

แหล่งที่มาและการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในระบบนิเวศทางทะเล
บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

ธนวันต์ ผาดำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ธนวันต์ ผาดำ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.ธนอมศักดิ์ บุญภักดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตานันท์ บุญภักดี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.อภิญา นวคุณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทรี ขุนทอง)

.....กรรมการ
(ดร.ธนอมศักดิ์ บุญภักดี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตานันท์ บุญภักดี)

.....กรรมการ
(ดร.อภิญา นวคุณ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณี แก้วภิรมย์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 15 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม

และพิษวิทยา ประจำปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.ถนอมศักดิ์ บุญภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตานันท์ บุญภักดี และดร.อภิญา นวคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์รัตน์ คำรงค์โรจน์วัฒนา อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้กรุณาจำแนกชนิดตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม และพิษวิทยา ประจำปีการศึกษา 2556

ขอขอบพระคุณอาจารย์นภาพรรณ พงษ์พวงเพชร ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต ประเทศไทย ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยคอร์เนล (Cornell University Stable Isotope Laboratory) ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือ Isotope-Ratio Mass Spectrometry (IRMS)

ขอขอบพระคุณ Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences ประเทศจีน ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Gas Chromatography -Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-IRMS)

ขอขอบพระคุณภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ช่วยให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และมิตรสหายทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา จนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแด่บุพการี บูรพาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนครบเท่าทุกวันนี้

ธนวันต์ ผาดำ

56910058: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: เหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล/ ไอโซโทปเสถียร/ ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน/
ห่วงโซ่อาหาร/ ทาร์บอล

ธนวันต์ ผาค่า: แหล่งที่มาและการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน
ในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง (SOURCE AND
BIOMAGNIFICATION OF PETROLEUM HYDROCARBON IN MARINE ECOSYSTEM AT
AO PRAO, KOH SAMET, RAYONG PROVINCE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์:
ถนอมศักดิ์ บุญภักดี, D.Agr.Sc., ชูตา บุญภักดี Ph.D., อภิญา นวคุณ D.Sc. 71 หน้า. ปี พ.ศ. 2561

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุแหล่งที่มาและการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ซึ่งเกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลในวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 โดยใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) เพื่อประเมินลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับผลกระทบ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตอยู่ในช่วงระหว่าง -22.65 ถึง -10.24‰ และ 1.93 ถึง 9.22‰ ตามลำดับ โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแพลงก์ตอนพืชต่ำสุดอยู่ที่ $-22.65 \pm 0.6\%$ และในปลิงทะเลสูงสุดอยู่ที่ $-10.24 \pm 0.56\%$ ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินต่ำสุดอยู่ที่ 1.93‰ และในหอยสังข์หนามสูงสุดอยู่ที่ $9.22 \pm 0.25\%$ จากผลดังกล่าวจึงแบ่งลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าวได้ 3 ระดับชั้น ดังนี้ ผู้ผลิต (แพลงก์ตอนพืช) ผู้บริโภคอันดับที่ 1 (กลุ่มหอยสองฝา) และผู้ล่า (หอยสังข์หนาม)

นอกจากนี้พบว่าโครมาโทแกรมในทาร์บอล หอยครก และหอยสังข์หนาม มีความคล้ายคลึงกับโครมาโทแกรมในน้ำมันดิบที่รั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศบริเวณอ่าวพร้าว โดยผลการศึกษาครั้งนี้สามารถยืนยันได้ว่า หอยสังข์หนาม (*Chicoreus brunneus*) เป็นสิ่งมีชีวิตที่อยู่ลำดับสูงสุดของห่วงโซ่อาหาร และเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสิ่งมีชีวิตในการตรวจสอบการสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ตกค้างยาวนานในระบบนิเวศทางทะเลในพื้นที่ที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมันดิบในอนาคตได้

56910058: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: STABLE ISOTOPES/ OIL SPILL/ PETROLEUM HYDROCARBON/ TAR BALLS/ FOOD WEB

THANAWAN PHADAM: SOURCE AND BIOMAGNIFICATION OF PETROLEUM HYDROCARBON IN MARINE ECOSYSTEM AT AO PRAO, KOH SAMET, RAYONG PROVINCE. ADVISORY COMMITTEE: THANOMSAK BOONPHAKDEE, D.Agr.Sc., CHUTA BOONPHAKDEE, Ph.D., APINYA NAVAKHUN, D.Sc. 71 P. 2018

This research aims to identify source and biomagnification of petroleum hydrocarbon, in marine ecosystem at Ao Prao Koh Samet, where impacted by Rayong oil spill incident on July 27, 2013. Stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) were used to estimate trophic positions of impacted organisms in food webs. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in marine organisms ranged from -22.65 to -10.24‰ and from 1.93 to 9.22‰, respectively. The values of $\delta^{13}\text{C}$ in phytoplankton were lowest ($-22.65 \pm 0.6\%$) and highest in sea cucumber ($-10.24 \pm 0.56\%$). In addition, the values of $\delta^{15}\text{N}$ in benthic algae were lowest (1.93‰) and highest in *Chicoreus brunneus* ($9.22 \pm 0.25\%$). According to $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ results, three trophic levels of marine organisms as producer (phytoplankton), primary consumer (bivalves) and predator (gastropods) were revealed.

