Morrison and B.L. Murphy, eds. **Environmental Forensics Contaminant: Specific Guide**. Academic Press, USA.

Boonyatumanond, R., G. Wattayakorn, A. Togo and H. Takada. 2006. Distribution and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in riverine, estuarine and marine sediments in Thailand. **Mar. Pollut. Bull.** 52: 942-956.

Boonperm, C. 2012. **Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment around Koh Sichang anchorage area, Chonburi province**. M.S. thesis, Chulalongkorn University.

Botsou, F. and I. Hatzianestis. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in marine sediments of the Hellenic coastal zone, eastern Mediterranean: levels, sources and toxicological significance. **J. Soils. Sediments** 12 (2): 265-277.

Breedveld, G.D. and D.A. Karlsen. 2000. Estimating the availability of polycyclic aromatic hydrocarbons for bioremediation of creosote contaminated soils. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 54: 255-261.

Browne, R.A., P. Sorgeloos and C.N.A. Trotman. 1991. **Artemia Biology**. CRC Press, United States.

Budzinski, H., I. Jones, J. Bellocq, C. Pierrard, P. Garrigues. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediment of the Georges river estuary. **Mar. Chem.** 58: 85-97.

- Buikema, A.L., B.R. Niederlehner and J. Cairns. 1982. Biological monitoring part IV-toxicity testing. **Wat. Res.** 16: 239-262.
- Calbet, A., E. Saiz and C. Barata. 2007. Lethal and sublethal effects of naphthalene and 1,2-dimethylnaphthalene on the marine copepod *Paracartia grani*. **Mar Biol.** 151: 195–204.
- Capuzzo, J.M. 1987. Biological effects of petroleum hydrocarbons: assesment from experimental results, pp. 343-410. *In* D.F. Boesch, and N.N. Rabalais, eds. **Long Term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development.** Elsevier Applied Science, London.
- Chainarong, S. 2008. **Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in Seawater, Sediment, Plankton and Oysters at Ang Sila Coast, Chonburi Province.** M.S. thesis, Mahidol University.
- Chaisuksant, Y., Q. Yu and D.W. Connell. 1999. The internal critical level concept of nonspecific toxicity. **Res. Environ. Toxicol.** 162: 1-41.
- Cheevaporn, V and P. Menasveta. 2003. Water pollution and habitat degradation in the gulf of Thailand. **Mar. Pollut. Bull.** 47 (1-6): 43-51.
- Chen, C.W., C.F. Chen. 2011. Distribution, origin, and potential toxicological significance of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. **Mar. Pollut. Bull.** 63: 417-423.

- Chen, C.W., C.F. Chen, C.D. Dong and Y.T. Tu. 2012. Composition and source apportionment of PAHs in sediments at river mouths and channel in Kaohsiung harbor, Taiwan. **J. Environ. Monit.** 14: 105-115.
- Chouksey, M.K., A.N. Kadam and M.D. Zingde. 2004. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. **Mar. Pollut. Bull.** 49: 637-647.
- Chung, K.W., M.H. Fulton and G.I. Scott. 2007. Use of the juvenile clam, *Mercenaria mercenaria*, as a sensitive indicator of aqueous and sediment toxicity. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 67: 333-340.
- Clark, R.B. 2001. **Marine Pollution.** 5th ed. Oxford University Press, New York, USA.
- Correia, A.D., R. Gonçalves, M. Scholze, M. Ferreira, M. A. Henriques. 2007. Biochemical and behavioral responses in gilthead seabream (*Sparus aurata*) to phenanthrene. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 347: 109–122.
- De Luca, G., A. Furesi, G. Micera, A. Panzanelli, P.C. Piu, M.I. Pilo, N. Spano, G. Sanna. 2005. Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia Harbor (Northern Sardinia, Italy). **Mar. Pollut. Bull.** 50: 1223–1232.
- Dede, E.B. and H.D. Kaglo. 2001. Aqua-toxicological effects of water- soluble fraction (WSF) of diesel oil, fuel oil on *O. Niloticus* Fingerlings. **J. Appl. Sci. Environ. Mgt.** 5 (1): 93-96.

- Dhananjayan1, V. and S. Muralidharan. 2012. Research article polycyclic aromatic hydrocarbons in various species of fishes from Mumbai Harbor, India, and their dietary intake concentration to human. **International Journal of Oceanography**.
- Duffus, J.H. 1982. Petroleum and radionuclides, pp 94-97. *In* **Environmental Toxicology**. John Wiley and Son, New York.
- Doerffer, J.W. 1992. **Oil Spill Response in the Marine Environment**. Pergamon Press, USA.
- Eisler, R. 1987. Polycyclic aromatic hydrocarbon hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. **U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report** 85 (1.11).
- Fang, J.K.H., D.W.T. Au, R.S.S. Wu, G.J. Zheng, A.K.Y. Chan, P.K.S. Lam and P.K.S. Shin. 2009a. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in green-lipped mussel *Perna viridis* from Victoria harbor, Hong Kong and possible human health risk. **Mar. Pollut. Bull.** 58: 615-620.
- Fang, J.K.H., R.S.S. Wu, G.J. Zheng, D.W.T. Au, P.K.S. Lam and P.K.S. Shin. 2009b. The use of muscle burden in rabbitfish *Siganus oramin* for monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in Victoria harbor, Hong Kong and potential human health risk. **Science of the Total Environment** 407: 4327-4332.
- Fong, W.C. 1976. Uptake and retention of Kuwait crude oil and its effects on oxygen uptake by the soft-shell clam *Mya arenaria*. **J. Fish. Res. Bd. Can.** 33: 2774-2780.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1970. Physical and Chemical methods of soil and water analysis. **FAO Soils Bulletin**. 10: 29-51.

Fucik, K.W., K.A. Carr and B.J. Balcom. 1995. Toxicity of oil and dispersed oil to the eggs and larvae of seven marine fish and invertebrates from the Gulf of Mexico, pp. 135-171. *In* P. Lane, ed. **The Use of Chemicals in Oil Spill Response**. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.

GESAMP (IMCO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN) - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. 1977. Impact of oil on the marine environment. **Reports and Studies No. 6**. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts Scientific Aspects of Marine Pollution). 2002. The revised GESAMP hazard evaluation procedure for chemical substances carried by ships. **GESAMP Reports and Studies No. 64**. International Maritime Organization, London.

Heitzman, B. 2006. **OHIO EPA Surface Water Quality Criterion Fact Sheet: Fluorene**.

Hoffman, D.J., B.A. Rattner, Jr G.C. Burton, Jr J. Cairns. 1994. **Handbook of Ecotoxicity**. Lewis Publishers, Boca Raton.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2010. **Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**.

Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). 1984. Manual for monitoring oil and dissolved / dispersed petroleum hydrocarbons in marine waters and on beach. **Manual and Guide** No. 13. IOC/UNESCO, Paris, France.

International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF). 1991. **Response to Marine Oil Spill**. Witherby & Co. Ltd, London.

International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF). 2004. **ITOPF Manual Book 2004/2005: Fate of marine oil spills**. London.

International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF). 2011a. Fate of marine oil spills. **Technical Information Paper 2**.

International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF). 2011b. Effects of oil pollution on fisheries and mariculture. **Technical Information Paper 11**.

International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF). 2011c. Effects of oil pollution on the marine environment. **Technical Information Paper 13**.

Jaward, F.M., H.A. Alegria, J.G.G. Reyes and A. Hoare. 2012. Levels of PAHs in the waters, sediments, and shrimps of Estero de Urias, an estuary in Mexico, and their toxicological effects. **The Scientific World Journal**.

Jensen, B.M. 1994. Effect of oil pollution, chemically treated oil, and cleaning on thermal balance of birds. **Environ. Pollut.** 86: 207-215.

Jiang, J.J., C.L. Lee, M.D. Fang, J.T. Liu. 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal sediments of southwest Taiwan: an appraisal of diagnostic ratios in source recognition. **Mar. Pollut. Bull.** 58: 752-760.

Kagan, J., E. D. Kagan, I. A. Kagan, P. A. Kagan and S. Quigley. 1985. The phototoxicity of non-carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms. **Chemosphere** 14: 1829-1834.

Kennish, M.J. 1997. **Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution.** CRC Press, Inc., USA.

Khairy, M.A., M. Kolb, A. R. Mostafa, A. El-Fiky and M. Bahadir. 2009. Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Mediterranean semi-enclosed basin affected by human activities (Abu Qir Bay, Egypt). **Journals of Hazardous Materials** 170: 389-397.

Khalid, M., H. Zhong, Z. Junliang and H. Yali. 2007. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in main aquacultural areas in Guangdong, China. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology** 25: 166-173.

Kornberg, H. 1981. **Royal Commission on Environmental Pollution: Oil Pollution of the Sea.** Witherby Co, London.

Kuwabara, K., A. Nakamura and T. Kashimoto. 1980. Effect of petroleum oil, pesticides, pCBs and other environmental contaminants on the hatchability of *Artemia salina* dry eggs. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 25 (1): 69-74.

Laughlin, R.B. and J.M. Neff. 1979a. Interactive effects of salinity, temperature and polycyclic aromatic hydrocarbons on the survival and development rate of larvae of the mud crab *Rhithropanopeus harrisii*. **Mar. Biol.** 53 (3): 281-291.

Laughlin, R.B. and J.M. Neff. 1979b. The interactive effects of temperature, salinity and sublethal exposure to phenanthrene, a petroleum-derived polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), on the respiration rate of juvenile mud crabs, *Rhithropanopeus harrisii*. **International Oil Spill Conference (IOSC) Proceedings** Issue 1.

Laughlin, R.B., L.G.L. Young and J.M. Neff. 1978. A long term study of the effects of water - soluble fractions of no. 2 fuel oil on the survival, development rate and growth of the mud crab *Rhithropanopeus harrisii*. **Mar. Biol.** 47: 87-95.

Levitan, W.M., M.H. Taylor. 1979. Physiology of salinity-dependent naphthalene toxicity in *Fundulus heterochlitis*. **J. Fish. Res Board Can** 36: 615-620.

Li, J., H. Dong, D. Zhang, B. Han, C. Zhu, S. Liu, X. Liu, Q. Ma and X. Li. 2015. Sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Bohai Sea and northern part of the Yellow Sea, China. **Mar. Pollut. Bull.** 96: 485-490.

Li, Y., Y. Zhao, S. Peng, Q. Zhhou and L.Q. Ma. 2010. Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005. **Mar. Pollut. Bull.** 60: 238-243.

- Liu, A., Y. Lang, L. Xue and J. Liu. 2009. Ecological risk analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Laizhou Bay. **Environ Monit Assess** 159: 429-436.
- Long, E.R. and D.D. MacDonald. 1998. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. **Human and Ecological Risk Assessment** 4 (5): 1019-1039.
- Long, E.R., D.D. MacDonald, C.G. Severn and C.B. Hong. 2000. Classifying probabilities of acute toxicity in marine sediments with empirically derived sediment quality guidelines. **Environ. Toxicol. Chem.** 19: 2598-2601.
- Long, E.R., C.G. Ingersoll and D.D. MacDonald. 2006. Calculation and uses of mean sediment quality guideline quotients: a critical review. **Environ. Sci. Technol.** 40 (6): 1726-1736.
- Long, E.R., D.D. MacDonald, S.L. Smith and F.D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. **Sediment Quality Guidelines**: 8577-8606.
- Long, E.R., L.J. Field and D.D. MacDonald. 1998. Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. **Environ. Toxicol. Chem.** 17: 714-727.
- Maliszewska-Kordybach, B., B. Smreczak, A. Klimkowicz-Pawlas and H. Terelak. 2008. Monitoring of the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in arable soils in Poland. **Chemosphere** 73: 1284-1291.

Manan, N., M. Raza, Y.S. Yuh, L.W. Theng and M.P. Zakaria. 2011. Distribution of petroleum hydrocarbons in aquaculture fish from selected locations in the Straits of Malacca, Malaysia. **World Appl. Sci. J.** 14: 14-21.

Manthachitra, V. and V. Cheevaporn. 2007. Reef fish and coral assemblages at Maptaphut, Rayong province. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 29 (4): 907-918.

McCloskey, J.T. and J.T. Oris. 1991. Effect of water temperature and dissolved oxygen concentration on the photo-induced toxicity of anthracene to juvenile blue gill sunfish (*Lepomis macrochirus*). **Aquatic Toxicology** 21 (3-4): 145-156.

McCready, S., G. F. Birch and E.R. Long. 2006. Metallic and organic contaminants in sediments of Sydney Harbor, Australia and vicinity-a chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines. **Environment International** 32: 455-465.

Millward, B. 2014. **PAH Source - Petrogenic, Pyrogenic or Phytogenic?**. Available Source: www.jones-environmental.com., October 10, 2014.

Mirza, R., M. Mohammadi, A. D. Sohrab, A. Safahieh, A. Savari, P. Hajeb. 2012. Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater sediment and rock oyster *Saccostrea cucullata* from the northern part of the Persian Gulf (Bushehr province). **Water Air Soil Pollut.** 223: 189-198.

- Mokkongpai, P., P. Kanchanopas-Barnett and P. Sawangwong. 2010. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in green mussels (*Perna viridis*) collected from the east coast of Chon Buri province, Thailand. **Journal of Science, Technology, and Humanities** 8 (1): 13-23.
- Mostafa , A.R., T.L. Wade, S.T. Sweet, A.K.A. Al-Alimi and A.O. Barakat. 2009. Distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen. **Journal of Marine Systems** 78: 1–8.
- Muniz, P., E. Danulat, B. Yannicelli, J. Garcia-Alonso, G. Medina and M.C. Bicego. 2004. Assessment of contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of Montendeo Harbour (Uruguay). **Environ. Internat.** 29: 1019-1028.
- Musa Bandowe, B.A., M. Bigalke, L. Boamahb, E. Nyarko, F.K. Saalia, W.Wilcke. 2014. Polycyclic aromatic compounds (PAHs and oxygenated PAHs) and trace metals in fish species from Ghana (West Africa): bioaccumulation and health risk assessment. **Environment International** 65: 135–146.
- Nagpal, N.K. 1993. **Ambient Water Quality Criteria for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)**. Water quality Branch, water management division, ministry of environment, Lands and Parks, British Columbia.
- Neff, J.M. and J.W. Anderson. 1981. **Response of Marine Animals to Petroleum and Specific Petroleum Hydrocarbons**. Applied Science Publishers Ltd, London.

Neff, J.M., S.A. Stout and D.G. Gunstert. 2005. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments: identifying sources and ecological hazard. **Integr Environ Assess Manag.** 1: 22-33.

NCS Pearson. 2014. **Hydrocarbons.** Available Source:
<http://chemistry.tutorcircle.com/organic-chemistry/hydrocarbons.html>, April 23, 2015.

Nunes, B., F. D. Carvalho and L. M. Guihermino and G.V. Stappen. 2006. Use of the genus *Artemia* in ecotoxicity testing. **Environ. Pollut.** 144: 453-462.

Nyarko, E., B.O. Botwe and E. Klubi. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels in two commercially important fish species from the coastal waters of Ghana and their carcinogenic health risks. **West African Journal of Applied Ecology** 19: 53-66.

Olajire, A.A., R. Altenburger, E. Küster and W. Brack. 2005. Chemical and ecotoxicological assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminated sediments of the Niger Delta, Southern Nigeria. **Sci. Total Environ.** 340 (1): 123-136.