The results of GC-MS chromatograms showed tar balls, primary consumer and predator organisms were similar. This suggests that source of petroleum hydrocarbon in those marine creatures were derived from oil spill disaster. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures illustrate that *Chicoreus brunneus* was a top predator in the food chain. Therefore, it can be used to monitor biomagnification of long-term hydrocarbon residues in marine ecosystems for any further spills.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปิโตรเลียม.....	3
2.2 ผลกระทบของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล..	9
2.3 ไอโซโทปและไอโซโทปเสถียร.....	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 พื้นที่ที่ศึกษา.....	23
3.2 การเก็บตัวอย่างในภาคสนาม.....	24
3.3 การเตรียมตัวอย่างทั้งหมดเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ	25
3.4 การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน.....	27
3.5 การวิเคราะห์ตำแหน่งการกิน.....	28
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบที่เฉพาะเจาะจง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	29
4.1 ลักษณะกลุ่มสิ่งมีชีวิตและทาร์บอล.....	29
4.2 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง..	30
4.3 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตบริเวณเกาะกูด จังหวัดระยอง (พื้นที่อ้างอิง)	30
4.4 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบและทาร์บอล.....	34
4.5 สารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงของ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำมันดิบและทาร์บอล.....	35
4.6 การเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว จังหวัดระยอง.....	36
5 อภิปรายและสรุปผล.....	38
5.1 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด (พื้นที่อ้างอิง) จังหวัดระยอง.....	38
5.2 การใช้ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในการแบ่งลำดับการกินตามห่วงโซ่อาหารของ สิ่งมีชีวิต.....	38
5.3 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบและทาร์บอลด้วย GC-MS และ GC-IRMS.....	42
5.4 การเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว จังหวัดระยอง.....	44
5.5 สรุปผลการศึกษา.....	45
5.6 ข้อเสนอแนะ.....	45
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล.....	58
ภาคผนวก ข ผลงานเผยแพร่วิชาการจากงานวิจัย.....	60
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 สัดส่วนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ.....	5
2-2 ปริมาณของธาตุไอโซโทปที่พบได้ในธรรมชาติ.....	11
2-3 สารมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของไอโซโทป.....	14
2-4 สัดส่วนไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) ในโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ขององค์ประกอบหลักในระบบนิเวศ.....	15
3-1 ข้อมูลจุดเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง.....	24
3-2 ข้อมูลจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะกูด (พื้นที่อ่างอิง) จังหวัดระยอง.....	24
3-3 สภาพะการทำงานเครื่อง GC-MS.....	27
4-1 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในเนื้อเยื่อ สิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด จังหวัดระยอง.....	32
4-2 สารประกอบ n-alkane ในน้ำมันดิบและทาร์บอล บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัด ระยอง.....	35
5-1 การจำแนกประเภทการกินอาหารในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง.....	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวในน้ำมันดิบ.....	6
2-2 โครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ.....	6
2-3 พฤติกรรมของน้ำมันดิบเมื่อไหลลงสู่ทะเล.....	7
2-4 สารประกอบที่เฉพาะเจาะจงของ $\delta^{13}\text{C}$ ของทาร์บอลและแหล่งขุดเจาะน้ำมันดิบ.....	21
3-1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างจากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด (พื้นที่อ้างอิง) จังหวัดระยอง.....	23
3-2 วิธีทีนเลเซอร์โครมาโตกราฟี.....	26
4-1 ช่วงปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในสิ่งมีชีวิตของห่วงโซ่อาหารบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง.....	31
4-2 ช่วงปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตของห่วงโซ่อาหารบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง.....	31
4-3 โครมาโทแกรมของสารประกอบ n-alkanes ในน้ำมันดิบและทาร์บอล จากบริเวณ อ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง.....	34
4-4 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงของในน้ำมันดิบและ ทาร์บอล.....	35
4-5 โครมาโทแกรมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างสิ่งมีชีวิต.....	36
5-1 ความสัมพันธ์ของ $\delta^{15}\text{N}$ กับลำดับการกินบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด จังหวัดระยอง.....	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปิโตรเลียมจัดว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ อีกทั้งยังมีความสำคัญในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ และยังคงมีความต้องการใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการตามการพัฒนาเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้น ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าปิโตรเลียมมาใช้ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการคมนาคมประมาณ 800,000 บาร์เรล/วัน (กระทรวงพลังงาน, 2557) อาจส่งผลให้เกิดมลพิษที่เพิ่มมากขึ้นด้วย มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรืออุบัติเหตุทางเรือที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศทางทะเลจากน้ำมันดิบรั่วไหล (Oil Spill) เช่นที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ท่อส่งน้ำมันดิบขนาด 16 นิ้ว รั่วกลางทะเลใกล้ชายฝั่งมาบตาพุด จังหวัดระยอง ในระหว่างการขนถ่ายน้ำมันดิบจากเรือบรรทุกน้ำมันสัญชาติกรีซไปยัง โรงกลั่นน้ำมันของบริษัทพีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด มหาชน (PTTGC) ซึ่งปริมาณการรั่วไหลอยู่ประมาณ 70,000 ลิตร คลื่นลมได้พัดคราบน้ำมันบางส่วนเคลื่อนตัวขึ้นที่อ่าวพร้าว ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของเกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ในวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ส่งผลให้หาดทรายของอ่าวพร้าวถูกปกคลุมด้วยคราบน้ำมันดิบ ระยะทางยาว 500 เมตร (พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล, 2556) ซึ่งคราบน้ำมันดิบดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศทางทะเลของอ่าวพร้าวอย่างรุนแรง (เริงฤทธิ์ คงเมือง, 2556)

การที่อ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ได้รับผลกระทบจากคราบน้ำมันดิบรั่วไหล ซึ่งอาจทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเคลื่อนย้ายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าวได้ (Quintana-Rizzo et al., 2015) โดยเฉพาะสัตว์ที่บริโภคอาหารด้วยการกรอง (Filter Feeders) หากได้รับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากพอ จะเกิดการสะสมในเนื้อเยื่อ (จุมพล สงวนลี, สุธิดา กาญจนน้อยดิเรกลาภ, สุภวัตร กาญจนน้อยดิเรกลาภ และสมพงษ์ บันดิวิวัฒน์กุล, 2548) เมื่อผู้ล่ากินสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นอาหารปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในผู้ล่าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงนำไปสู่การเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหาร (Biomagnifications) (Takeuchi et al., 2009)

การศึกษาเกี่ยวกับการติดตามการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตของระบบนิเวศนั้นมีอยู่ไม่มากนัก ทั้ง ๆ ที่ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง (Graham et al., 2010) การติดตามการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในห่วงโซ่อาหารได้นั้นสามารถตรวจสอบได้โดย

ใช้การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร (Stable Isotopes) โดยทั่วไปไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) จะเพิ่มขึ้นประมาณ 1‰ และ 2.5-3.5‰ ตามลำดับ จึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการระบุแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในห่วงโซ่อาหาร (Peterson, Horwart, & Garritt, 1985) และลำดับการกินในห่วงโซ่อาหาร (Vanderklift & Ponsard, 2003) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายได้ถึงการกลไกการถ่ายทอดปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อบ่งชี้การสะสมและการถ่ายทอดสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันดิบที่รั่วไหลเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศทางทะเลชายฝั่งบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

2. เพื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประเมินลำดับการกินของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล
2. สามารถชี้ให้เห็นถึงการสะสมสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบที่ตกค้างยาวนานในระบบนิเวศทางทะเล
3. เพื่อประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของคราบน้ำมันดิบที่มีผลต่อระบบนิเวศชายฝั่ง

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

มีการสะสมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

1.5 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มีผลต่อการเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ในตัวอย่างของ

กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่คาดว่าได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตบริเวณเกาะกุกีเพื่อใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง โดยการเก็บตัวอย่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตเดือนมกราคม พ.ศ. 2559

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปิโตรเลียม

ปิโตรเลียม หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ที่อยู่ภายใต้ความดันพื้นผิว ซึ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบา อย่างเช่น มีเทน อีเทน โพรเพน และ บิวเทน มีสถานะเป็นแก๊ส ในขณะที่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก มีสถานะเป็นของเหลว หรือ ของแข็ง (Gregory, 1996)

2.1.1 กำเนิดปิโตรเลียม

นักธรณีวิทยาและนักเคมีส่วนใหญ่เชื่อว่า ปิโตรเลียมเกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกัน อยู่ที่ก้นทะเลร่วมกับตะกอนเป็นเวลานับล้าน ๆ ปี การทับถมของชั้นตะกอนต่าง ๆ เป็นการเพิ่ม น้ำหนักในการกดทับซึ่งทำให้เกิดความดันระหว่างการอัดตัว นอกจากนี้ยังประกอบด้วยปัจจัยอื่น ๆ ที่ช่วยให้กระบวนการกลั่นตัวของสารอินทรีย์เหล่านี้ไปเป็นปิโตรเลียม เช่น การย่อยสลายของ จุลินทรีย์ ความร้อนจากภายในของโลก และการกลั่นตัวในระดับลึก เป็นต้น โดยมีไฮโดรเจนที่มีอยู่ใน ระดับลึกใต้พื้นโลกเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยา (Gregory, 1996)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของปิโตรเลียม

ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (Petroleum Hydrocarbons) หรือน้ำมันดิบ (Crude Oil) เป็น ผลผลิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในชั้นหินใต้พื้นผิวโลกใต้มหาสมุทร มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบ หลัก คือ ไฮโดรเจน และคาร์บอน ซึ่งได้จากการสลายตัวของอินทรีย์สารจำนวนมาก ที่ทับถมกันใน หินตะกอนต่อเนื่องกันนับหลายร้อยล้านปีภายใต้ความร้อนและความดันมหาศาล มนุษย์เริ่มรู้จัก น้ำมัน ได้จากการรั่วซึมออกมาตามธรรมชาติ (Natural Seepage) ในน้ำมันดิบมีองค์ประกอบที่ ซับซ้อน ประกอบด้วยสารเคมีจำนวนมาก ซึ่งรู้จักกันในชื่อว่า “ไฮโดรคาร์บอน” (Paul et al., 1997)

โดยในปัจจุบันน้ำมันดิบถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานที่ เพิ่มขึ้นของมนุษย์ กระบวนการต่าง ๆ ในการนำน้ำมันดิบขึ้นมาใช้ ตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะไป จนถึงขั้นตอนการกลั่นไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากโดย หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากน้ำมันดิบเป็นสารผสมที่สลับซับซ้อน องค์ประกอบส่วนใหญ่ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนประเภทต่าง ๆ ตั้งแต่โมเลกุลขนาดเล็กที่สุด จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ น้ำมันดิบยังประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มี กำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจพบว่ามีสารประกอบของโลหะบางชนิดปะปนอยู่ด้วยในปริมาณที่น้อย (ตารางที่ 2-1)

น้ำมันดิบจะมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามแหล่งที่มา ซึ่งจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดคุณค่าของน้ำมันดิบ การกำหนดวิธีการและขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมในการกลั่นน้ำมันดิบด้วยกรรมวิธีที่ต่างกันออกไป จะสามารถแยกสารออกมาได้ต่างกันออกไปด้วย (เชิดวงศ์ แสงสุกวานิช, 2559)

ตารางที่ 2-1 สัดส่วนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ (เชิดวงศ์ แสงสุกวานิช, 2559)

ธาตุ (Element)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Weight percentage)
คาร์บอน	83.0 - 87.0
ไฮโดรเจน	10.0 - 14.0
ไนโตรเจน	0.1 - 2.0
ออกซิเจน	0.05 - 1.5
ซัลเฟอร์	0.05- 2.0

2.1.3 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Paul et al., 1997)

น้ำมันดิบมีไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจนอยู่เป็นส่วนใหญ่ จัดแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

1) ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbons) ประกอบไปด้วยพันธะคู่หรือพันธะสาม อย่างน้อยหนึ่งพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

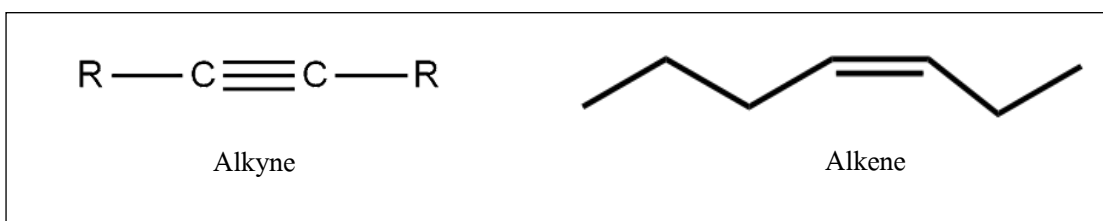
1.1) แอลคีน (Alkenes) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่ อยู่ในโมเลกุลอย่างน้อย 1 พันธะ นอกนั้นเป็นพันธะเดี่ยว มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n} (ภาพที่ 2-1)

1.2) แอลไคน์ (Alkynes) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะสามระหว่างอะตอมของคาร์บอน มีจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนน้อยกว่าสองเท่าของจำนวนอะตอมคาร์บอนอยู่ 2 อะตอม มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n-2} (ภาพที่ 2-1)

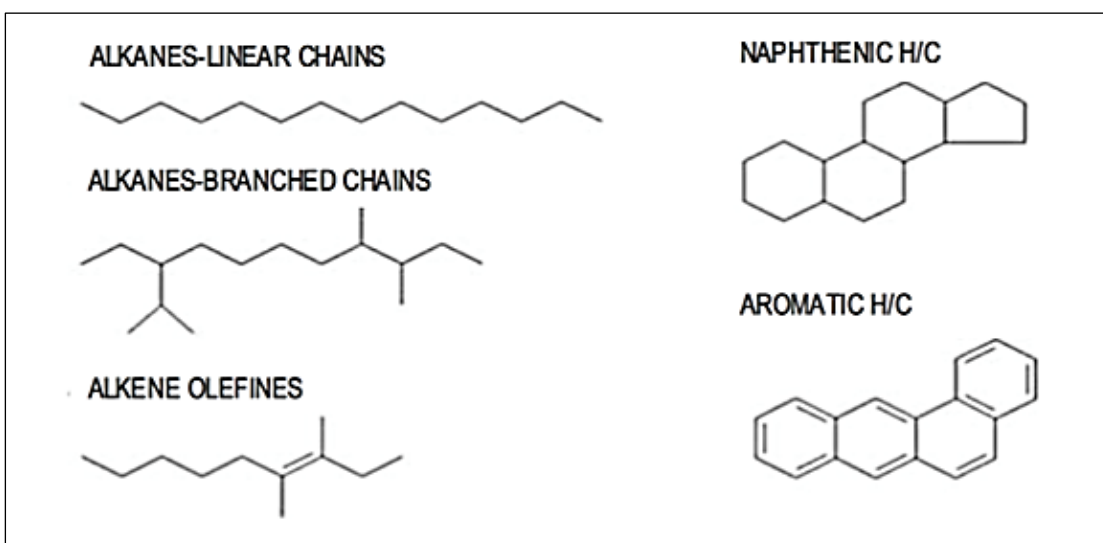
1.3) อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่อกันเป็นพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง มีความยาวพันธะอยู่ระหว่างพันธะเดียวกับพันธะคู่ และมีความยาวพันธะเท่ากัน เช่น เบนซีน (C_6H_6) เป็นสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กที่สุด ดังนั้น อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ก็จะเป็นอนุพันธ์เบนซีน อนุพันธ์ของเบนซีน (เฉพาะไฮโดรคาร์บอน) เกิดจากหมู่อัลคิล (C_nH_{2n+1}) เข้าแทนที่ไฮโดรเจนในโมเลกุลของเบนซีนหรือมีวงแหวนของคาร์บอนอีก 1 วงหรือมากกว่ามาเชื่อมติดกับเบนซีน (ภาพที่ 2-2)

2) ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbons) หรือแอลเคน (Alkanes) เป็นโครงสร้างของคาร์บอนที่ยึดอะตอมไฮโดรเจนไว้ด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด มีลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นตรง (Normal Alkanes) หรือโซ่กิ่ง (Branched Chain หรือ Isoalkanes) มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n+2} แอลเคนหรือที่รู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า “พาราฟิน” (Paraffin) มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n+2} (ภาพที่ 2-2) และโดยทั่วไปมักมีคาร์บอน 5 ถึง 40 อะตอมต่อเป็นโมเลกุลสายยาว

2.1) ไซโคลแอลเคน (Cycloalkanes) หรือแนฟทีน (Naphthenes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวง พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนยึดอะตอมของไฮโดรเจนไว้ด้วยพันธะเดี่ยว เช่นเดียวกับแอลเคนแต่มีจุดเดือดสูงกว่า มีสูตรทั่วไป C_nH_{2n} โดยประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ 3 อะตอมขึ้นไป สารประกอบที่มีวงไซโคลแอลเคน 5 - 6 วง ส่วนใหญ่จะพบได้ในน้ำมันดิบ ซึ่งแนฟทีนที่พบในน้ำมันดิบจะมีหมู่ฮัลลิตต่ออยู่ (ภาพที่ 2-2)



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวในน้ำมันดิบ (Wang & Stout, 2007)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ (Wang & Stout, 2007)

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (Non-hydrocarbons) คือ มีธาตุไฮโดรเจน และคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลัก แต่มีธาตุชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น ออกซิเจน กับไฮโดรเจน ซึ่งแบ่งตามองค์ประกอบ (Paul et al., 1997) ดังนี้

1) สารประกอบที่มีธาตุนอกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แอลกอฮอล์ (Alcohol), อีเทอร์ (Ethers), แอลดีไฮด์ (Aldehydes), คีโตน (Ketones), กรดอินทรีย์ (Carboxylic Acids), เอสเทอร์ (Esters)

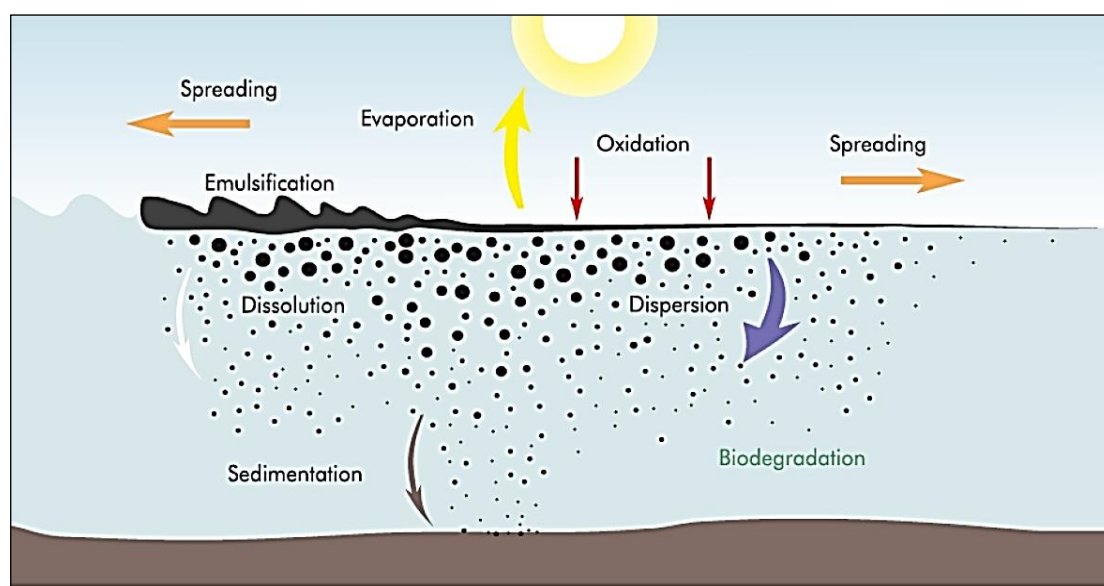
2) สารประกอบที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอมีน (Amine)

3) สารประกอบที่มีธาตุนอกซิเจนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอไมด์ (Amides)

2.1.3 พฤติกรรมของน้ำมันดิบเมื่อไหลลงสู่ทะเล (Weathering Process)

เมื่อน้ำมันดิบไหลลงสู่ทะเล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยจะทำให้ น้ำมันดิบส่วนหนึ่งสลายตัวได้ในทะเล (Non-Persistent) และที่เหลือจะยังคงอยู่ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการทางกายภาพและเคมีจะเกิดขึ้นทันทีที่มีการรั่วไหลของน้ำมันดิบ ส่วนกระบวนการทางชีวภาพมักจะเกิดขึ้นภายหลังจากเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำมันแล้ว แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนรูปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันดิบนั้น ๆ ด้วย

การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันดิบจะประกอบไปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้ (ITOPF, 2008) (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 พฤติกรรมของน้ำมันดิบเมื่อไหลลงสู่ทะเล (ITOPF, 2008)

2.1.3.1 กระบวนการทางกายภาพ

1) Spreading คือ การแพร่กระจายของน้ำมันดิบ เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันดิบที่ลอยอยู่บนผิวหน้าได้ถูกลมและกระแสน้ำทำให้น้ำมันดิบมีการแพร่กระจายออกไป ซึ่งการแพร่กระจายได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่าความหนืด ความหนาแน่น และแรงตึงผิวของน้ำมันดิบ

2) Evaporation คือ การระเหยของน้ำมันดิบ เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันดิบได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ถ้าในน้ำมันดิบมีองค์ประกอบที่มีจุดเดือดต่ำมาก อัตราการระเหยของน้ำมันก็เร็ว เช่น น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล จะสามารถระเหยได้ในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ในทางกลับกันหากน้ำมันดิบชนิดหนัก เช่น น้ำมันเตา จะระเหยได้น้อย ซึ่งกระบวนการนี้ยังทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น

3) Dispersion คือ การสลายของน้ำมันดิบไปในชั้นน้ำ โดยคลื่นลมจะทำให้ น้ำมันดิบแตกตัวเป็นหยดที่มีขนาดแตกต่างกัน หยดของน้ำมันดิบขนาดเล็กจะจมลงไปในชั้นน้ำ ในขณะที่หยดขนาดใหญ่อาจลอยขึ้นเหนือผิวหน้า และรวมตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ

4) Emulsification คือ การผสมระหว่างน้ำมันดิบกับน้ำ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นมูส หรือครีมข้น น้ำมันหลายชนิดสามารถดูดซับน้ำ แล้วเปลี่ยนสภาพเป็นสีน้ำตาลแกมเหลือง การเกิด Emulsification สามารถเพิ่มปริมาณมูสได้มากถึง 4 เท่าของปริมาณน้ำมันดิบที่รั่วไหล