Oliveira, M., C. Gravato, L. Guilhermino. 2012. Acute toxic effects of pyrene on *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae): mortality, biomarkers and swimming performance. **Ecological Indicators** 19: 206–214.

Oliveira, M., M. Pacheco and M.A. Santos. 2008. Organ specific antioxidant responses in golden grey mullet (*Liza aurata*) following a short-term exposure to phenanthrene. **Science of the total environment** 396: 70 – 78.

- Ololade, I.A. and L. Lajide. 2010. Exposure level and bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in edible marine organisms. **Journal of Environmental Indicators** 5: 69-88.
- Palanikumar, L., A.K. Kumaraguru, C.M. Ramakritinan and M. Anand. 2012. Biochemical response of anthracene and benzo (a) pyrene in milkfish *Chanos chanos*. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 75: 187–197.
- Pereira, W. E., F. D. Hostettler and J. B. Rapp. 1996. Distributions and fate of chlorinated pesticides, biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment along a contamination gradient from a point-source in San Francisco Bay, California. **Marine Environmental Research** 41: 299-314.
- Pereira, W. E., F. D. Hostettler, S.N. Luoma, A. van Green, C.C. Fuller and R.J. Anima. 1999. Sedimentary record of anthropogenic and biogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Bay, California. **Mar. Chem.** 64: 99-113.
- Pietzsch, R., S.R. Patchineelama and J.P.M. Torres. 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments from a subtropical estuary in Brazil. **Marine Chemistry** 118: 56–66.
- Qiao, M., C. Wang, S. Huang, D. Wang and Z. Wang. 2006. Composition, source and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. **Environ. Int.** 32: 28-33.

- Ribelles, A.C., C. Carrasco and M. Rosety. 1995. Morphological and histochemical-changes caused by sodium dodecyl-sulfate in the *Sparus aurata*. **L. Eur. J. Histochem** 39 (2): 141-148.
- Rocha, A.J.S., V. Gomes, P.V. Ngan, M.J.A.C.R. Passos and R.R. Furia. 2007. Effects of anionic surfactant and salinity on the bioenergetics of juveniles of *Centropomus parallelus* (Poey). **Ecotox and Environ Safety** 68: 397-404.
- Rocher, V., S. Azimi, R. Moilleron and G. Chebbo. 2004. Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposits in the 'Le Marais' catchment (Paris, France): stocks, distributions and origins. **Sci. Tot. Envir.** 323: 107-122.
- Rosety-Rodriguez, M., F. J. Ordoñez, M. Rosety, J. M. Rosety, I. Rosety, A. Ribelles, and C. Carrasco. 2002. Morpho-histochemical Changes in the Gills of Turbot, *Scophthalmus maximus* L., Induced by Sodium Dodecyl Sulfate. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 51: 223-228.
- Safahieh, A., M. Mahmoodi, Y. Nikpoor and K. Ghanemi. 2011. PAHs concentration in ark clam (*Barbatia helblingii*) from South Persian Gulf, Bushehr, Iran. **International Journal of Environmental Science and Development** 2 (5).
- Schlumberger Limited. 2015. **Oilfield Glossary**. Available Source: http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/a/aliphatic_compound.aspx, April 23, 2015.

Scholz, D., I. Michel, G. Shingenaka and F. Hoff. 2000. Biological resources. *In An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources to Oil Spill Response*. HMRAD, Washington D.C., USA.

Schrehardt, A. 1987. A scanning electron-microscope study of the post-embryonic development of *Artemia*, pp. 5-32. *In* P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Decler and E. Jaspers, eds. **Artemia Research and its Applications Vol. 1 Morphology, Genetics, Strain Characterization, Toxicology**. Universa Press, Wetteren, Belgium.

Shriadah, M. M. A. 2000. Levels and distribution of petroleum hydrocarbons in the coastal waters and sediments of the United Arab Emirates in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman. **Water, Air and Soil Pollution** 119: 247-256.

Sorgeloos, P., Remiche-Van Der Wielen, C. and G. Persoone, G. 1978. The use of *Artemia nauplii* for toxicity tests-a critical analysis. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 2: 249-255.

Spies, R.B. 1987. The biological of petroleum hydrocarbons in the sea: assessment from the field and macrocosms, pp. 343-410. *In* D.F. Boesch and N.N. Rabalais, eds. **Long Term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development**. Elsevier Applied Science, London.

Sprague, J.B. 1969. Measurement of pollutant toxicity to fish I: bioassay for toxicity. **Wat. Res.** 3 (11): 793-820.

Sprague, J.B. 1971. Measurement of pollutant toxicity to fish III: sub lethal effects and 'safe' concentrations. **Wat. Res.** 5: 245-266.

Sprovieri, M., M.L. Feo, L. Prevedello, D.S. Manta, S. Sammartino, S. Tamburrino and E. Marsella. 2007. Heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbor (southern Italy). **Chemosphere** 67: 998-1009.

Steertegem, M.V. and G. Persoone. 1993. Cyst-based toxicity tests. V. Development and critical evaluation of standardized toxicity tests with the brine shrimp *Artemia* (Anostraca, Crustacea), pp. 81-97. In A.M.V.M. Soares and P. Calow, eds. **Progress in Standardization of Aquatic Toxicity Tests**. Lewis Publishers, USA.

Stringer, T.J., C.N. Glover, V. Keesing, G.L. Northcott and L.A. Tremblay. 2012. Development of a harpacticoid bioassay: selection of species and relative to Zinc, atrazine and phenanthrene. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 80: 363-371.

Sudara, S., T. Yeemin, S. Satumanatpan, S. Nateekanjanalarp and C. Sookkchanuluk. 1992. Qualitative assessment of impacts from siltation on the coral communities around Koh Saket, Rayong province, pp. 95-111. In Chou, L.M. and C.R. Wilkinson., eds. **Proceeding of the 3rd ASEAN Science and Technology Week Conference Vol. 6, Marine Science: Living Coastal Resources**. 21-23 September 1992. Singapore and National Science and Technology Board, Singapore.

Sukrarurk, W. 1999. **Physiological Responses of Postlarva Black Tiger Prawn *Penaeus monodon* to Combined Effects of Salinity and Water Soluble Fraction of Dubai Crude Oil.** M.S. Thesis, Chulalongkorn University.

Suthanaruk, P. 1991. **Petroleum Hydrocarbons in the marine environment around ship-breaking industry area Map Ta Phut, Rayong Province.** M.S. Thesis, Chulalongkorn University.

Suwanagosoom, S. 2001. **Accumulation of Total Petroleum Hydrocarbon in Marine Food Chain around Phe Bay, Rayong Province.** M.S. Thesis, Mahidol University.

Tahir, N.M., A.R. Abdullah and S. Shanmugam. 1997. Determination of total hydrocarbon concentration in coastal waters and sediments off the east coast of Peninsular Malaysia. **Environ. Geochem. and Health** 19: 67-71.

Tavakoly Sany, S.B., R. Hashim, A. Salleh, O. Safari, A. Mehdinia and M. Rezayi. 2013. Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the west port semi-enclosed basin (Malaysia). **Environ. Earth Sci.**

The National Academic Press. 2003. **Oil in the Sea III: Inputs, Fates and Effects.** The National Academy of Science, Washington D.C., U.S.A.

Togulga, M. 1998. The short-term toxicity of two toxicants to *artemia nauplii*. **Turkish Journal of Zoology** 22: 259-266.

Topp, G.C. 1993. Soil water content, pp. 541-557. *In* M.R. Carter, ed. **Soil Sampling and Methods of Analysis**. Lewis Publishers, U.S.A.

Unger, M.A., M.C. Newman and G.G. Vadas. 2007. Predicting survival of grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) during ethynaphthalene, dimethynaphthalene and phenanthrene exposures differing in concentration and duration. **Environ. Toxicol. Chem.** 26 (3): 528–534.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). 1993. **Provisional for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons. EPA/600/R-93/089**. Washington, DC, U.S.A.

United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2000. **Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories Vol. 2 Risk Assessment and Fish Consumption Limits**. 3rd ed. Office of Science and Technology, Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

Valette-Silver, N., M. Jawed Hameedi, D.W. Efurd and A. Robertson. 1999. Status of the contamination in sediments and biota from the western Beaufort Sea (Alaska). **Mar. Pollut. Bull.** 38: 702-722.

Vanhaecke, P., G. Persoone, C. Claus and P. Sorgeloos. 1980. Research on the development of a short term standard toxicity test with *Artemia naupli*, pp. 263-285. *In* G. Persoone, P. Sorgeloos, O. Roels and E. Jaspers, eds. **The Brine Shrimp Artemia. Vol 1. Morphology, Genetics, Radiobiology, Toxicology**. Universa Press, Wetteren, Belgium.

- Vanhaecke, P., G. Persoone, C. Claus, P. Sorgeloos. 1981. Proposal for a short-term toxicity test with *Artemia nauplii*. **Ecotoxicol. Environ. Safety** 5: 382-387.
- Vanhaecke, P., G. Persoone. 1984. The ARC-test: a standardized short-term routine toxicity test with *Artemia nauplii*. Methodology and evaluation, 143-157. In G. Persoone, E. Jaspers and C. Claus, eds. **Ecotoxicological Testing for the Marine Environment**. State University of Ghent and Institute. Marine. Science Research, Bredene, Belgium. Vol 2.
- Viguri, J., J. Verde and A. Irabien. 2002. Environmental assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Santander Bay, Northern Spain. **Chemosphere** 48: 157-165.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-37.
- Wang, S.Y. and W.B. Stickle. 1987. Bioenergetics, growth and molting of the blue crab *Callinectes sapidus* exposed to the water - soluble fraction of South Louisiana crude oil, pp. 107-125. In H.J. Vernberg, ed. **Pollution Physiology of Estuarine Organisms**. University of South Carolina Press, South Carolina, U.S.A.
- Wattayakorn, G. 1987. Dissolved/dispersed hydrocarbon in the Gulf of Thailand, pp. 71-76. In **Proceedings of the Fourth Seminar on the Thai Water Quality of Living Resources in Thai Waters**. Surat Thani, Thailand.

- Wattayakorn, G. and S. Rungsupa. 2012. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Koh Sichang-Sriracha, Thailand. **Coastal Marine Science** 35 (1): 122-128.
- Wattayakorn, G., B. King, E. Wolanski and P. Suthanuruk. 1998. Seasonal dispersion of petroleum contaminants in the Gulf of Thailand. **Cont. Shelf. Res.** 18: 641-659.
- Wells, P.G., R.A.A. Blackman, J.N. Butler, M. Ehrhardt, F.R. Engelhardt, P. Howgate, J.F. Payne and M. Nauke. 1993. **Impact of Oil and Related Chemicals on the Marine Environment.**
- Wick, A.B., N.W. Haus, B.F. Sukkariyah, K.C. Haering and W.L. Daniels. 2011. **Remediation of PAH-Contaminated Soils and Sediments: A Literature Review.** Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S.A.
- Widdows, J., T. Bakke, B.L. Bayne and D. Donkin. 1982. Response of *Mytilus edulis* on exposure to water-accommodated fraction of the North Sea oil. **Mar. Biol.** 67: 15-31.
- Wrabel, L. and P. Peckol. 2000. Effects of bioremediation on toxicity and chemical composition of no. 2 fuel oil: growth response of the brown algae (*Fucus vesiculosus*). **Mar. Pollut. Bull.** 2: 135-139.
- Xu, S., J. Song, H. Yuan, X. Li, N. Li, L. Duan and Y. Yu. 2011. Petroleum hydrocarbons and their effects on fishery species in the Bohai Sea, North China. **Journal of Environmental Science** 23 (4): 553-559.

Yim, U.H., S. H. Hong and W.J. Shim. 2007. Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea. **Chemosphere** 68: 85-92.

Yoshimine, R.V. and R.S. Carreira. 2012. PAHs in cultured mussels *Perna perna* from a southeastern Brazilian bay. **J. Bruz. Chem. Soc.**

Yuan, H., T. Li, X. Ding, G. Zhao, S. Ye. 2014. Distribution, sources and potential toxicological significance of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soils of the Yellow River Delta, China. **Mar. Pollut. Bull.** 83: 258-264.

Yunger, M. B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R. H., Goyette D. and Sylvestre S. 2002. PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and combustion. **Org. Geochem.** 33: 489-515.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดและภาพประกอบของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ดินตะกอน และสัตว์น้ำ
บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

ตารางผนวกที่ ก1 รายละเอียดและภาพประกอบสถานีเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและดินตะกอน 20 สถานี

รายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่าง	ภาพประกอบ
W1 ปากคลองพลา อยู่ในเขต อ.บ้านฉาง มีชุมชนตั้งอยู่ตลอดแนวลำคลอง บริเวณปากคลองเป็นแนวคอนกรีตเสริมด้วยหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะ เชื่อมติดกับทะเล เป็นลักษณะที่มีดินทรายมาทับถมกัน ลักษณะทั้ง 2 ฝั่งเป็นชายหาดพลา โดยรอบเป็นที่ตั้งของชุมชนบ้านพลา ไม่มีเรือประมงเข้าออก ทางด้านทิศตะวันตกเป็นที่ขนถ่ายสัตว์น้ำเพื่อรอคนมารับซื้อและนำมาขายในตลาด มีสะพานข้ามคลองที่เชื่อมระหว่างชุมชนสองฝั่งคลอง	
W2 ชุมชนประมงบ้านพลา ตามแนวชายหาดเป็นที่ตั้งของชุมชนบ้านพลา หมู่ 6 ที่อยู่กันอย่างหนาแน่น ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพประมงพื้นบ้าน มีเรือประมงจอดอยู่ เป็นหาดทราย มีสวนสนปลูกไว้อย่างหนาแน่น เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง โดยเฉพาะช่วงหน้ามรสุม ตะวันตกเฉียงใต้และขยะในช่วงฤดูมรสุม	
W3 ปากคลองพูน เป็นคลองที่แบ่งหาดพูน ออกเป็น 2 ส่วน โดยมีสะพานหลวงเตี้ยบ้านพูนเชื่อมต่อสองฝั่ง หาดด้านทิศตะวันตกเป็นที่ตั้งของแพปลาที่มีการนำสัตว์น้ำขึ้นมาจำหน่าย มีรีสอร์ทอยู่ 1 แห่ง ส่วนหาดด้านทิศตะวันออกเป็นที่ตั้งของศาลเจ้า มีที่พัก โรงแรมตลอดแนวหาด มีชุมชนตั้งอยู่ตลอดแนวลำคลอง มีการขายตัวของชุมชน ปากคลองเป็นแนวเขื่อนหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะเชื่อมติดกับทะเล ลักษณะเป็นทรายมาทับถมกัน ไม่มีเรือเข้าออก มีปัญหาการรुकล้ำพื้นที่ชายหาดและขยะในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	
W4 หาดน้ำริน อยู่ในเขต ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง หาดทรายละเอียด พื้นที่ค่อนข้างกว้าง เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญมา พักผ่อนหย่อนใจ เล่นกีฬาากลางแจ้ง หาดทรายละเอียด พื้นที่ค่อนข้างกว้าง ไม่มีการทำประมง มีถนนเลียบหาดประมาณ 1 กม. สุดปลายหาดด้านตะวันออกมีลักษณะเป็นอ่าว มีแหลมเล็กๆ มีโขดหินใหญ่เกาะสลักรูปครอบครัวปลาพะยูน เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งและขยะในช่วงฤดูมรสุม	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่าง	ภาพประกอบ
W5 เชื้อนหนองแฟบ อยู่ในเขต ต.มาบตาพุด อ.เมือง มีการนำหินมาถมเพื่อสร้างเขื่อนยื่นออกมาในทะเล มีเรือประมงขนาดเล็กจอดอยู่ เป็นคนในชุมชนหนองแฟบที่มาทำประมง มีที่พักชั่วคราวในการรับสัตว์น้ำที่จับได้เพื่อรอจำหน่าย มีร้านอาหารตั้งอยู่ 1 ร้าน ผู้คนนิยมมานั่งตกปลา	
M1 ด้านหน้าคลังเก็บน้ำมัน อยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรม ใกล้แนวท่อส่งแก๊สบริเวณชายฝั่งเป็นที่ตั้งของคลังเก็บน้ำมัน โดยรอบไม่เป็นที่ตั้งของชุมชน ช่วงน้ำลงมีความลึก 2.2 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 0.5 - 1.0 เมตร	
M2 จุกระบายน้ำโรงไฟฟ้าโกสวั ใกล้กับชายฝั่ง อยู่ด้านข้างนิคมด้านทิศตะวันตก เป็นจุกระบายน้ำของโรงไฟฟ้าโกสวั กระแสน้ำค่อนข้างแรงมาก ช่วงน้ำลงมีความลึก 2.1 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 0.5-1.5 เมตร	
M3 ปากคลองซากหมาก หรือปากคลองตากวน ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกติดกับท่าเทียบเรือมาบตาพุดบริเวณคลังน้ำมันของบริษัท ปตท. ต้นคลองไหลผ่านนิคม ตลอดแนวคลองมีการคาดซีเมนต์และมีการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม บริเวณปากคลองมีตะกอนสีดำคล้ำและมีกลิ่นเหม็นเป็นวงกว้าง โดยส่วนหนึ่งไหลผ่านชุมชนมาบชูดและตากวน-อ่าวประดู่ ห่างจากปากคลองเข้าไปประมาณ 30 เมตร มีป่าชายเลนที่ถูกปลูกขึ้น	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่าง	ภาพประกอบ
M4 ปากคลองน้ำหนู บริเวณปากคลองค่อนข้างกว้าง มีลักษณะเป็นแนวเขื่อนหิน เป็นที่ตั้งของแหล่งชุมชนที่อาศัยอยู่สองข้างฝั่งคลอง มีเรือประมงเข้าออกซึ่งส่วนใหญ่เป็นเรือประมงพาณิชย์มากกว่าเรือประมงพื้นบ้าน มีร้านขายสัตว์น้ำที่จับได้จากเรือประมงพาณิชย์ที่ออกไปทำการประมงบริเวณแสมสาร รวมทั้งสัตว์น้ำที่ตกแห้งแล้ว มีที่พักของสายตรวจชุมชน น้ำค่อนข้างที่จะขุ่น	
M5 ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร อยู่ใกล้แนวท่อส่งแก๊ส ปตท. กระแสน้ำปกติ สีนําทะเลปกติ ช่วงน้ำลงมีความลึก 7.8 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 2.0-3.0 เมตร	
M6 ปากทางเข้าอ่าวมาบตาพุด อยู่ใกล้กับท่าเทียบเรือ ภายในท่าเทียบเรือนิคมมีการก่อสร้างท่าเทียบเรือเพิ่มเติม ด้านทิศตะวันออกเป็นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าถ่านหิน BLCP มีการขนถ่ายถ่านหิน และมีกองถ่านหินริมฝั่ง มีเรือขนาดใหญ่ผ่านเข้า-ออก มีการระบายน้ำออกของโรงไฟฟ้า กระแสน้ำค่อนข้างแรง ช่วงน้ำลงมีความลึก 7.2 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 1.0-2.5 เมตร	
M7 ห่างฝั่ง 3 กิโลเมตร ด้านทิศตะวันตกเป็นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าถ่านหิน BLCP ใกล้แนวเสาไฟฟ้าแรงสูง ด้านหน้าใกล้กับเกาะสะเก็ดที่มีลักษณะเป็นโขดหินใหญ่ ในบริเวณนี้ต้องใช้ความระมัดระวังในการเดินเรือเพราะมีกองหินโสโครกใต้น้ำ กระแสน้ำค่อนข้างนิ่ง ช่วงน้ำลงมีความลึก 4.5 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 0.5-1.0 เมตร	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่าง	ภาพประกอบ
M8 ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร ตั้งอยู่ในแนวขนานกับชายฝั่ง ห่างฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 5 กม. เป็นเส้นทางเดินเรือสินค้าขนาดใหญ่ที่ผ่านเข้าออกบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด สีนําทะเลปกติ มีขยะในช่วงฤดูมรสุม ช่วงน้ำลงมีความลึก 5.7 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำ 3.0 เมตร	
M9 ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร ห่างฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 5 กม. เป็นเส้นทางเดินเรือสินค้าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำลงมีความลึก 11.9 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 2.0-5.0 เมตร	
M10 ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร ห่างฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 5 กม. เป็นเส้นทางเดินเรือสินค้าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำลงมีความลึก 14.8 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 2.0-3.5 เมตร	
M11 ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร ห่างฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 5 กม. เป็นเส้นทางเดินเรือสินค้าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำลงมีความลึก 11.8 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 1.0-7.0 เมตร	
M12 ห่างฝั่ง 5 กิโลเมตร ห่างฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 5 กม. เป็นเส้นทางเดินเรือสินค้าขนาดใหญ่ ช่วงน้ำลงมีความลึก 11.6 เมตร มีความโปร่งแสงของน้ำอยู่ในช่วง 3.0-7.0 เมตร	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายละเอียดสถานีเก็บตัวอย่าง	ภาพประกอบ
E1 หาดแสงจันทร์ อยู่ในเขต ต.ปากน้ำ อ.เมือง เป็นชายหาดติดต่อกับหาดแหลมเจริญ ตลอดแนวชายหาดมีเขื่อนหินวางเป็นช่วงๆ เพื่อกันคลื่นหยุดยั้งการกัดเซาะชายฝั่ง แต่การทำเช่นนี้ทำให้ชายหาดทั้งแนวถูกคลื่นลมกัดเซาะเป็นช่วงๆ จนกลายเป็นรูปเกือกม้า และมีแนวโน้มนว่าจะเกิดการกัดเซาะเข้ามาในแผ่นดินอีก มีการทำประมงตลอดแนวชายหาด มีการจอดเรือประมงพื้นบ้าน มีการหมักตากแห้ง เป็นที่ตั้งของโรงงานทำน้ำปลา มีกิจกรรมท่องเที่ยว มีร้านค้า ร้านอาหาร และขยะจะถูกพัดพาเข้ามาในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	
E2 ปากน้ำระยอง อยู่ในเขต ต.ปากน้ำ อ.เมือง เป็นลำน้ำ 3 สายมาบรรจบกันคือ แม่น้ำระยอง ดั้งเดิมคือลำน้ำที่ไหลผ่านตัวเมืองระยองมาบรรจบกับปากน้ำด้านตะวันตก ส่วนลำน้ำอีกสองสายเป็นคลองชลประทานที่ขุดขยายเพิ่ม เป็นสันทรายปากแม่น้ำ โดยช่วงจากวัดปากน้ำถึงบริเวณปากน้ำมีชุมชนชาวประมงอยู่กันอย่างหนาแน่นมาก เป็นที่ประกอบการประมง มีท่าเรือ แพปลาทั้งขนาดเล็กและใหญ่รองรับปลาสดจากเรือประมง ในช่วงเย็นจะมีเรือประมงทยอยแล่นออกสู่ทะเลลึก แนวชายหาดทราย เป็นสถานที่พักผ่อน มีเตียงผ้าใบร้านอาหาร และมีประภาคารตั้งอยู่	
E3 ท่าเรือไออาร์พีซี เป็นท่าเรือพาณิชย์และอุตสาหกรรม ซึ่งดำเนินการโดยบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ท่าเรือมีลักษณะเป็นรูปตัว U ประกอบด้วยท่าเรือ 2 ส่วน ได้แก่ ท่าเรือสินค้าปิโตรเคมีและปิโตรเลียมเหลว กับ ท่าเรือคอนเทนเนอร์และสินค้าทั่วไป ระดับน้ำขึ้นลงอยู่ระหว่าง 0.5-2.5 เมตร เหนือระดับน้ำในแผนที่ กระแสน้ำเคลื่อนตัวจาก ทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก ตามกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ความเร็วอยู่ระหว่าง 0.5-2.5 น็อต ความสูงของคลื่นในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยปกติประมาณ 1.0-2.5 เมตร	

รายละเอียดและภาพสถานที่เก็บตัวอย่างสัตว์น้ำ จำนวน 4 สถานี

1. บ้านปลา



ตั้งอยู่ใน อ.บ้านฉาง หาดปลาแบ่งออกเป็น 2 บริเวณคือ เขตชุมชนและเขตท่องเที่ยว หน้าหาดกว้างประมาณ 30 เมตร ยาวประมาณ 500 เมตร จัดตั้งเป็นชมรมประมงเรือเล็กบ้านปลา มีเรือประมงขนาดเล็กจอดอยู่ มีแพปลา และในชุมชนมีตลาดปลาจากชาวบ้านที่นำสัตว์น้ำมาขายแต่ไม่มาก

2. หาดพญาน



ตั้งอยู่ในเขต อ.บ้านฉาง เป็นชายหาดยาวติดต่อกันประมาณ 3 กิโลเมตร เนื้อทรายค่อนข้างละเอียด สีเทา มีการจัดตั้งเป็นชมรมประมงเรือเล็กบ้านพญาน มีเรือประมงพื้นบ้านจอดอยู่ ลักษณะการทำ

ประมงเป็นแบบครอบครัว เป็นที่ตั้งของแพปลาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในบริเวณนี้ ซึ่งชาวประมงจะนำสัตว์น้ำขึ้นมำจำหน่ายเป็นจำนวนมาก และมีชาวบ้านมารับซื้อนำไปขายต่อในตลาด ไม่มีชุมชนตั้งอยู่ในบริเวณนี้

3. บ้านหนองแฟบ



อยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีเรือประมงพื้นบ้านประมาณ 7 - 8 ลำ ลักษณะเป็นเชือกยื่นออกไปในทะเลทำให้มีผู้นิยมนั่งตกปลา ไม่มีชุมชนประมงตั้งอยู่ในบริเวณนี้ เป็นคนในชุมชนบ้านหนองแฟบที่อยู่ห่างออกไปไม่กี่กิโลที่เข้าทำการประมง มีแต่เพิงพักชั่วคราว 2 - 3 หลัง เพื่อรวบรวมและคัดแยกประเภทสัตว์น้ำที่ได้จากการทำประมงก่อนที่จะมีคนมารับซื้อไปขายในตลาด และมีตั้งร้านจำหน่าย 2-3 ร้าน โดยรอบเป็นหาดหนองแฟบ มีร้านอาหารตั้งอยู่ 1 ร้าน

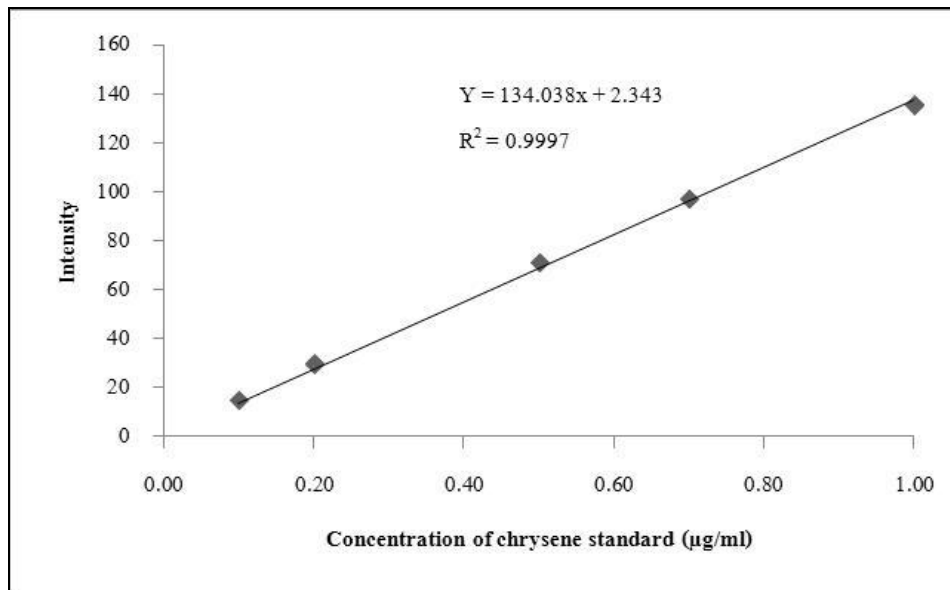
4. บ้านตากวน



อยู่ด้านทิศตะวันออกของนิคมฯ ติดกับปากคลองซากหมาก ใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม คลังน้ำมัน ปตท. ลักษณะชายฝั่งเป็นหาดทราย เป็นแหล่งชุมชนประมงอาศัยอยู่ มีเรือประมงพื้นบ้าน จัดตั้งเป็นกลุ่มประมงเรือเล็กตากวน-อ่าวประคู้ และมีโครงการธนาคารปู นิคมมาตาพูดได้ ส่งเสริมให้ชาวบ้านมีการเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่ และมีการทำประมงด้วยการคราดหอยเสียบ มีผู้คนเข้ามารับซื้อสัตว์น้ำและคนในชุมชนนำออกไปขายในตลาดเองด้านหลังของชุมชนได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกป่าชายเลน (โกงกาง)

ภาคผนวก ข

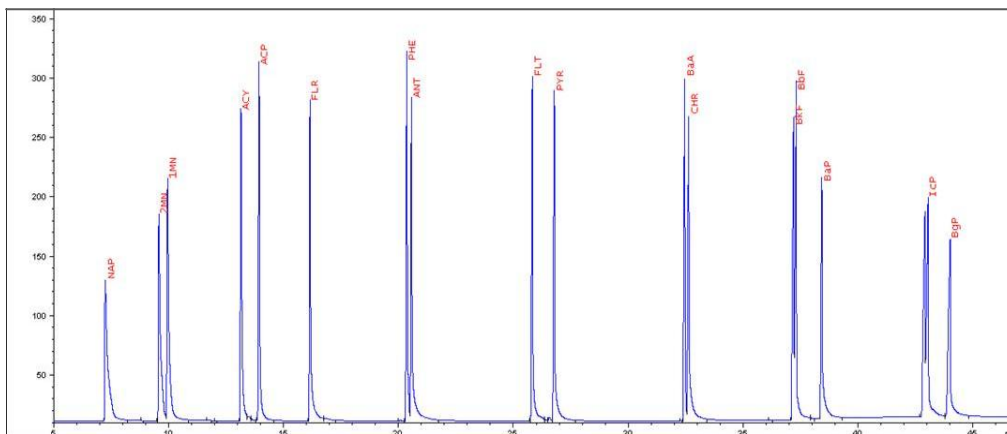
กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไครซีน



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายไครซีน โดยแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไครซีนที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 0.7 และ 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร กับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง fluorescence spectrophotometer มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9997