5) Dissolution คือ การที่น้ำมันดิบละลายในน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ลักษณะของคลื่นลม รวมถึงคุณสมบัติการสลายตัวของน้ำมันดิบ น้ำมันปิโตรเลียมที่องค์ประกอบเบา (Light Components) เช่น เบนซีน (Benzene) หรือ โทลูอิน (Toluene) จะละลายน้ำได้มากกว่าน้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบหนัก (Heavy Components)

6) Sedimentation คือ การตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำ เกิดขึ้นหลังจากที่น้ำมันดิบผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยเกาะกับตะกอนที่ฟุ้งอยู่ในน้ำได้ และจมลงสู่พื้นท้องน้ำ ซึ่งในเขตน้ำตื้น การตกตะกอนจะเร็วกว่าเขตน้ำลึก นอกจากนี้หากคราบน้ำมันดิบกระจายเข้าถึงบริเวณหาดทราย จะจับกับอนุภาคของเม็ดทราย โดยคลื่นจะตัวทำให้ทรายที่เคลือบน้ำมันดิบถูกพัดพาออกจากฝั่ง

2.1.3.2 กระบวนการทางเคมี

1) Oxidation คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันดิบกับออกซิเจน ทำให้แยกตัวเป็นสารละลายน้ำได้ โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์จะช่วยเร่งปฏิกิริยากับออกซิเจน อย่างไรก็ตาม กระบวนการต่าง ๆ จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ถ้าคราบน้ำมันดิบมีความหนา การ Oxidation มักทำให้น้ำมันดิบกลายเป็นทาร์บอล

2.1.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ

1) Biodegradation คือ การย่อยสลายของคราบน้ำมันโดยกระบวนการธรรมชาติ สามารถเกิดได้จากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกแบคทีเรีย (Bacteria) ยีสต์ (Yeast) และรา (Fungi) หลากหลายสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายองค์ประกอบของน้ำมันดิบแต่ละชนิดของน้ำมันดิบที่แตกต่างกันก็จะส่งผลต่อรูปแบบการย่อยสลายทางชีวภาพ

2) การดูดซึมและการสะสมโดยสิ่งมีชีวิต จะอยู่ในลักษณะต่าง ๆ ในรูปของ สารละลายคราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ หรืออาจจะอยู่ในรูปของตะกอน โดยมีการถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารจากกระบวนการดูดซับบนอนุภาคต่าง ๆ หรือการดูดซึมสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ละลาย หรือกระจายอยู่ในมวลน้ำเข้าสู่ร่างกาย โดยผ่านเหงือกและการกลืนกิน

2.2 ผลกระทบของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

กรณีที่เกิดเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันดิบทั้งจากอุบัติเหตุทางเรือหรือจากอุบัติเหตุ น้ำมันดิบย่อมก่อให้เกิดผลกระทบและสร้างความเสียหายต่อทรัพยากรสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ ตลอดจนความเสียหายต่อทรัพย์สินของมนุษย์โดยระดับความรุนแรงจะมากขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ชนิด ปริมาณน้ำมันดิบที่รั่วไหล ระยะเวลาที่น้ำมันดิบอยู่ในน้ำหรือทะเล สภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศ เป็นต้น

ความเป็นพิษของน้ำมันดิบที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบ หากมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ เป็นพวกกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว มักจะไม่ค่อยเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลมาก แต่ถ้าน้ำมันที่เป็นกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่มีจุดเดือดต่ำส่งผลเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตแบบเฉียบพลัน เช่น เบนซีน โทลูอิน และไซลีน แต่ในทางตรงกันข้ามเป็นกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดสูงไม่ส่งผลเป็นพิษแบบเฉียบพลันแต่เกิดการสะสมความเป็นพิษในร่างกาย (Betti, Biosson, Eriksson, Tolosa, & Vasileeva, 2011)

น้ำมันดิบแต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก ดังนั้นสภาพความเป็นพิษที่เกิดจากน้ำมันดิบแต่ละชนิดก็ต่างกันมาด้วย นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นด้วย เช่น คลื่นลมและกระแสน้ำ จึงสรุปผลกระทบของน้ำมันดิบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (จริยา สุตานนท์ไพบูลย์, 2553)

2.2.1 ผลกระทบด้านกายภาพ

1) การลดลงของออกซิเจนละลายน้ำ (DO-Decreasing)

เมื่อคราบน้ำมันดิบไปคลุมผิวน้ำจะทำให้ ออกซิเจนในอากาศไม่สามารถถ่ายเทเข้าไปแทนที่ออกซิเจนในน้ำที่สัตว์น้ำใช้ไปได้ เนื่องจากคราบน้ำมันดิบจะทำหน้าที่คล้ายแผ่นกำบัง (Physical Barrier) ระหว่างน้ำกับอากาศทำให้บริเวณนั้นเกิดการขาดออกซิเจน

2) การทำลายถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต (Destroyed Habitat)

คราบน้ำมันดิบสามารถทำลายถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์ทะเล และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ตามบริเวณชายฝั่งแนวปะการังโหดหิน ซึ่งบางครั้งอาจนำไปสู่การอพยพย้ายถิ่น (Migration) ของสิ่งมีชีวิตได้

3) แสงส่องผ่านลงสู่ท้องน้ำไม่ได้ (Reduce Light Penetration)

คราบน้ำมันดิบที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำจะบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปในน้ำทำให้เกิดผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำ

2.2.2 ผลกระทบทางด้านชีวภาพ (Betti et al., 2011)

1) การดูดซึมโดยสิ่งมีชีวิต (Absorption by Organisms)

องค์ประกอบในน้ำมันดิบที่สามารถละลายน้ำได้ทำให้เกิดการปนเปื้อนอยู่ในมวลน้ำ จึงนำไปสู่การดูดซึมเข้าร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สัตว์มีอาการมีเนมาหรืออาจถึงตายได้

2) ผลต่อสัตว์หน้าดิน (Effect on Benthos)

คราบน้ำมันดิบที่ตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำ เป็นอันตรายต่อสัตว์หน้าดิน และสิ่งมีชีวิตจำพวก หอย และครัสเตเชียน เป็นต้นซึ่งส่งผลให้มีพิษต่อระบบประสาทของสิ่งมีชีวิต

3) ผลต่อพืช (Effect on Plants)

คราบน้ำมันดิบที่ลอยตามผิวน้ำจะบดบังแสงสว่างทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ และเมื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันดิบแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของพืชจะทำลายเซลล์ นอกจากนี้คราบน้ำมันดิบที่เกาะตามใบพืชจะทำให้พืชสูญเสียการคายน้ำอีกด้วย

4) สารก่อมะเร็ง (Carcinogen)