ภาคผนวก ค

โครมาโตแกรมและค่ารีเทนชันใหม่ของสารมาตรฐาน PAHs



ภาพผนวกที่ ค1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน PAHs

ตารางผนวกที่ ค1 ค่ารีเทนชันไทม์ (นาที) ของสารมาตรฐาน PAHs

No.	PAHs	Retention time (min)
1	Naphthalene	7.300±0.028
2	2-Methylnaphthalene	9.630±0.029
3	1-Methylnaphthalene	9.991±0.013
4	Acenaphthylene	13.145±0.024
5	Acenaphthene	13.921±0.010
6	Fluorene	16.164±0.039
7	Phenanthrene	20.392±0.036
8	Anthracene	20.606±0.046
9	Fluoranthene	25.848±0.035
10	Pyrene	26.796±0.029
11	Benzo(a)anthracene	32.464±0.036
12	Chrysene	32.634±0.030
13	Benzo(b)fluoranthene	37.181±0.024
14	Benzo(k)fluoranthene	37.282±0.029
15	Benzo(a)pyrene	38.447±0.050

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ) ค่ารีเทนชันไทม์ (นาที) ของสารมาตรฐาน PAHs

No.	PAHs	Retention time (min)
16	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	42.843±0.030
17	Dibenz(a,h)anthracene	42.977±0.035
18	Benzo(g,h,i)perylene	43.926±0.037

ภาคผนวก ง

ปริมาณ PAHs ในดินตะกอนของแต่ละสถานีตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ๑1 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีในเดือนพฤษภาคม 2552

Station	Acp	Flu	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DaA	BgP	14PAHs
M1	43.94	9.29	8.35	4.09	1.07	26.68	5.83	16.27	14.75	11.90	12.86	14.56	13.57	16.25	199.41
M2	5.90	9.06	21.55	5.53	175.91	95.50	3.96	0.87	33.30	53.46	23.25	17.51	20.49	23.71	490.01
M3	8.42	16.51	37.27	13.72	404.91	183.68	9.63	25.49	51.33	87.18	49.27	29.10	23.89	20.41	960.83
M4	4.77	10.57	38.96	24.34	557.16	227.28	3.17	19.60	92.23	130.89	68.16	40.54	27.34	24.70	1269.70
M5	10.57	28.49	46.57	17.52	937.60	385.33	15.38	1.03	56.76	193.26	153.87	57.71	63.82	63.05	2030.95
M6	16.68	10.76	79.80	22.97	700.63	273.85	13.30	2.49	80.86	133.26	83.59	37.87	32.86	28.36	1517.28
M7	21.25	13.63	26.61	13.51	54.30	46.38	6.17	23.94	55.79	34.45	42.23	41.06	43.58	73.15	496.06
M8	14.89	14.77	57.14	24.98	809.74	349.01	5.06	13.97	113.58	177.68	170.40	68.08	63.59	71.97	1954.85
M9	7.02	9.45	43.71	19.59	270.91	125.30	29.23	15.53	52.90	24.56	51.98	37.70	50.25	49.75	787.88
M10	4.63	8.64	7.00	12.75	46.33	24.51	11.52	37.17	39.09	43.53	21.46	26.73	34.64	92.99	410.99
M11	9.63	8.38	9.66	2.99	9.38	21.48	9.57	5.83	33.87	22.35	27.97	9.18	10.36	33.42	214.08
M12	7.62	8.82	63.38	7.69	609.87	239.64	28.79	10.61	74.01	139.23	124.37	42.49	36.09	16.03	1408.64
W1	7.24	10.11	35.58	10.94	634.50	238.61	44.32	17.42	79.36	24.75	101.80	52.68	37.84	60.97	1356.11
W2	7.48	10.38	27.51	4.69	612.20	237.36	29.71	14.07	90.76	25.62	110.27	53.99	42.17	64.71	1330.92
W3	9.20	11.93	44.69	13.82	699.80	272.22	59.49	28.37	182.25	155.88	114.20	80.02	53.66	89.18	1814.71
W4	6.11	11.22	7.73	1.54	2.87	11.86	12.30	8.68	20.38	9.50	29.55	3.70	5.43	25.71	156.58
W5	49.13	28.18	19.43	4.72	6.83	54.56	7.09	7.18	33.76	17.89	7.24	12.83	11.09	39.18	299.11
E1	21.55	10.14	9.37	1.24	1.35	23.02	2.60	13.47	10.63	10.92	14.22	5.36	6.54	14.68	145.10
E2	12.12	11.06	11.57	6.71	10.37	19.90	1.84	5.83	235.30	30.34	58.31	88.84	86.71	263.39	842.29
E3	33.25	20.12	47.98	1.19	338.70	193.71	16.94	121.81	106.99	127.64	116.80	158.57	48.16	95.11	1426.97

ตารางผนวกที่ ๖๒ ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีในเดือนตุลาคม 2552

Station	Acp	Flu	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DaA	BgP	14PAHs
M1	3.58	12.48	8.57	1.97	57.53	8.87	7.65	1.73	13.11	9.02	5.12	27.16	14.31	45.07	216.17
M2	4.98	11.07	36.07	19.49	539.20	215.02	4.71	1.21	116.02	62.54	146.20	45.55	46.20	25.13	1273.38
M3	8.29	5.78	20.57	4.87	112.00	40.81	8.63	3.67	121.33	83.91	99.94	44.73	24.00	53.31	631.84
M4	5.04	9.67	64.45	12.20	661.02	271.28	6.40	238.98	119.48	144.04	125.91	50.37	74.56	47.45	1830.84
M5	4.71	10.67	9.89	1.52	55.59	46.96	9.27	24.50	36.90	34.08	21.59	13.44	19.25	24.42	312.79
M6	14.45	12.63	38.55	66.82	609.37	255.31	1.21	233.33	59.12	147.53	111.53	35.22	56.31	54.64	1696.03
M7	14.83	22.64	93.75	42.69	1021.12	448.69	1.46	422.47	53.98	307.60	210.42	67.76	49.76	82.36	2839.52
M8	1.78	12.36	37.60	13.10	294.02	105.61	49.52	262.04	184.79	44.82	189.84	15.13	35.14	15.89	1261.63
M9	7.03	10.97	8.86	6.91	66.10	14.24	11.34	13.90	19.89	18.38	17.48	8.35	26.07	31.01	260.54
M10	2.28	10.49	20.38	28.55	24.25	68.08	2.47	11.01	14.39	12.07	3.40	5.95	11.47	13.68	228.45
M11	1.86	15.43	31.45	44.27	688.94	290.81	3.58	348.35	43.75	215.99	128.13	38.52	57.72	44.80	1953.60
M12	3.67	277.98	1.29	8.47	48.02	11.57	3.66	30.57	9.87	871.35	2.84	6.26	10.97	16.35	1302.84
W1	1.55	1.72	2.06	13.00	571.00	9.39	1.72	24.72	37.39	60.61	33.46	9.35	2.06	8.94	776.95
W2	8.21	9.54	27.87	22.35	890.95	328.25	11.53	294.37	34.66	157.13	126.11	26.10	18.33	26.90	1982.31
W3	2.08	39.32	11.03	24.82	26.90	22.06	4.34	2.12	37.18	49.58	16.43	2.22	20.34	7.94	266.35
W4	2.11	11.44	7.07	3.74	6.63	10.43	4.93	7.14	14.32	5.58	2.52	4.61	6.62	10.22	97.36
W5	3.47	10.50	30.93	24.65	425.57	216.21	7.30	245.54	25.16	128.60	85.78	27.59	16.77	32.87	1280.94
E1	3.33	11.44	47.59	10.90	660.25	261.42	241.51	6.25	94.37	167.48	38.84	26.54	48.19	43.77	1661.87
E2	1.83	17.59	14.84	1.10	34.44	37.52	11.14	9.19	16.63	7.94	9.44	5.52	7.95	14.01	189.13
E3	4.19	17.49	24.10	13.15	550.09	235.31	2.86	240.74	124.68	144.46	53.94	30.42	25.99	31.98	1499.41

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีในเดือนสิงหาคม 2553

Station	Acp	Flu	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DaA	BgP	14PAHs
M1	6.86	13.46	15.67	8.73	97.07	61.10	3.16	39.89	37.42	17.62	33.48	57.90	38.84	8.51	439.70
M2	6.54	11.96	25.40	35.79	370.34	157.63	2.52	2.92	86.26	30.62	70.86	135.45	51.66	77.25	1065.22
M3	27.07	28.76	29.44	24.08	213.54	97.23	5.09	251.97	136.76	260.97	139.77	180.82	92.90	71.77	1560.17
M4	19.52	22.23	34.54	46.31	393.54	198.51	5.99	269.40	106.68	36.90	76.74	33.23	12.19	47.38	1303.15
M5	19.90	29.68	49.89	14.60	192.76	98.80	3.71	18.27	127.90	222.29	149.08	124.93	260.55	37.92	1350.26
M6	17.74	35.42	42.40	29.91	94.30	26.35	140.36	143.43	110.49	142.10	115.94	108.98	110.16	210.26	1327.84
M7	8.55	10.50	37.59	17.34	289.01	104.46	43.15	282.06	188.32	79.58	241.27	135.26	127.68	270.95	1835.71
M8	3.90	18.40	20.74	37.28	291.63	119.38	109.84	323.94	208.90	304.21	325.13	139.39	101.94	136.03	2140.71
M9	4.21	9.17	28.68	26.39	434.48	220.68	78.61	41.22	135.93	57.30	143.09	59.21	64.80	59.21	1362.99
M10	7.19	8.63	54.05	13.08	263.57	119.08	6.99	214.83	105.94	47.24	105.98	71.68	142.55	57.00	1217.83
M11	4.55	31.26	37.42	29.05	405.76	19.11	42.63	67.11	106.44	114.97	182.54	182.36	105.64	188.10	1516.95
M12	6.98	9.14	24.55	13.19	559.70	229.49	1.64	125.43	139.28	66.76	59.95	40.70	39.14	70.53	1386.48
W1	4.19	9.79	20.99	14.46	92.47	30.88	5.05	6.42	26.61	58.55	47.12	35.95	22.50	36.32	411.30
W2	16.34	25.09	40.46	40.00	268.00	76.18	10.33	271.63	224.12	339.87	291.18	178.45	141.48	244.65	2167.79
W3	11.08	7.70	9.43	23.22	110.95	50.48	3.57	87.04	69.56	80.48	76.64	68.34	31.59	15.69	645.76
W4	1.07	7.56	7.72	17.35	29.68	26.68	5.19	8.03	30.00	15.65	29.80	12.12	7.16	26.20	224.22
W5	7.48	9.12	38.06	23.66	428.11	198.17	6.04	230.08	135.29	77.12	114.75	65.77	54.47	17.98	1406.12
E1	5.68	8.09	33.30	12.05	408.31	176.80	6.45	232.93	97.69	37.44	129.85	53.54	41.47	54.83	1298.44
E2	4.92	7.82	21.60	6.50	208.11	112.98	23.63	92.40	73.44	42.32	93.16	36.74	37.13	50.19	810.94
E3	52.08	7.97	29.88	16.90	323.04	165.52	42.06	238.15	91.26	28.16	123.50	41.18	42.31	44.14	1246.16

ตารางผนวกที่ ๔ ปริมาณ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ในดินตะกอนของแต่ละสถานีในเดือนพฤษภาคม 2554

Station	Acp	Flu	Phe	Ant	Flt	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	IcP	DaA	BgP	14PAHs
M1	10.85	17.41	13.86	13.79	37.25	23.66	10.09	11.32	138.29	60.02	29.87	36.53	47.28	13.89	464.12
M2	10.80	12.77	80.98	22.70	422.21	199.71	2.62	6.02	99.79	23.52	74.56	46.95	33.05	36.89	1072.56
M3	5.22	10.84	25.18	19.64	571.52	112.40	3.07	102.69	57.66	102.97	54.01	34.10	18.78	71.57	1189.64
M4	4.23	9.19	43.02	10.34	220.98	93.85	58.14	170.99	403.41	93.94	240.60	66.47	67.94	76.74	1559.83
M5	12.48	10.78	22.78	16.38	795.31	213.88	3.51	189.94	31.77	100.77	78.88	27.53	25.02	47.52	1576.55
M6	7.33	12.03	39.41	31.99	1355.27	236.66	212.56	72.94	72.94	137.17	104.95	45.68	55.70	38.16	2422.81
M7	8.23	5.58	23.71	29.78	453.01	198.83	3.48	1.85	25.59	107.28	152.54	35.99	40.41	13.88	1100.15
M8	3.76	2.70	69.80	8.95	642.66	243.35	3.25	2.04	34.89	102.17	165.60	40.59	51.23	41.86	1412.84
M9	5.49	2.69	31.31	17.17	758.12	285.52	2.92	2.80	72.04	127.47	184.19	47.02	58.70	43.89	1639.35
M10	4.87	3.36	62.28	11.07	670.75	251.41	4.50	4.73	42.21	112.68	43.66	44.50	63.38	44.50	1363.88
M11	10.06	0.82	75.78	5.72	630.74	263.20	3.91	1.95	33.16	135.44	88.37	42.12	64.20	76.40	1431.89
M12	10.97	3.66	20.09	20.26	775.08	285.25	5.60	4.55	54.41	112.56	115.35	56.70	41.21	79.27	1584.95
W1	2.43	8.75	7.56	24.55	4.72	46.55	5.24	2.41	11.74	7.44	68.31	0.75	0.85	17.54	208.85
W2	5.62	9.04	31.51	13.13	561.59	242.03	3.48	1.41	50.20	109.80	77.29	43.15	36.26	29.99	1214.50
W3	4.81	8.71	32.59	29.53	543.28	228.43	11.27	202.28	26.37	120.41	80.91	46.42	22.36	43.84	1401.21
W4	5.55	11.14	9.66	6.07	3.02	14.74	5.63	3.10	23.92	23.46	2.96	11.64	17.67	23.58	162.15
W5	7.32	12.21	35.90	25.52	528.34	246.32	4.04	232.04	52.17	112.39	82.24	40.26	33.37	34.36	1446.48
E1	2.99	10.85	77.49	12.03	699.12	260.86	5.30	6.39	50.61	128.55	102.36	50.62	44.45	42.80	1494.42
E2	7.06	8.34	35.29	41.13	663.33	276.00	36.41	261.17	44.47	131.32	131.79	34.40	19.02	37.70	1727.43
E3	3.04	5.25	6.67	28.27	11.04	20.08	3.78	349.75	23.30	350.16	5.88	3.11	17.87	18.46	846.67

ภาคผนวก จ

คุณภาพดินตะกอนตลอดระยะเวลาการศึกษา

ตารางผนวกที่ จ1 ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา

สถานี	ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ)			
	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
	พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
W1	5.14	12.69	22.72	16.03
W2	4.12	21.05	21.53	34.27
W3	2.51	15.69	21.55	20.55
W4	2.67	17.24	26.95	26.95
W5	6.03	18.96	17.66	26.32
M1	33.98	30.81	37.41	41.98
M2	27.76	36.81	38.53	49.81
M3	12.76	16.80	18.15	18.68
M4	16.54	15.74	21.65	15.14
M5	15.89	18.13	20.50	27.97
M6	18.81	17.10	22.25	23.76
M7	46.51	28.72	56.05	44.79
M8	7.78	17.51	17.59	19.78
M9	17.96	20.21	32.90	25.81
M10	25.44	23.35	25.87	27.53
M11	12.11	21.51	21.10	25.54
M12	11.07	17.91	22.91	16.03
E1	14.06	21.74	22.09	20.23
E2	7.82	17.48	17.99	27.44
E3	10.55	20.17	15.37	19.33
ค่าเฉลี่ย	14.98±11.26	26.40±9.66	20.48±5.74	25.04±9.63
	(2.51 – 46.51)	(12.69 – 36.81)	(15.37 – 56.05)	(15.14 – 49.81)
	17.73±9.25 (2.51 – 46.51)		25.72±9.54 (15.14 – 56.05)	

ตารางผนวกที่ จ2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา

สถานี	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)			
	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
	พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
W1	0.09	0.14	0.10	0.06
W2	0.15	0.35	0.08	0.16
W3	0.12	0.67	0.11	0.05
W4	0.17	0.15	0.09	0.15
W5	0.14	0.63	0.10	0.29
M1	1.91	1.11	0.31	2.52
M2	1.38	2.67	1.00	1.22
M3	0.44	0.73	0.09	0.12
M4	0.45	0.28	0.12	0.41
M5	0.53	0.36	0.18	0.14
M6	0.65	0.35	0.09	0.19
M7	1.17	0.36	0.91	1.44
M8	0.40	0.13	0.32	0.16
M9	0.86	0.96	0.80	0.53
M10	0.78	0.77	0.31	0.41
M11	0.30	0.42	0.15	0.66
M12	0.24	0.22	0.27	0.35
E1	0.20	0.20	0.11	0.11
E2	0.21	0.73	0.06	0.14
E3	0.13	0.20	0.10	0.10
ค่าเฉลี่ย	0.52±0.49	0.57±0.57	0.27±0.29	0.46±0.61
	(0.09 - 1.91)	(0.14 – 2.67)	(0.06 – 1.00)	(0.05 – 2.52)
	0.54±0.53 (0.09 – 2.67)		0.36±0.48 (0.05 – 2.52)	

ตารางผนวกที่ ๓ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินตะกอน (ร้อยละ) ตลอดระยะเวลาการศึกษา

สถานี	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)			
	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
	พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
W1	0.05	0.08	0.06	0.03
W2	0.09	0.20	0.05	0.09
W3	0.07	0.39	0.06	0.03
W4	0.10	0.09	0.05	0.09
W5	0.08	0.37	0.06	0.17
M1	1.11	0.65	0.18	1.47
M2	0.80	1.55	0.58	0.71
M3	0.26	0.42	0.05	0.07
M4	0.26	0.16	0.07	0.24
M5	0.31	0.21	0.10	0.08
M6	0.38	0.20	0.05	0.11
M7	0.68	0.21	0.53	0.84
M8	0.23	0.08	0.19	0.09
M9	0.50	0.56	0.47	0.31
M10	0.45	0.45	0.18	0.24
M11	0.17	0.24	0.09	0.38
M12	0.14	0.13	0.16	0.20
E1	0.12	0.12	0.06	0.06
E2	0.12	0.42	0.03	0.08
E3	0.08	0.12	0.06	0.06
ค่าเฉลี่ย	0.30±0.28	0.33±0.33	0.15±0.17	0.27±0.36
	(0.05 – 1.11)	(0.08 – 1.55)	(0.03 – 0.58)	(0.03 – 1.47)
	0.32±0.31 (0.05 – 1.55)		0.21±0.28 (0.03 – 1.47)	

ตารางผนวกที่ ๑4 ลักษณะเนื้อดินและขนาดอนุภาคของดินตะกอนตลอดระยะเวลาการศึกษา

สถานี	สิงหาคม 2553				พฤษภาคม 2554			
	เนื้อดิน	ขนาดอนุภาค			เนื้อดิน	ขนาดอนุภาค		
		% sand	% silt	% clay		% sand	% silt	% clay
W1	sand	100	0	0	sand	98	0	2
W2	sand	98	0	2	loamy sand	80	12	8
W3	sand	100	0	0	sand	96	0	4
W4	sand	96	2	2	sand	98	0	2
W5	loamy sand	80	12	8	sandy loam	72	18	10
M1	loam	34	42	24	sandy clay loam	66	12	22
M2	loam	40	42	18	clay loam	24	42	34
M3	sand	98	0	2	sand	96	0	4
M4	sand	92	4	4	sand	98	0	2
M5	sand	98	0	2	sand	90	2	8
M6	sand	94	2	4	sandy loam	76	6	18
M7	clay	32	24	44	sandy loam	82	4	14
M8	sand	98	0	2	loamy sand	88	6	6
M9	sand	92	2	6	sandy loam	76	14	10
M10	loamy sand	86	4	10	sandy loam	78	12	10
M11	sandy loam	78	6	16	sand	92	4	4
M12	sand	94	0	6	sand	96	0	4
E1	sand	98	0	2	sand	98	0	2
E2	sand	98	0	2	loamy sand	88	2	10
E3	sand	98	0	2	sand	96	2	2

ภาคผนวก จ

ปริมาณ PAHs ในสัตว์น้ำแต่ละชนิดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ๑1 ความเข้มข้นของ PAHs (นาโนกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) ในสัตว์น้ำแต่ละชนิดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

PAHs	ปลาเห็ดโคน				ปลากะพง			ปลาวัวหางพัด				
	พ.ค.52	ต.ค.52	ส.ค.53	พ.ค.54	พ.ค.52	ต.ค.52	ส.ค.53	พ.ค.54	พ.ค.52	ต.ค.52	ส.ค.53	พ.ค.54
Acp	459.37	4.11	75.89	173.98	121.33	53.62	60.71	61.22	110.44	114.49	297.39	283.11
Flu	55.05	2.57	56.03	61.55	121.33	51.64	59.53	99.82	38.90	46.60	70.04	23.24
Phe	17.39	0.51	10.35	23.17	0.00	34.21	44.17	14.55	4.10	25.71	13.11	9.80
Ant	23.19	13.37	47.81	35.42	21.54	21.02	27.00	54.96	16.28	52.84	16.39	0.00
Flt	12.17	63.84	85.65	20.47	0.00	71.88	0.00	21.82	0.00	21.69	10.05	16.34
Pyr	69.07	6.68	540.69	3.85	672.82	23.32	11.03	41.80	21.94	48.09	113.74	102.52
BaA	174.48	138.63	2.31	2.77	18.59	31.25	17.78	14.07	0.00	39.68	36.69	5.72
Chr	56.97	27.77	54.14	61.20	22.48	21.37	48.12	46.69	39.03	1.04	35.10	25.25
BbF	19.98	0.84	49.37	4.35	2.28	48.19	8.21	1.97	44.18	6.31	5.17	10.03
BkF	0.88	13.77	5.09	9.01	0.36	52.28	6.00	6.96	1.86	19.37	12.96	30.57
BaP	4.25	43.25	10.24	3.46	0.27	80.22	16.59	6.42	9.00	11.28	20.16	11.08
IcP	0.07	1.03	0.13	0.00	2.43	7.90	1.43	6.90	1.90	10.44	12.73	3.07
DaA	6.15	0.76	21.46	1.48	0.59	10.25	17.60	4.71	38.81	2.81	2.98	6.31
BgP	38.58	49.89	22.27	10.27	0.26	42.95	11.02	2.51	255.16	40.75	0.60	0.11
sum	937.61	367.03	981.45	410.99	984.29	550.11	329.22	384.40	581.62	441.09	647.13	527.16

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

PAHs	ปลาทรายขาว		สีกัน			กระเบน			ปลาดอกหมาก	
	พ.ค.52	ต.ค.52	พ.ค.52	ต.ค.52	พ.ค.54	พ.ค.52	ส.ค.53	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
Acp	50.62	44.98	180.16	50.27	138.89	122.98	361.42	63.67	58.51	420.70
Flu	17.15	32.55	78.19	82.98	79.65	70.69	54.66	43.76	6.56	42.28
Phe	5.57	27.07	56.67	170.98	1.46	8.23	17.48	5.95	6.56	7.76
Ant	6.96	7.02	174.22	203.07	157.59	55.36	31.84	42.32	15.94	59.72
Flt	262.06	29.10	0.00	45.61	1.38	0.36	61.75	8.93	66.45	13.04
Pyr	8.13	753.42	51.37	64.81	67.15	10.67	91.72	16.53	91.91	21.32
BaA	1.51	2.00	109.70	61.58	13.58	0.96	2.54	32.39	8.19	3.65
Chr	29.92	23.62	264.28	248.55	77.27	36.21	25.98	26.45	24.79	145.59
BbF	27.96	39.54	27.11	71.41	21.39	33.66	29.41	29.43	88.05	21.21
BkF	1.07	73.73	26.68	157.21	98.48	76.73	61.53	69.48	9.18	36.09
BaP	10.19	14.69	100.48	31.05	2.93	3.60	1.33	1.62	8.46	21.11
IcP	2.21	31.22	0.00	72.07	5.49	21.08	0.26	13.63	0.75	0.00
DaA	4.75	42.60	196.01	113.95	6.36	1.03	0.39	3.01	6.62	0.00
BgP	4.41	42.16	314.93	170.98	2.22	191.04	76.99	67.91	3.06	163.33
sum	432.51	1163.70	1579.77	1544.52	673.85	632.59	817.29	425.09	395.05	955.82

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

PAHs	ปลาจวด		กุ้งแชบ๊วย		ปูม้า		ปูทะเล			
	พ.ค.52	ส.ค.53	ต.ค.52	พ.ค.54	พ.ค.52	ต.ค.52	ส.ค.53	พ.ค.54	ส.ค.53	พ.ค.54
Acp	86.00	352.42	29.54	493.79	429.54	29.68	67.60	21.22	231.97	201.69
Flu	23.09	183.83	136.91	78.97	112.16	118.47	71.95	97.59	268.57	153.89
Phe	70.22	76.75	121.41	60.00	83.83	91.70	80.55	454.90	263.61	77.86
Ant	9.15	36.31	44.33	42.80	95.40	123.38	32.63	89.13	44.52	621.61
Flt	446.80	1.14	127.79	12.93	329.56	48.12	1119.70	171.28	189.10	397.39
Pyr	123.19	92.95	61.38	88.39	228.55	59.23	206.99	146.63	113.70	60.87
BaA	39.45	265.13	43.64	0.00	18.92	16.23	23.97	46.99	23.32	14.01
Chr	35.07	231.43	28.33	23.77	43.20	8.55	5.71	64.42	53.00	10.03
BbF	53.38	11.83	28.99	84.50	36.14	429.66	0.00	80.57	118.37	33.94
BkF	7.98	8.67	23.24	23.99	79.82	74.89	345.16	138.43	14.16	11.98
BaP	430.13	17.80	12.09	175.66	15.73	235.86	13.14	68.24	101.19	43.18
IcP	22.89	3.54	22.00	6.37	41.34	14.80	48.89	0.00	53.31	80.39
DaA	19.76	18.99	37.93	47.78	147.12	53.58	107.70	46.94	268.73	204.53
BgP	0.00	834.47	0.00	22.02	9.12	1.72	10.33	62.70	0.00	5.73
sum	1367.10	2135.24	717.58	1160.97	1670.43	1305.86	2134.30	1489.04	1743.53	1917.11

ภาคผนวก ข

ชนิดสัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ข1 ชนิดสัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

วงศ์	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
			พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
ปลาผิวน้ำ-กลางน้ำ						
Carangidae	เจลิยบ	<i>Scomberoides lysan</i>			/	
	สีกันแก้มดำ	<i>Alepes djedaba</i>	/		/	
	สีกันกบ	<i>Atule mate</i>		/		
Clupeidae	หลังเขียว	<i>Sardinella gibbosa</i>			/	
	หลังเขียวท้องขาว	<i>Sardinella albella</i>			/	
	กะตักขาว	<i>Escualosa thoracata</i>			/	
Engraulidae	กะตัก	<i>Stolephorus</i>	/			
		<i>commersonnii</i>				
	แมว	<i>Thryssa hamiltonii</i>		/		
Mugilidae	กระบอกหางเขียว	<i>Valamugil buchani</i>	/	/		
Scombridae	ทู	<i>Rastrelliger neglectus</i>		/		
Theraponidae	ข้างตะเกา	<i>Terapon jarbua</i>			/	
ปลาหน้าดิน						
Bothidae	ลิ้นควาย	<i>Pseudorhombus</i>	/			
		<i>quinguocellatus</i>				
Cynoglossidae	ลิ้นหมา	<i>Cynoglossus bilineatus</i>		/	/	/
Gerreidae	เกี๋ยงข้าวเฒ่า	<i>Gerres abbreviatus</i>	/	/	/	/
	ดอกหมากกระโดง	<i>Gerres filamentosus</i>	/	/	/	/
Haemulidae	กะพงแสม	<i>Pomadasys hasta</i>		/		
	สร้อยนกเขาทะเล	<i>Plectorhinchus pictus</i>		/		
Holocentridae	ข้าวเม่าน้ำลึก	<i>Sargocentron rubrum</i>		/		
Leiognathidae	แป้นครีบลือชื่อ	<i>Photopectoralis bindus</i>	/	/	/	
	แป้นแถบ	<i>Leiognathus fasciatus</i>	/	/	/	

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

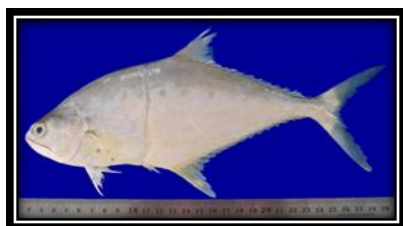
วงศ์	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
			พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ต.ค.53
Leiognathidae	เป็นเบ็ญ	<i>Secutor insidiator</i>	/	/	/	
Lethrinidae	หมูสีแก้มแดง	<i>Lethrinus lentjan</i>	/	/	/	
Lutjanidae	กะพงแดงป่าน	<i>Lutjanus johnii</i>		/		
	กะพงข้างเหลือง	<i>Lutjanus lutjanus</i>		/		
	กะพงเหลืองขมิ้น	<i>Lutjanus vita</i>	/	/	/	/
Monacanthidae	วัวหางพัด	<i>Monacanthus chinensis</i>	/	/	/	/
Nemipteridae	ทรายขาวหลังแถบ	<i>Scolopsis ciliata</i>		/		
	ขาว					
	ทรายขาวจุด	<i>Scolopsis temporalis</i>	/	/	/	
	ทรายแดงไม่่ง	<i>Nemipterus hexodon</i>	/			
	สายรุ้ง	<i>Pentapus setosus</i>	/			
Platycephalidae	หางควาย	<i>Platycephalus indicus</i>	/			
Plotosidae	คูกทะเล	<i>Plotosus anguillaris</i>		/	/	
Rachycentridae	ซ่อนทะเล	<i>Rachycentron</i>		/		
		<i>canadrum</i>				
Scaridae	นกแก้วสีเพลิง	<i>Scarus ghobban</i>	/			
Scatophagidae	ตะกรับ	<i>Scatophagus argus</i>			/	
Sciaenidae	จวดเทา	<i>Johnius soldado</i>	/	/	/	/
Serranidae	กะรังเสือครีบขาว	<i>Epinephelus quoyanus</i>				/
	เก้ายั้งแฉก	<i>Epinephelus</i>				/
		<i>sexfasciatus</i>				
Siganidae	สลิดทะเลจุดส้ม	<i>Siganus guttatus</i>			/	
	สลิดทะเลแถบ	<i>Siganus javus</i>	/	/	/	
Sillaginidae	เห็ดโคนเงิน	<i>Sillago sihama</i>	/	/	/	/
	เห็ดโคนแท่ง	<i>Sillago maculata</i>		/		/