น้ำมันดิบบางส่วนจะรวมกับสารเคมีในร่างกายของสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดโรคมะเร็ง สารแขวนลอยของน้ำมันดิบที่กระจายอยู่ในน้ำเป็นอันตรายโดยตรงต่อสัตว์น้ำ โดยการอุดตันระบบการหายใจ ก่อให้เกิดการสะสมสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในเนื้อเยื่อ ส่งผลต่อประสาทสัมผัส ผิดปกติ มีผลเสียต่อระบบการหาอาหาร รวมถึงการผสมพันธุ์ของสัตว์เหล่านั้น

2.3 ไอโซโทป (Isotopes) และไอโซโทปเสถียร (Stable Isotopes)

2.3.1 ไอโซโทป (Isotopes)

อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่าง ๆ กัน เรียกเป็นไอโซโทปของธาตุนั้น ๆ ซึ่งมีทั้งหมด 12 ธาตุ ประกอบไปด้วยไอโซโทปเบา (Light Isotope) เช่น ^{12}C (Carbon), ^{14}N (Nitrogen), ^{16}O (Oxygen), ^{32}S (Sulphur), ^1H (Hydrogen) และ ไอโซโทปหนัก (Heavy Isotopes) เช่น ^{13}C , ^{15}N , ^{17}O , ^{18}O , ^{33}S , ^{34}S , ^2H (ตารางที่ 2-2) นอกจากนี้ ไอโซโทปของธาตุชนิดเดียวกันยังมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน (นีโกลบ เนื่องต้น, 2542)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณของธาตุไอโซโทปที่พบได้ในธรรมชาติ (Benson, Lennard, Maynard, & Roux, 2006)

Element	Isotopes	Relative Abundance (%)
Hydrogen (H)	^1H	99.984
	^2H	0.0156
Carbon (C)	^{12}C	98.892
	^{13}C	1.108
Nitrogen (N)	^{14}N	99.635
	^{15}N	0.365
Oxygen (O)	^{16}O	99.759
	^{17}O	0.037
	^{18}O	0.204
Sulphur (S)	^{32}S	95.02
	^{33}S	0.76
	^{34}S	4.22
	^{36}S	0.014

2.3.2 หลักการพื้นฐานของไอโซโทป (กฤษณา ชูติมา, 2529)

ไอโซโทปของธาตุหลายชนิด มีสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากมวลที่ต่างกัน สำหรับธาตุที่เลขมวลต่ำ ๆ ผลต่างของมวลจะมีค่ามากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีววิทยา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วน (Fractionate) ของไอโซโทป หรือมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทป กระบวนการสองชนิดที่ทำ

ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (Isotope Fractionation) คือ สมดุลของ ไอโซโทป (Equilibrium Isotope) และจลนศาสตร์ของไอโซโทป (Kinetic Isotope) ผลของ กระบวนการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วนไอโซโทปในน้ำกับสารละลาย ทำให้มีปริมาณของ ไอโซโทปที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะ (อัตราส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบา) ที่อาจใช้เป็น ข้อมูลแสดงที่ผ่านมา หรือการเกิดกระบวนการใดที่ผ่านมา

Equilibrium Isotope Fractionations ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างสถานะหรือระหว่าง สารประกอบ ทำให้อัตราส่วนไอโซโทปของธาตุเปลี่ยนไป ที่สถานะสมดุล (Equilibrium) อัตราการ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และปฏิกิริยาย้อนกลับของแต่ละไอโซโทปมีค่าเท่ากัน แต่ไม่ได้หมายความว่า องค์ประกอบของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบ 2 ชนิด จะเท่ากันเพียงแต่อัตราส่วนของแต่ละ ไอโซโทปในสารประกอบแต่ละชนิดมีค่าคงที่ ในระหว่างที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสมดุล (Equilibrium Reactions) โดยทั่วไปในสารประกอบที่มีสถานะพลังงาน (Energy State) สูงกว่า จะมี ไอโซโทปหนักกว่าในปริมาณมากขึ้น (Enrich) ตัวอย่างเช่น สารประกอบซัลเฟต (Sulfate) มี ^{34}S มากกว่า เมื่อเทียบกับสารประกอบซัลไฟด์ (Sulfide) หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าซัลไฟด์มี ^{34}S น้อย กว่า (Deplete) เมื่อเทียบกับซัลเฟต

Kinetic Isotope Fractionations เกิดขึ้นกับระบบที่ไม่มีสมดุลไอโซโทป โดยอัตราการ เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับไม่เท่ากัน ซึ่งปฏิกิริยาอาจมีลักษณะไปทางเดียว ถ้ามี ผลผลิต (Products) เกิดขึ้น จะแยกออกจากปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราส่วนมวลของ ไอโซโทป พลังงานในการสั่น (Vibrational Energy) เป็นไปตามกฎทั่วไป ที่พันธะ (Bond) ระหว่าง ไอโซโทปที่เบากว่า จะหลุดออกง่ายกว่าพันธะระหว่าง ไอโซโทปที่หนักซึ่งแข็งแรงกว่า ไอโซโทป ที่เบากว่าจึงเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า ทำให้มีความเข้มข้นในผลผลิตมากกว่า ขณะที่ไอโซโทปที่หนัก จะอยู่ในตัวทำปฏิกิริยา (Reactant) ตั้งต้นมากกว่า

2.3.3 ไอโซโทปกัมมันตรังสี (Radioactive Isotopes) (Hoefs, 2004)

เป็นอะตอมของธาตุที่ไม่เสถียร มีการปล่อยรังสีตลอดเวลา และสลายให้อะตอมธาตุอื่น ในเวลาเดียวกัน ในขณะที่มีการสลายตัวจะมีการปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีอัลฟา รังสีเบตา รังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์ในรูปใดรูปหนึ่ง หรือมากกว่ารูปหนึ่งพร้อม ๆ กัน คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไอโซโทปรังสี คือ ธาตุกัมมันตรังสีจะสลายตัวให้รังสีชนิดใดชนิดหนึ่ง ออกมาได้เองตลอดเวลา ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดจะสลายตัวได้เร็วหรือช้าแตกต่างกัน ปริมาณการ สลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีจะบอกเป็น “ครึ่งชีวิต (Half-Life)” หมายถึง ระยะเวลาที่นิวเคลียสของ ธาตุกัมมันตรังสี สลายตัวจนเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุชนิด หนึ่ง ๆ จะมีครึ่งชีวิตคงเดิมไม่ว่าจะอยู่ในรูปของธาตุหรือเกิดเป็นสารประกอบ

2.3.4 ไอโซโทปเสถียร (Stable Isotopes)

เป็นนิวเคลียสที่ไม่มีการสลายไปเป็นไอโซโทปอื่น แต่อาจเกิดขึ้นได้จากการสลายของไอโซโทปกัมมันตรังสี ตัวอย่างเช่น คาร์บอน-14 (^{14}C) เป็นไอโซโทปรังสีของคาร์บอน เกิดขึ้นในบรรยากาศจากปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนจากรังสีคอสมิกกับไนโตรเจน-14 (^{14}N) ซึ่งเป็นไอโซโทปเสถียร ^{14}C สลายให้อนุภาคบีตา และกลับไปเป็น ^{14}N โดยมีครึ่งชีวิต 5730 ปี ไอโซโทปเสถียร ^{14}N ที่เกิดจากการสลายของกัมมันตภาพรังสี เรียกว่า Radiogenic Nitrogen (Hoefs, 2004)