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

วงศ์	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	ฤดูแล้ง		ฤดูน้ำหลาก	
			พ.ค.52	พ.ค.54	ต.ค.52	ส.ค.53
Soleidae	ลิ้นควายจุด	<i>Pardachirus</i>	/	/	/	
		<i>pavonilus</i>				
Triacanthidae	วัวหนามขาว	<i>Pseudotriacanthus</i>		/		
		<i>strigilifer</i>				
Trygonidae	กระเบน	<i>Dasyatis akajei</i>		/	/	/
	กระเบนทองจุดฟ้า	<i>Dasyatis kuhlii</i>	/		/	
	กระเบนหัวแหลม	<i>Dasyatis zugei</i>		/	/	
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง						
Euphausiacea	เคย	<i>Euphausiacea</i> spp.	/			
Arcidae	หอยครง	<i>Scapharca</i>	/	/		
		<i>inaequivalvis</i>				
Buccinidae	หอยหวาน	<i>Babylonia areolata</i>				/
Cephalopoda	หมึกหอม	<i>Sepistenthis</i>	/	/	/	/
		<i>lessoniana</i>				
Donacidae	หอยเสียบ	<i>Donax faba</i>				/
Gonodactylidae	กิ้งคักแดนเขียว	<i>Miyakea nepa</i>		/		/
Mytilidae	หอยกะพง	<i>Musculus senhousia</i>		/		
	หอยแมลงภู่	<i>Perna viridis</i>	/	/	/	/
Peneidae	กุ้งแชบ๊วย	<i>Fenneropenaeus</i>		/	/	
		<i>merguiensis</i>				
	กุ้งกุลาดำ	<i>Penaeus monodon</i>			/	
Portunidae	ปูม้า	<i>Portunus pelagicus</i>	/	/	/	/
	ปูทะเล	<i>Scylla serrata</i>		/		/

ภาคผนวก ข

ภาพและรายละเอียดสัตว์น้ำที่พบบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด



ชื่อไทย

เจลิยบ เลียบ สีเสียด

ชื่อสามัญ

Jack trevally

ชื่อวิทยาศาสตร์

Scomberoides lysan (Forsskal, 1775)

วงศ์

Carangidae

ที่อยู่อาศัย

ใกล้ชายฝั่งทะเลและบริเวณปากแม่น้ำ

อาหาร

กินปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ จำพวกกุ้ง ปู

ความยาว

20-50 เซนติเมตร



สีเงินแก้มดำ สีขนเขียว ชี้น

หางแข็ง

Shrimp scad

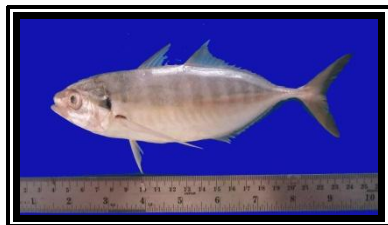
Alepes djedaba (Forsskal, 1775)

Carangidae

ตามริมชายฝั่งทั่วไป

แพลงก์ตอน และสัตว์น้ำขนาดเล็ก

9-16 เซนติเมตร



ชื่อไทย

ปลาสีเงินกบ หางแข็ง บั้ง หางกั่ว

ชื่อสามัญ

Yellowtail scad

ชื่อวิทยาศาสตร์

Atule mate (Cuvier, 1833)

วงศ์

Carangidae

ที่อยู่อาศัย

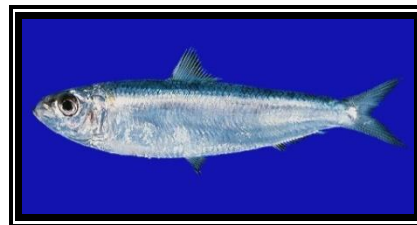
ตามชายฝั่งทะเลและแนวปะการัง

อาหาร

กินปลาขนาดเล็กและกุ้ง

ความยาว

15-25 เซนติเมตร



หลังเขียว

Goldstripe sardinella

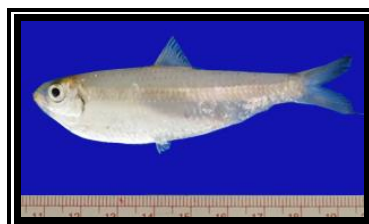
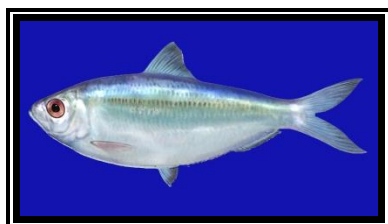
Sardinella gibbosa (Bleeker, 1849)

Clupeidae

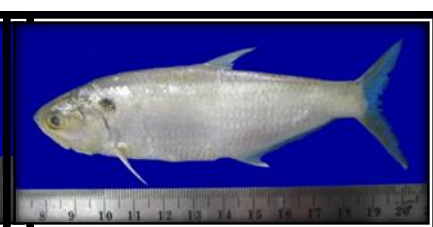
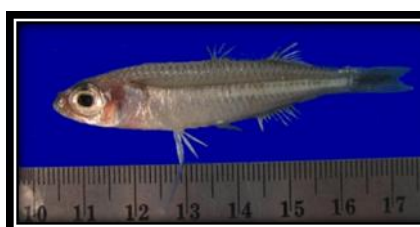
รวมฝูงในบริเวณทะเลชายฝั่ง

กินแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์

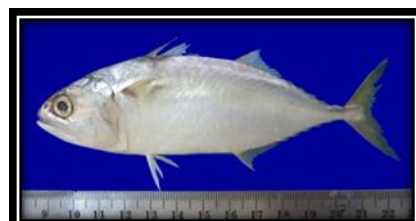
4.20-20.60 เซนติเมตร



ชื่อไทย	หลังเขียวท้องขาว แซ่ลั่น มงโกรย	กะดักขาว
	อกแฉ	
ชื่อสามัญ	White sardinella	White sardine
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Sardinella albella</i> (Valenciennes, 1847)	<i>Escualosa thoracata</i> (Valenciennes, 1847)
วงศ์	Clupeidae	Clupeidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	รวมฝูงในบริเวณทะเลชายฝั่ง	รวมกันเป็นฝูงบริเวณที่ตื้นใกล้ผิวน้ำ
อาหาร	กินแพลงก์ตอนพืชและสัตว์	กินแพลงก์ตอน ตัวอ่อนกุ้ง ปู โคลิพอด
ขนาดความยาว	4-15 เซนติเมตร	ขนาดใหญ่สุดประมาณ 10 เซนติเมตร



ชื่อไทย	กะดัก หัวแข็ง กล้วย มะลิ	ปลาแมว ป๋อป๋
ชื่อสามัญ	Indian anchovy	Hamilton's thryssa
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Stolephorus commersonii</i> (Lacepède, 1803)	<i>Thryssa hamiltonii</i> (Gray, 1835)
วงศ์	Engraulidae	Engraulidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	แพร่กระจายอยู่ทั่วบริเวณอ่าวไทย และห่างฝั่ง	อยู่รวมกันเป็นฝูงบริเวณที่ผิวน้ำ
อาหาร	กินแพลงก์ตอน ลูกกุ้งและเคย	กินสัตว์น้ำขนาดเล็กที่อาศัยตามผิวน้ำ
ขนาดความยาว	3-10 เซนติเมตร	20 เซนติเมตร



ชื่อไทย	กระบอกหางเขียว	ทู
ชื่อสามัญ	Bluetail mullet	Shortbodied mackerel
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Valamugil buchani</i> (Bleeker)	<i>Rastrelliger neglectus</i> (van Kampen, 1907)
วงศ์	Mugilidae	Scombridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามชายฝั่งทะเลตื้นๆ และบริเวณปากแม่น้ำ	พบได้ทั่วไปในเขตชายฝั่ง
อาหาร	กินสาหร่ายและพืชน้ำจืดต่ำ	กินแพลงก์ตอน และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	20-30 เซนติเมตร	14-20 เซนติเมตร

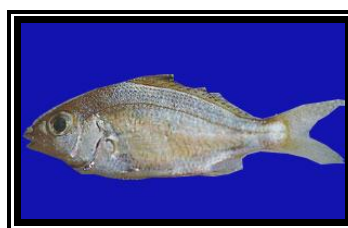


ชื่อไทย	ข้างตะเกา ข้างลาย ออกแอด	ลิ้นควาย
ชื่อสามัญ	Crescent grunter	Fivespot flounder
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Terapon jarbua</i> (Forsskal, 1775)	<i>Pseudorhombus quinquocellatus</i> (Weber & de Beaufort, 1929)
วงศ์	Theraponidae	Bothidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามชายฝั่งทะเล หรือบริเวณที่เป็นเกาะแก่งซึ่งมีหินกองใต้น้ำ	หน้าดิน ทั้งในแถบทะเลชายฝั่งทะเลตื้นๆ และทะเลลึก
อาหาร	กินไม่เลือก	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	15-25 เซนติเมตร	20-25 เซนติเมตร



ชื่อไทย ลิ้นหมา ขอดม่วง
 ชื่อสามัญ Twoline Tongue sole
 ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cynoglossus bilineatus*
 (Lacepède, 1802)

วงศ์ Cynoglossidae
 ถิ่นที่อยู่อาศัย พื้นโคลนและทรายชายฝั่งจนถึง
 ระดับความลึกน้ำ 80 เมตร
 อาหาร กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
 ขนาดความยาว 15-30 เซนติเมตร



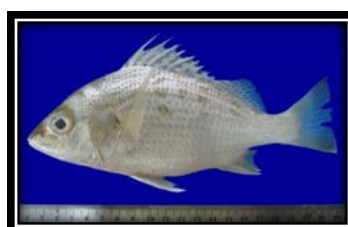
เกล็ดข้าวเม้า ดอกหมาก
 Short silverbelly
Gerres abbreviatus (Bleeker, 1850)

Gerreidae
 ตามชายฝั่งทะเลตื้นๆ ใกล้กับหาดิน
 แพลงก์ตอน สัตว์น้ำขนาดเล็ก
 10-20 เซนติเมตร



ชื่อไทย ดอกหมากกระโดง
 ชื่อสามัญ Whipfin silver-biddy
 ชื่อวิทยาศาสตร์ *Gerres filamentosus*
 (Cuvier, 1829)

วงศ์ Gerreidae
 ถิ่นที่อยู่อาศัย อาศัยอยู่ตามพื้นที่ท้องทะเลที่เป็น
 ทราย อยู่รวมกันเป็นฝูง
 อาหาร แพลงก์ตอน สัตว์น้ำขนาดเล็ก
 ขนาดความยาว 15-18 เซนติเมตร



กะพงแสม ครีตกวาด ออกแอด
 Lined silver grunt
Pomadasys hasta (Bloch, 1790)

Haemulidae
 ตามบริเวณหาดินและหินกองตื้นน้ำ พบ
 ทั่วไปตามชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย
 สัตว์น้ำขนาดเล็กที่อาศัยอยู่ตามหาดิน
 20-65 เซนติเมตร



ชื่อไทย	สร้อยนกเขาทะเล	ข้าวเม่าน้ำลึก กระรอกแดง ระกำ
ชื่อสามัญ	Painted sweetlips	Red soldierfish
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Plectorhinchus pictus</i> (Tortonese, 1936)	<i>Sargocentron rubrum</i> (Forsskäl, 1775)
วงศ์	Haemulidae	Holocentridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามหน้าดิน และกองหินใต้น้ำ ทั่วไปในเขตทะเลที่ไม่ลึกมากนัก	ตามหน้าดินในเขตทะเลตื้นๆ แถบชายฝั่ง
อาหาร	ปลาและสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ตาม หน้าดินและแนวปะการัง	สัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	50-60 เซนติเมตร	16-20 เซนติเมตร



ชื่อไทย	แป้นครีบเหลือง	แป้นแถบ
ชื่อสามัญ	Orangefin ponyfish	Striped ponyfish
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Photopteralis bindus</i> (Valenciennes, 1985)	<i>Leionathus fasciatus</i> (Lacepède, 1803)
วงศ์	Leiognathidae	Leiognathidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามชายฝั่งทะเลตื้นๆ ใกล้หน้าดิน	ตามชายฝั่งทะเลตื้นๆ ใกล้กับหน้าดิน
อาหาร	แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์	แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์
ขนาดความยาว	10 เซนติเมตร	10 เซนติเมตร



ชื่อไทย เป็นใหญ่ เป็นยักษ์ เป็นกระดาน

ชื่อสามัญ Splendid pony fish

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Eubleekeria splendens*
(Cuvier, 1829)

วงศ์ Leiognathidae

ถิ่นที่อยู่อาศัย ตามพื้นที่ท้องทะเลที่เป็นโคลน
ทรายปนโคลนตามแนวชายฝั่ง

อาหาร แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์

ขนาดความยาว 20 เซนติเมตร



เป็นเบื้อ เป็นปากหมู เป็นหมู

Pugnose ponyfish

Secutor insidiator (Bloch, 1787)

Leiognathidae

ตามชายฝั่งทะเลตื้นๆ ใกล้กับหน้าดิน

แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์

10 เซนติเมตร



ชื่อไทย หมูสีแก้มแดง อ้ายโชะ

ชื่อสามัญ Starry pigface bream

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lethrinus lentjan*
(Lacepède, 1802)

วงศ์ Lethrinidae

ถิ่นที่อยู่อาศัย ตามพื้นทะเลที่เป็นดินโคลนปน
ทราย ดินโคลน ริมชายฝั่งทั่วไป

อาหาร กินลูกกุ้ง ลูกปลา สัตว์น้ำขนาดเล็ก

ขนาดความยาว 40 เซนติเมตร



กะพงแดงป่าน เกี๋ยงหาง อังกะย อังจ้อ

Finger mark

Lutjanus johnii (Bloch, 1972)

Lutjanidae

ตามหน้าดินก้นทะเลและตามเกาะแก่งที่
มีหินกองได้น้ำทั่วไป

ปลาหน้าดินขนาดเล็ก

15-30 เซนติเมตร



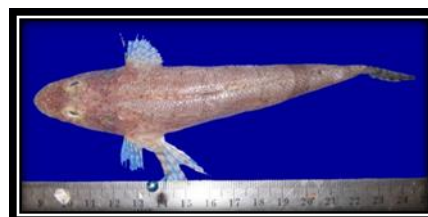
ชื่อไทย	กะพงข้างเหลือง	กะพงเหลืองขม้น ข้างแถว กะลิปี
ชื่อสามัญ	Bigeye snapper	Olivestriped snapper
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Lutjanus lutjanus</i> (Bloch, 1790)	<i>Lutjanus vita</i> (Quoy & Gaimard, 1824)
วงศ์	Lutjanidae	Lutjanidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามชายฝั่งทะเลบริเวณที่ไม่ลึก มากนัก พบทั่วไปในอ่าวไทย	ตามบริเวณหน้าดินและหินกองใต้น้ำ ใน ทะเลตื้นๆ แถบชายฝั่ง
อาหาร	ปลาและสัตว์น้ำขนาดเล็ก	ปลาหน้าดินขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	15-25 เซนติเมตร	15-25 เซนติเมตร



ชื่อไทย	วัวหางพัด จัหวางพัด	ทรายขาวหลังแถบขาว
ชื่อสามัญ	Chinese filefish	Saw-jawed monocle bream
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Monacanthus chinensis</i> (Osbeck, 1765)	<i>Scolopsis ciliata</i> (Lacepède, 1802)
วงศ์	Monacanthidae	Nemipteridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	พื้นทะเลตามริมชายฝั่ง	ตามหน้าดินแถบชายฝั่งและทะเลลึก
อาหาร	กินปลา และสัตว์น้ำขนาดเล็ก	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	15 เซนติเมตร	10 เซนติเมตร



ชื่อไทย	ทรายขาวจุด	ทรายแดงโม่ง อั้งโกลี
ชื่อสามัญ	Bald-spot monocle bream	Ornate threadfin bream
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Scolopsis temporalis</i> (Cuvier, 1830)	<i>Nemipterus hexodon</i> (Quoy & Gaimard, 1824)
วงศ์	Nemipteridae	Nemipteridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามหน้าดินแถบชายฝั่งและทะเลลึก	ตามพื้นท้องทะเลที่เป็นโคลนหรือโคลนปนทราย
อาหาร	สัตว์น้ำขนาดเล็ก	กินลูกปลา กุ้ง และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	30-35 เซนติเมตร	20-30 เซนติเมตร



ชื่อไทย	สายรุ้ง นกทะเล	หางควาย
ชื่อสามัญ	Butterfly whiptail	Rough flathead
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Pentapus setosus</i> (Valenciennes, 1830)	<i>Platycephalus indicus</i> (Linnaeus, 1758)
วงศ์	Nemipteridae	Platycephalidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	หน้าดิน ตามริมชายฝั่งทะเลทั่วไป	ตามหน้าดินในเขตทะเลตื้นๆ แถบชายฝั่งทั่วไป
อาหาร	พืชไม่มีน้ำ สัตว์น้ำขนาดเล็ก	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	14-22 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร



ชื่อไทย	ดุกทะเล ดัก ปั่นแก้ว เป็ดแก้ว สามแก้ว
ชื่อสามัญ	Striped catfish eel
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Plotosus anguillaris</i> (Bloch, 1794)
วงศ์	Plotosidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามพื้นทะเล
อาหาร	ทั้งพืชและสัตว์
ขนาดความยาว	20 เซนติเมตร



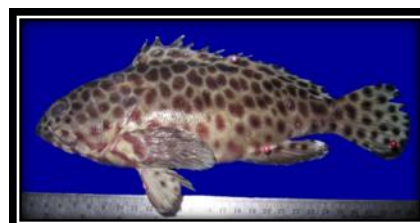
ชื่อนทะเล	Cobia
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Rachycentron canadum</i> (Linnaeus, 1766)
วงศ์	Rachycentridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามบริเวณน้ำตื้น
อาหาร	กุ้ง กุ้ง และปลา
ขนาดความยาว	30-80 เซนติเมตร



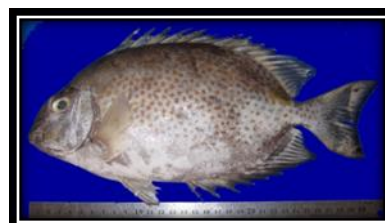
ชื่อไทย	นกแก้วสีเหลือง
ชื่อสามัญ	Yellow-scaled Parrotfish
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Scarus ghobban</i> (Forsskal, 1775)
วงศ์	Scaridae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามกองหินใต้น้ำแนวปะการัง เกาะ แก่งริมชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน
อาหาร	ปะการัง สาหร่ายเคลือบ
ขนาดความยาว	30 เซนติเมตร



ตะกรับ กะทะ เลือดดาว	Spotted scat
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Scatophagus argus</i> (Linnaeus, 1766)
วงศ์	Scatophagidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามน้ำตื้น หินกอง และปากแม่น้ำ
อาหาร	พืชน้ำและสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	12-16 เซนติเมตร



ชื่อไทย	จวดเทา ม้า	กะรังเลื้อยครีบน้ำยาว เก้าตุ๊กแก ลาย
ชื่อสามัญ	Greenback johnfish	Long grouper, Long-finned rock cod
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Johnius soldado</i> (Lacepède, 1802)	<i>Epinephelus quoyanus</i> (Valenciennes, 1830)
วงศ์	Sciaenidae	Serranidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามบริเวณใกล้หน้าดิน ในเขตทะเลตื้นๆ ทั่วไป	ตามซอกหินใต้น้ำ เสาไม้ ตามริมชายฝั่งทะเลทั่วไป
อาหาร	กินปลาและสัตว์น้ำ	กินปลาขนาดเล็ก กุ้ง และปู
ขนาดความยาว	15-25 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร



ชื่อไทย	เก้าบั้งแกก	สลิคทะเลจุดส้ม สลิคหินจุดแดง
ชื่อสามัญ	Yellow grouper	Orange-spotted spinefoot
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Epinephelus sexfasciatus</i> (Valenciennes, 1828)	<i>Siganus guttatus</i> (Bloch, 1787)
วงศ์	Serranidae	Siganidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	พื้นโคลนปนทราย กองหิน ซากไม้ ตามชายฝั่งทะเล	อยู่รวมกันเป็นฝูงขนาดเล็ก ใกล้กองหินและแนวปะการัง
อาหาร	กินปลา กุ้ง และสัตว์น้ำขนาดเล็ก	กินสาหร่าย และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	25-50 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร



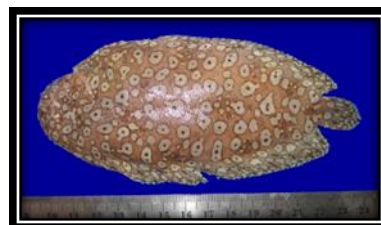
ชื่อไทย	สลิคทะเลแถบ สลิคหินแขก ใบขนุนลายแถบ
ชื่อสามัญ	Reticulated spinefoot, Bluespotted spinefish
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Siganus javus</i> (Linnaeus, 1766)
วงศ์	Siganidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	อยู่รวมกันเป็นฝูง ตามกองหินและ แนวปะการัง
อาหาร	กินสาหร่าย และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	25-53 เซนติเมตร



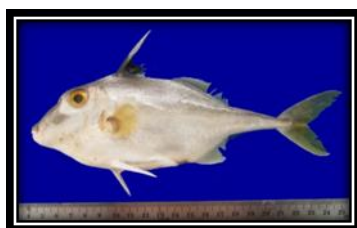
ชื่อไทย	เห็ดโคนเงิน ซ่อนทรายเงิน บรูค
ชื่อสามัญ	Silver sillago
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Sillago sihama</i> (Forsskål, 1775)
วงศ์	Sillaginidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามบริเวณหน้าดินในเขตทะเลตื้นๆ ใกล้ชายฝั่ง จนถึงความลึกน้ำ 60 เมตร
อาหาร	ลูกกุ้ง ตัวหนอน และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	18 เซนติเมตร



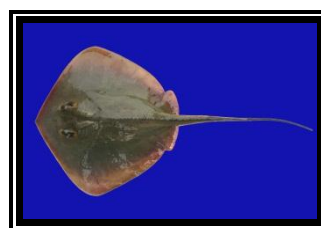
ชื่อไทย	เห็ดโคนแท่ง ซ่อนทรายแท่ง
ชื่อสามัญ	Trumpeter sillago
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Sillago maculata</i> (Quoy & Gaimard, 1824)
วงศ์	Sillaginidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามบริเวณหน้าดินตื้นๆ แถบชายฝั่ง
อาหาร	กินลูกกุ้ง และสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	17 เซนติเมตร



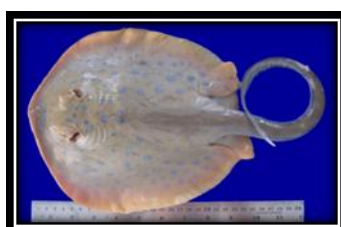
ชื่อไทย	ลิ้นควายจุด
ชื่อสามัญ	Brood sole
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Pardachirus pavonilus</i> (Lacepède, 1802)
วงศ์	Soleidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามบริเวณหน้าดิน
อาหาร	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	15-30 เซนติเมตร



ชื่อไทย	วัวหนามยาว จัวหนามยาว
ชื่อสามัญ	Longspined tripodfish
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Pseudotriacanthus strigilifer</i> (Cantor, 1849)
วงศ์	Triacanthidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามหน้าดินในทะเลตื้นๆ แถบ ชายฝั่ง
อาหาร	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	15-20 เซนติเมตร



กระเบน	Red stingray
	<i>Dasyatis akajei</i> (Müller & Henle, 1841)
	Trygonidae
	ตามบริเวณหน้าดิน
	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
	ลำตัวกว้าง 25 เซนติเมตร



ชื่อไทย	กระเบนทองจุดฟ้า
ชื่อสามัญ	Blue-Spotted Stingray
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Dasyatis kuhlii</i> (Müller & Henle 1841)
วงศ์	Trygonidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามพื้นทะเลในบริเวณแนว ปะการัง
อาหาร	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
ขนาดความยาว	ลำตัวกว้าง 15-25 เซนติเมตร



กระเบนหัวแหลม	Pale-edged stingray
	<i>Dasyatis zugei</i> (Müller & Henle, 1841)
	Trygonidae
	หน้าดินในบริเวณชายฝั่งทะเล
	กินสัตว์น้ำขนาดเล็ก
	18 เซนติเมตร



ชื่อไทย เกย
ชื่อสามัญ Krill
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Euphausiacea* spp.

วงศ์ Euphausiacea
ถิ่นที่อยู่อาศัย อยู่รวมกันเป็นฝูงตามชายทะเล
และลึกลงบริเวณป่าชายเลน
อาหาร แพลงก์ตอน
ขนาดความยาว 1.5 เซนติเมตร



หอยครง
Rudder ark, Inaequivalve ark
Scapharca inaequivalvis
(Bruguère, 1789)

Arcidae
ริมชายฝั่ง อยู่ในพื้นทรายปนโคลน
ในน้ำลึกประมาณ 5-6 เมตร
กรองอาหารพวกแพลงก์ตอนพืชและ
สัตว์ รวมทั้งซากพืชและสัตว์ที่เน่าเปื่อย
5-9 เซนติเมตร



ชื่อไทย หอยหวาน หรือ หอยตุ๊กแก
ชื่อสามัญ Areola babylon
ชื่อวิทยาศาสตร์ *Babylonia areolata* (Link, 1807)
วงศ์ Buccinidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย ตามพื้นทะเลที่เป็นโคลนปนทราย
อาหาร กรองอาหารจำพวกแพลงก์ตอน
พืชและสัตว์
ขนาดความยาว 5 เซนติเมตร



หมึกหอม ตะเภา
Soft cuttle fish
Sepistenthis lessoniana (Lesson, 1830)
Cephalopoda
อยู่รวมกันเป็นฝูง ใกล้ผิวทะเลริมชายฝั่ง
แพลงก์ตอน สัตว์น้ำขนาดเล็ก
30 เซนติเมตร



ชื่อไทย

หอยเลียบ

ชื่อสามัญ

Pacific bean donax

ชื่อวิทยาศาสตร์

Donax faba (Gmelin, 1971)

วงศ์

Donacidae

ถิ่นที่อยู่อาศัย

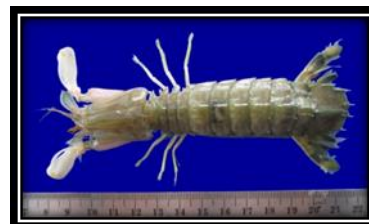
ฝังตัวอยู่ในพื้นทราย บริเวณที่มีเขตน้ำขึ้นน้ำลง พบทั่วไปตามชายหาด

อาหาร

กินอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย

ขนาดความยาว

1.8 เซนติเมตร

กั้งตั๊กแตนเขียว กั้งตั๊กแตนหาด
กั้งตั๊กแตนสามแถบ

Three banded mantis shrimp

Miyakea nepa (Latreille, 1828)

Gonodactylidae

ตามพื้นทะเลที่มีลักษณะเป็นโคลนปนทราย

กินสัตว์น้ำขนาดเล็กชนิดต่างๆ

17 เซนติเมตร



ชื่อไทย

หอยกะพง หอยบิค

ชื่อสามัญ

Horse mussel

ชื่อวิทยาศาสตร์

Musculus senhousia (Benson, 1842)

วงศ์

Mytilidae

ถิ่นที่อยู่อาศัย

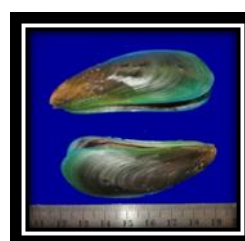
พื้นทะเลที่เป็นโคลนและบริเวณหลักเสาที่ทำปีกของร้วไชมาน โพงพาง

อาหาร

กินสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในน้ำ

ขนาดความยาว

5 เซนติเมตร



หอยแมลงภู่

Green mussel

Perna viridis (Linnaeus, 1758)

Mytilidae

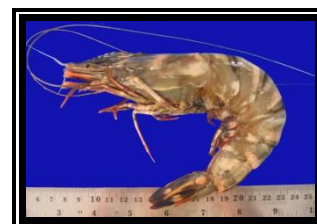
เกาะกับหิน เสาสะพานหรือหลักไม้ที่ปักอยู่ในทะเลริมชายฝั่ง

กรองอาหารจำพวกแพลงก์ตอนพืชและสัตว์

4-20 เซนติเมตร



ชื่อไทย	กุ้งแซบว๊าย
ชื่อสามัญ	Banana shrimp
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Fenneropenaeus merguensis</i> (De man, 1888)
วงศ์	Peneidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามพื้นทะเลที่เป็นดินโคลนหรือ โคลนปนทรายตามริมชายฝั่ง
อาหาร	แพลงก์ตอน
ขนาดความยาว	20 เซนติเมตร



ชื่อไทย	กุ้งกุลาดำ กุ้งทะเลดำ กุ้งแครงดำ
ชื่อสามัญ	Giant tiger prawn
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Penaeus monodon</i> (Fabricius, 1798)
วงศ์	Peneidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามพื้นทะเลที่เป็นดินโคลน หรือ โคลนปนทราย
อาหาร	แพลงก์ตอน หนอน แมลงน้ำ
ขนาดความยาว	18-25 เซนติเมตร