นอกจากนี้ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนและคาร์บอน สามารถใช้อธิบายการถ่ายทอดพลังงานในระดับการกินอาหาร (Trophic Level) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในอดีตจะใช้วิธีการดูในกระเพาะอาหารของสิ่งมีชีวิต (Gut Analysis) ซึ่งเป็นเพียงการตรวจสอบ สิ่งที่ปรากฏหรืออาหารที่พบในกระเพาะที่สัตว์กินเข้าไป และเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัด เนื่องจากไม่สามารถบอกถึงรายละเอียดหรือข้อมูลอื่น ๆ เช่น ปริมาณหรือจำนวนของอาหารชนิดนั้น ๆ (Smith, Bulleid, & Campbell, 1979; Bevis-Challinor & Field, 1982; Hopkins, 1987; Sondergaard, Riemann, & Jensen, 1988; Warren, 1989; Kioboe et al., 1990; Bamstedt, Gifford, Irigoien, Atkinson, & Roman, 2000) ในปัจจุบันสามารถใช้การวิเคราะห์ด้วยไอโซโทปเสถียร (Stable Isotope Analysis) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงให้เห็นถึงการถ่ายทอดพลังงานจากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งไปยังสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่เริ่มต้นจากผู้ผลิตได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอาหารและถ่ายทอดไปยังผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นเทคนิคที่ตรงไปตรงมา (Feller, Taghon, Gallagher, Kenny, & Jumars, 1979)

2.3.5 การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของธาตุต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง Isotope-Ratio Mass Spectrometry (IRMS) โดยทั่วไปรายงานด้วยค่าเดลตา (δ) ซึ่งเป็นค่าของส่วนในพันส่วนใช้สัญลักษณ์ ‰ โดยเปรียบเทียบจากปริมาณในตัวอย่างไม่มีมากกว่าหรือน้อยกว่าในสารมาตรฐาน สัญลักษณ์ ‰ มีการเรียกกันหลายอย่าง เช่น permil, per mil, per mill, หรือ per mille โดยคำนวณ δ ได้จากสูตร

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$$

เมื่อ R เป็นอัตราส่วนของไอโซโทปหนัก กับไอโซโทปเบา ในตัวอย่างสารมาตรฐานซึ่ง δ ที่ค่าเป็นบวก หมายความว่า ตัวอย่างมีไอโซโทปหนักมากกว่าสารมาตรฐาน และ δ ที่ค่าเป็นลบ หมายความว่า ตัวอย่างไอโซโทปหนักน้อยกว่าสารมาตรฐาน เช่น δ ของ ^{15}N เท่ากับ +30 ‰

หมายความว่า สารตัวอย่างมีไอโซโทป ^{15}N มากกว่าสารมาตรฐาน 30 ส่วนในพันส่วน หรือ 3% (Kendell & Caldwell, 1998) ซึ่งค่าไอโซโทปทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานข้างต้น จากงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง โดยการใช้สารมาตรฐานไอโซโทปเสถียรหลายชนิด สำหรับไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนจะเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน PDB (Pee Dee Belemnite) หรือไอโซโทปเสถียรของซัลเฟอร์กับไนโตรเจน ใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน CDT (Canon Diablo Troilite) และสารมาตรฐาน AIR (สำหรับตัวอย่างอากาศ) (Mariotti, 1983) แสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สารมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของไอโซโทป (Kendell & Caldwell, 1998)

International standard	Isotope ratio of reference material
Pee Dee Belemnite (PDB)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0.0112372$
	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.0020671$
Atmospheric Nitrogen (AIR)	$^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = 0.0036765$
Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW)	$\text{D}/\text{H} (^2\text{H}/^1\text{H}) = 0.00015576$
Canyon Diablo Meteorite Troilite (CDT)	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S} = 0.0450045$
Standard Mean Ocean Chloride (SMOC)	$^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl} = 0.324$

2.3.6 เทคนิคไอโซโทปเสถียร

การเปลี่ยนแปลงหรือการกระจายของไอโซโทปเสถียรในสิ่งมีชีวิตนั้นจะขึ้นกับปริมาณของไอโซโทปเสถียรในสารตั้งต้น กลไกของปฏิกิริยา สภาวะทางกายภาพและสภาวะทางเคมี จึงทำให้สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีส่วนไอโซโทปเสถียรที่เฉพาะตัว ด้วยคุณสมบัตินี้เองที่ทำให้ไอโซโทปเสถียรเปรียบเสมือนเป็นลายพิมพ์ไอโซโทป (Stable Isotope Fingerprint) ที่สามารถชี้ติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมได้ โดยนำไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) มาประยุกต์ใช้ในการศึกษา เช่น ใช้ในระบบแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ แขนงลอยในระบบนิเวศชายฝั่ง หรือใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ เนื่องจากปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนสามารถชี้บ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบหลักในสิ่งมีชีวิต (Peterson et al., 1985) ส่วนไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน สามารถชี้บ่งบอกลำดับการกิน (Trophic Level) ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศนั้น ๆ

ได้ และยังสามารถใช้เพื่อติดตามการกระจายของน้ำเสียที่มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น จากการขับถ่ายของสัตว์ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน หรือโรงบำบัดน้ำเสีย (Dolence, Vokal, & Dolence, 2005) โดยปริมาณของ $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ และสัดส่วน C: N ในระบบนิเวศแสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) ในโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ขององค์ประกอบหลักในระบบนิเวศ (Maksymowska, Richard, Piekarek-Jankowaks, & Riera, 2000)

Ecosystem component	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C:N
Terrestrial ecosystem			
C3 plant	-30.0 ถึง -23.0	-5.0 ถึง 18.0	16.6
C4 plant	-13 (-17.0 ถึง -9.0)	3.0 ถึง 6.1	16.6
Sewage	-28.5 ถึง -21.0	-1.0 ถึง 11.0	5.4 ถึง 15.6
Freshwater ecosystem			
Plankton (Rivers)	-35.0 ถึง -25.0	5.0	7.3
DIC	-42.0 ถึง -26.0	-	-
DIN	-	2.0 ถึง 10.0	-
Sediments (Rivers)	-30.0 ถึง -26.6	4.0 ถึง 7.5	12.4 ถึง 26.0
Marine ecosystem			
Phytoplankton	-22.0 (-30.0 ถึง -17.0)	7.0 (-3.0 ถึง 12.0)	6.7
Macroalgae	-8 ถึง -27.0	5.0 ถึง 12.0	22.0 (6.2 ถึง 42.0)
Seagrasses	-12.5 ถึง -10.0	4.0 ถึง 8.0	26.0 (8.7 ถึง 34.0)
Microphytobenthos	-26.0 ถึง -20.0	2.5 ถึง 9.0	8.4 ถึง 9.3
Bacteria	-38.0 ถึง -21.6	3.0 ถึง 8.0	3.1 ถึง 5.0
Cyanobacteria	-15.2 ถึง -11.9	-2.9 ถึง 0.0	-
POM	-23.5 ถึง -21.6	7 (0 ถึง 22)	6.1 ถึง 14.9