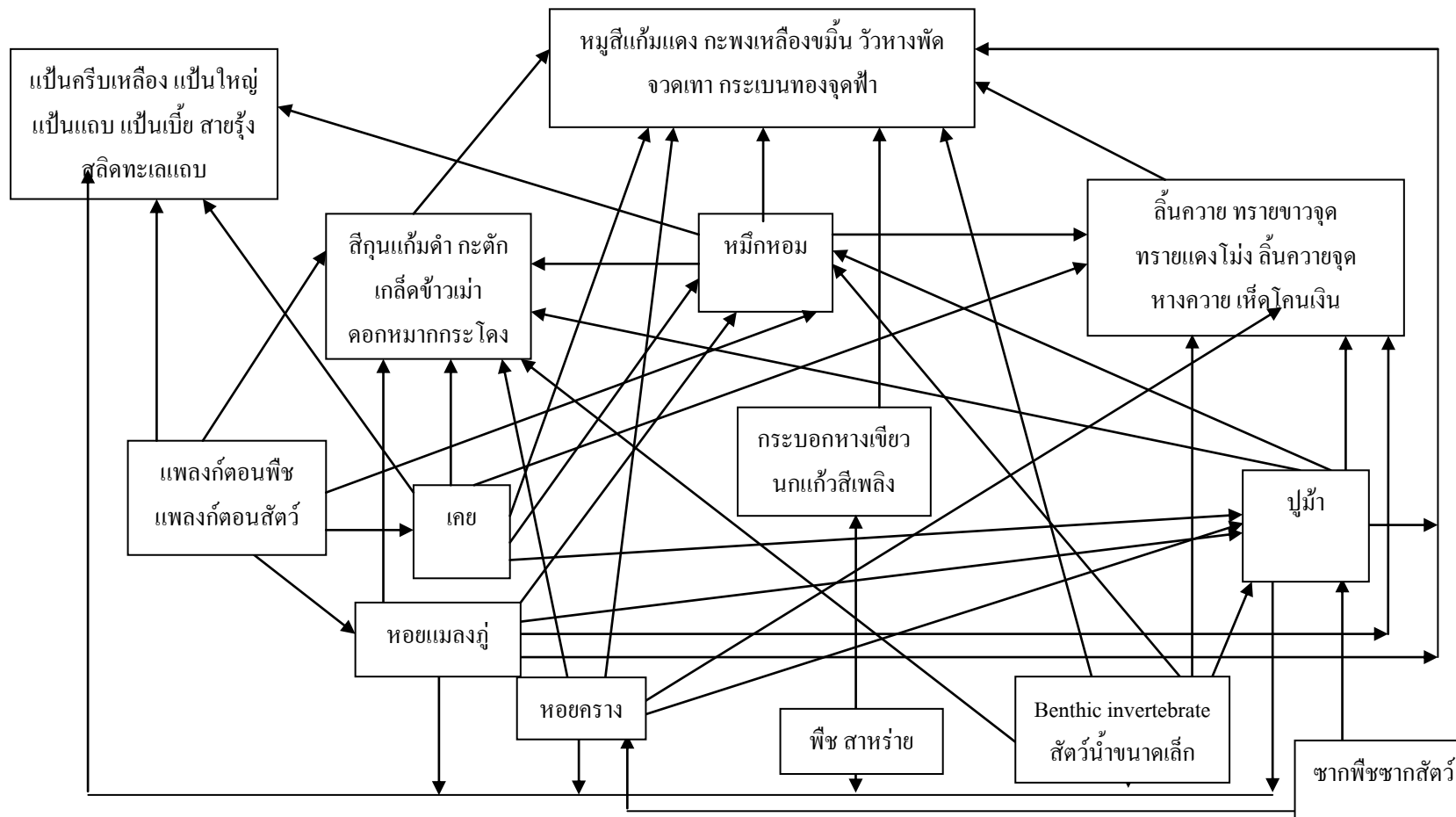
ชื่อไทย	ปูม้า
ชื่อสามัญ	Blue swimming crab
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Portunus pelagicus</i> (Linnaeus, 1758)
วงศ์	Portunidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	พื้นทรายจนถึงโคลนปนทรายตาม ชายฝั่ง
อาหาร	กินซากพืชและซากสัตว์ที่ตายแล้ว
ขนาดความยาว	15-20 เซนติเมตร



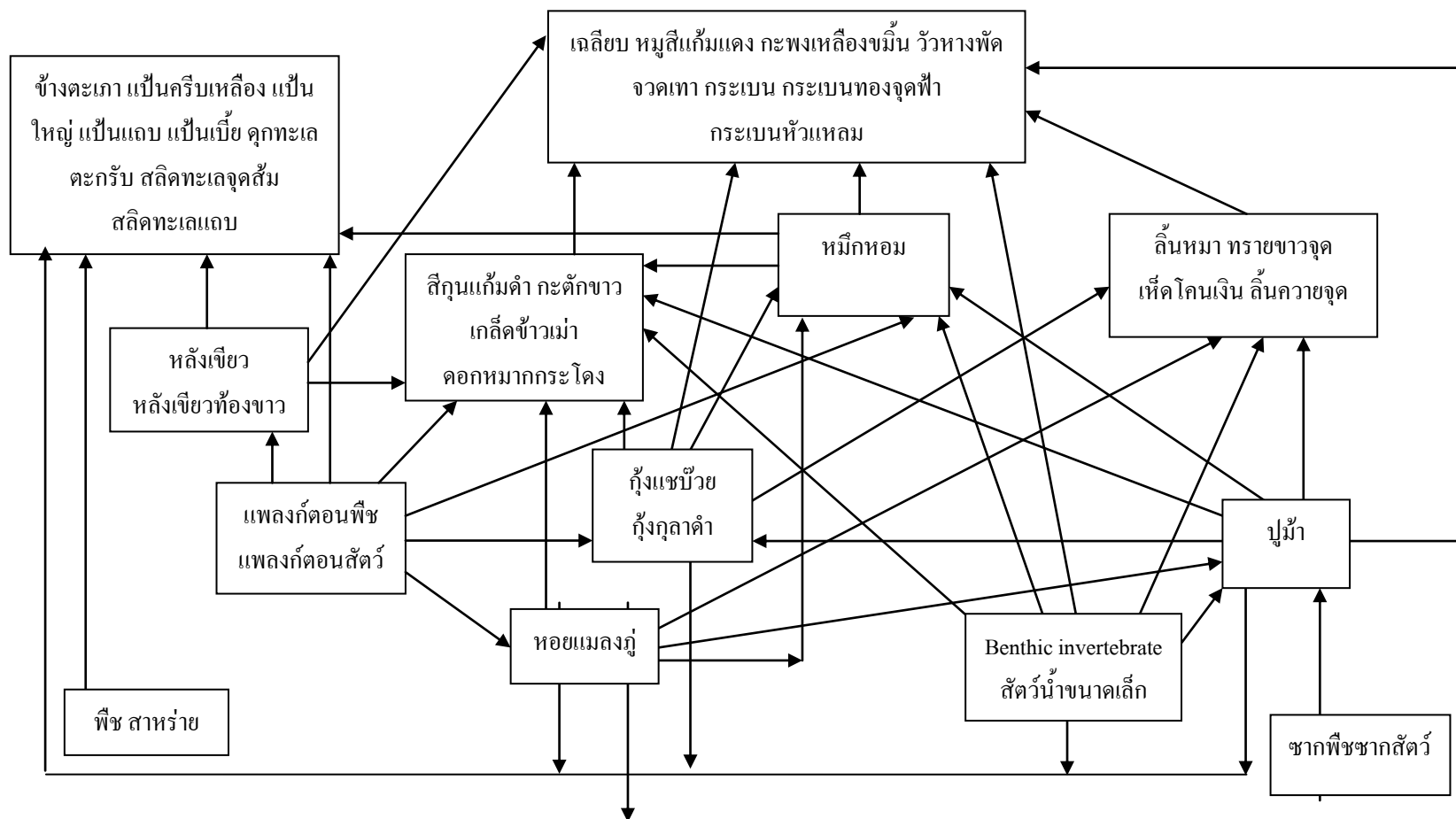
ชื่อไทย	ปูทะเล
ชื่อสามัญ	Serrated mud crab
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Scylla serrata</i> (Forsskal, 1775)
วงศ์	Portunidae
ถิ่นที่อยู่อาศัย	ตามพื้นที่ท้องทะเลโดยทั่วไป ปาก แม่น้ำหรือชายฝั่งทะเล
อาหาร	กินซากพืชและซากสัตว์ที่ตายแล้ว
ขนาดความยาว	15-25 เซนติเมตร

ภาคผนวก ฅ

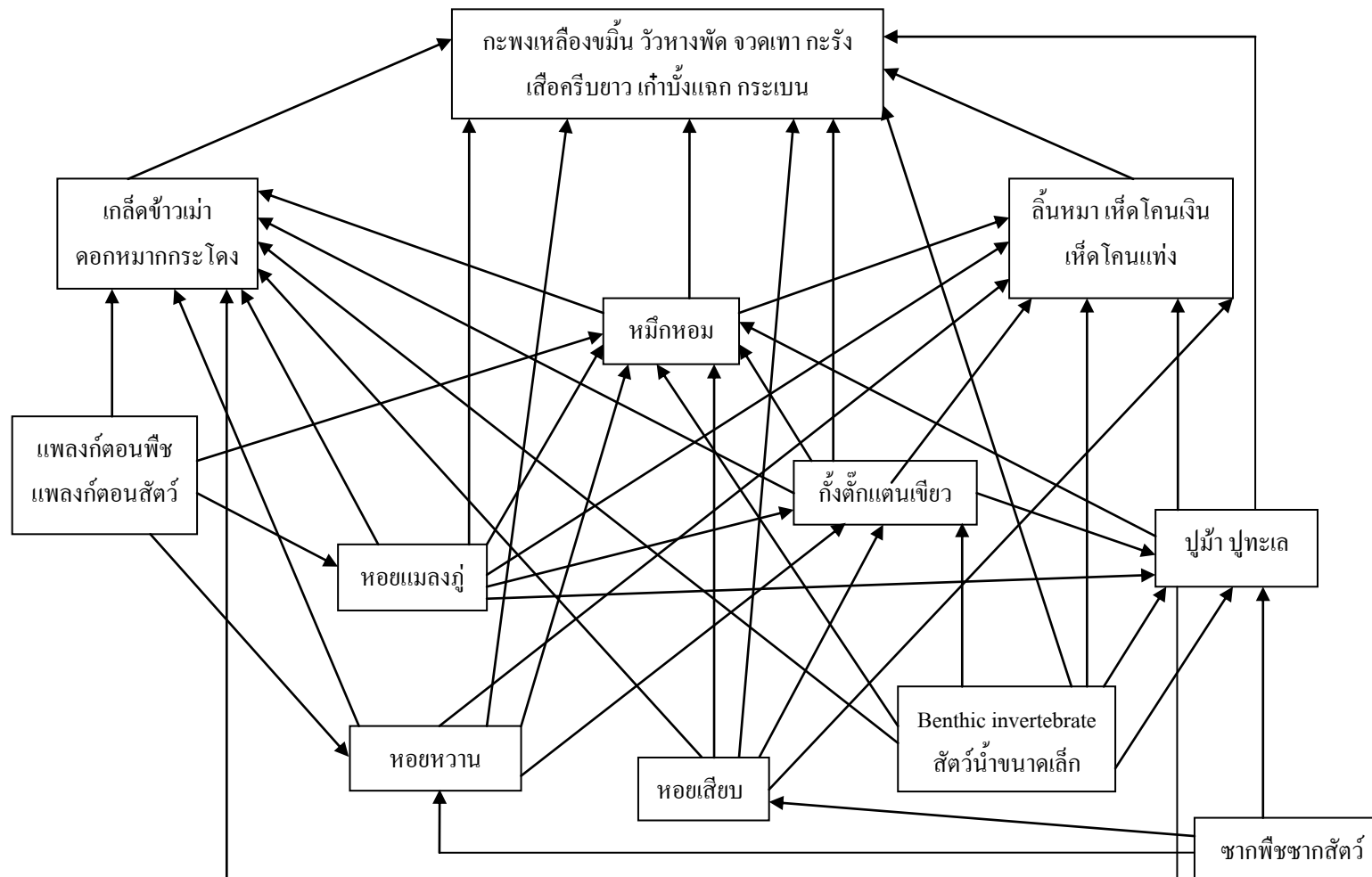
สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดตามช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง



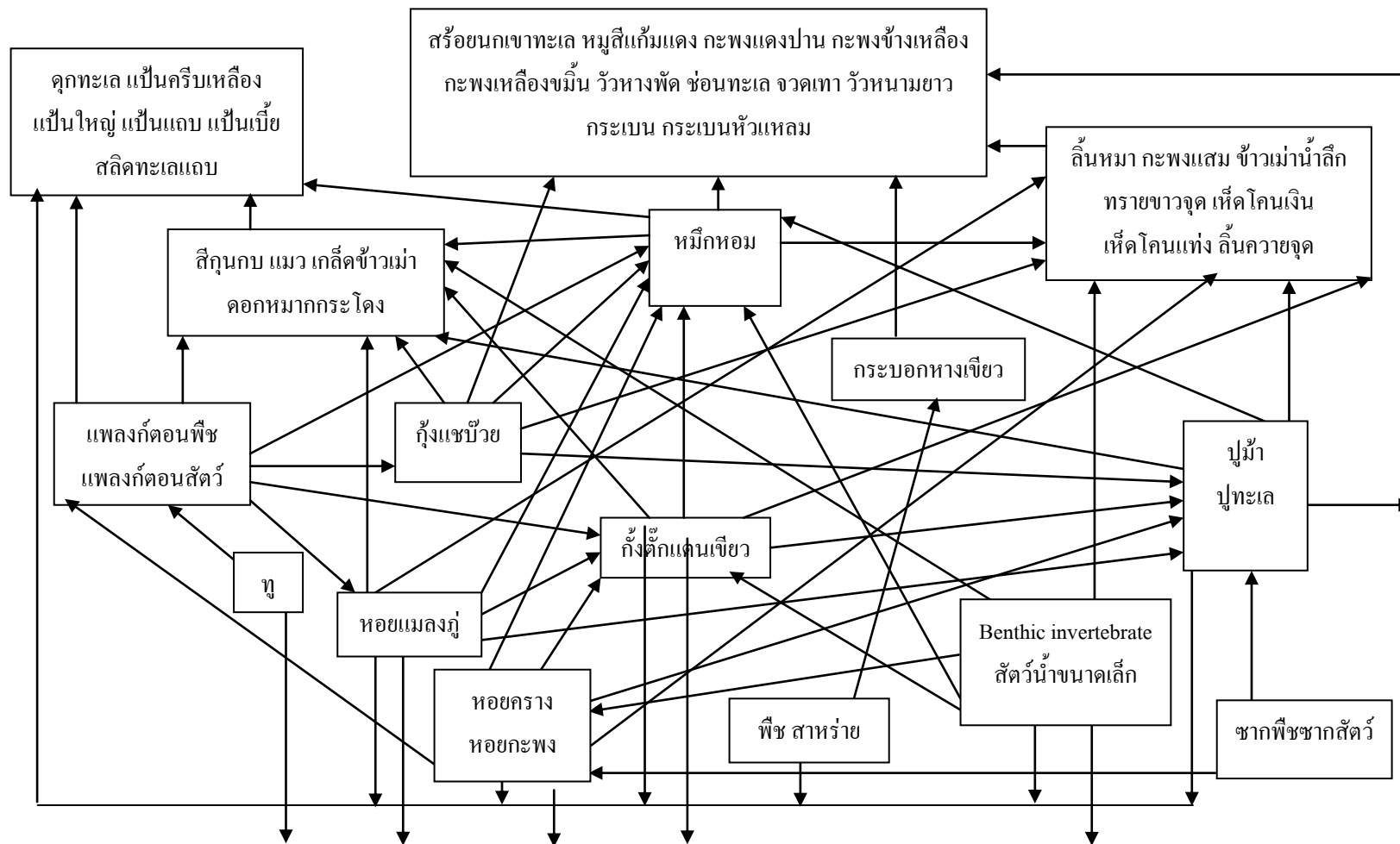
ภาพผนวกที่ ๑1 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2552



ภาพผนวกที่ ๒2 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนตุลาคม พ.ศ.2552



ภาพผนวกที่ ๓ สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2553



ภาพผนวกที่ ๓4 สายใยอาหารบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2554

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นายสุวัจน์ ชูณหรรัตน์

เกิดวันที่ 3 ตุลาคม 2523

สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

ประวัติการศึกษาวท.บ. (เทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง) มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
วท.ม. (วิทยาศาสตร์ทางทะเล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยนักวิจัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ ได้รับการตีพิมพ์บทความลงในวิทยาสารเกษตรศาสตร์
สาขาวิทยาศาสตร์ ปีที่ 49 ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2558

ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนผู้ช่วยสอน จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี
การศึกษา 2551

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
(วช.) ประจำปีการศึกษา 2557