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแนวปะการังโดยใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$)

การวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแนวปะการัง (Swart, Saied, & Lamb, 2005; Lamb & Swart, 2008; Titlyanov, Kiyashko, Titlyanova, kalita, & Raven, 2008) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสารอินทรีย์แต่ละชนิดที่ปะการังได้รับนั้นมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้ แพลงก์ตอนพืชในทะเลมีปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ในช่วง -19.1 ถึง -22.0‰ (Bouttom, 1991; Fry & Sherr, 1984) ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ในช่วง 3.0 ถึง 12‰ (Wada & Hattori, 1991) ซึ่งสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) จะช่วยในการประเมินแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในชุมชนปะการังได้แม่นยำมากขึ้น (Maksymowska et al., 2000) และสัดส่วน C:N เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะขององค์ประกอบต่าง ๆ ของสารอินทรีย์ จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ที่ปะการังได้รับ

โดย Muscatine, Porter, and Kaplan (1989) ทำการศึกษาเพื่อระบุแหล่งที่มาของอินทรีย์คาร์บอนที่ปะการังได้รับ บริเวณอ่าวดิสคอฟเวอรี (Discovery) ประเทศจาไมกา พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในซูแซนเทลลี (Zooxanthellae) มากกว่าปะการังที่อยู่ลึกลงไป (30-50 เมตร) เป็นผลมาจาก CO_2 ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในเนื้อเยื่อปะการังที่ความลึก 1 เมตร มีปริมาณใกล้เคียงกับซูแซนเทลลี เนื่องจากเนื้อเยื่อปะการังได้รับคาร์บอนอินทรีย์จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของซูแซนเทลลีเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ความลึก 30-50 เมตร พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในเนื้อเยื่อปะการังลดลง เพราะว่าการส่งถ่ายคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของซูแซนเทลลีไปยังเนื้อเยื่อปะการังมีอัตราลดลง ส่งผลให้เนื้อเยื่อปะการังได้รับคาร์บอนจากแหล่งอื่นมากกว่าซูแซนเทลลี โดยสอดคล้องกับ Muscatine and Kaplan (1994) พบว่าปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อปะการังและซูแซนเทลลีจากบริเวณอ่าวดิฟคอฟเวอรี มีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ลดลงในบริเวณที่มีความลึก 30-50 เมตร นอกจากนี้ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในซูแซนเทลลีอยู่ที่ประมาณ 0‰ ใกล้เคียงกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำโดยจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยจากตัวของปะการัง หรือในสาหร่ายบริเวณนั้น แต่ในทางกลับกันบริเวณที่ความลึก 1 เมตร ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อปะการังที่มีซูแซนเทลลีอาศัยอยู่ร่วมด้วยมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ น้อยกว่าปะการังที่ไม่มีซูแซนเทลลีอาศัยอยู่ร่วมด้วย เนื่องจากปะการังบริเวณนี้อาจจะได้รับไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำจากมวลน้ำทะเล และไนโตรเจนอินทรีย์แขวนลอยจากแพลงก์ตอนสัตว์

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในโครงร่างของปะการัง ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูแซนเทลลี (Swart, Leder, Szmant, & Dodge, 1996) เมื่อซูแซนเทลลีสังเคราะห์

แสงสามารถดึงคาร์บอนได้เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ปะการังมีการสะสม¹³C สูงขึ้นด้วย ส่วนแหล่งที่มาของไนโตรเจนที่ปะการังได้รับนั้นส่วนใหญ่ปะการังจะสามารถดูดซึมไนโตรเจนอนินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN) จากน้ำทะเลได้โดยตรง โดย Titlyanov et al. (2008) ได้ศึกษาปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในปะการังโขดสองชนิด *P. lutea*, *P. cylindrica* รวมถึงสาหร่ายที่เกาะอยู่กับโครงร่างปะการัง พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปะการังทั้งสองชนิด และสาหร่าย มีปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ที่ -15.3 ถึง -9.6‰ แสดงให้เห็นว่าชุมชนเทลลีของปะการังทั้งสองชนิด และสาหร่าย เนื่องจากมีแหล่งที่มาจากแหล่งเดียวกัน โดยจะนำ CO_2 มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เช่น CO_2 ที่ได้จากการหายใจของเนื้อเยื่อปะการัง เช่นเดียวกับปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อปะการังและสาหร่ายใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายที่เกาะอยู่กับโครงร่างปะการัง ได้รับไนโตรเจนมาจากเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของปะการัง ขณะที่การศึกษาของ Yamamuro, Kayann, and Minagawao (1995) ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อปะการังในบริเวณหมู่เกาะปาเลา (Palau) ในมหาสมุทรแปซิฟิก สาธารณรัฐปาเลา และเกาะอิซิงากิ (Ishigaki) ประเทศญี่ปุ่น พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อปะการังทั้งสองพื้นที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ อยู่ในช่วง -15 ถึง -12‰ ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ในช่วง 4 ถึง 6‰ แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนและไนโตรเจนอนินทรีย์ที่ปะการังได้รับส่วนใหญ่ไม่ได้มาจากแหล่งที่ตอนสัตว์ เนื่องจากปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแหล่งที่ตอนสัตว์อยู่ที่ประมาณ -19‰ ซึ่งแตกต่างจากเนื้อเยื่อปะการัง และมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ประมาณ 9.2‰ ซึ่งมากกว่าเนื้อเยื่อปะการัง

2.4.2 การสะสมสารประกอบไนโตรเจนในสิ่งมีชีวิต

จากเหตุการณ์ระเบิดของแท่นขุดเจาะน้ำมันดิบ Deep Water Horizon (DWH) ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันดิบรุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ 2010 ปล่อยน้ำมันกว่า 4.5 ล้านบาร์เรล ไหลลงสู่อ่าวเม็กซิโก ในเวลาเพียง 86 วัน โดย Quintana-Rizzo et al. (2015) ได้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระดับความลึก 200-1000 เมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างระยะเวลา 6 สัปดาห์ก่อน และ 1 ปี หลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในน้ำมันดิบอยู่ในช่วง -18 ถึง -21‰ ส่วนในสิ่งมีชีวิต พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของปลาบริสเทิลเมาส์ (*Gonostoma elongatum*) ในปี ค.ศ 2007 อยู่ที่ $-18.97 \pm 0.09\%$ และในปี ค.ศ 2010 ลดลงเหลือ $-19.24 \pm 0.08\%$ เช่นเดียวกับปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของปลาแดรกอน (*Chauliodus sloani*) ในปี ค.ศ 2007 อยู่ที่ $-18.45 \pm 0.14\%$ และในปี ค.ศ 2010 อยู่ที่ -19.23% สรุปได้ว่าปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงสามารถบ่งชี้ได้ว่าน้ำมันที่รั่วไหลได้มีการปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตนอกจากนี้ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของปลาบริสเทิลเมาส์ (*Gonostoma*

elongatum) ในปี ค.ศ 2007 มีค่า $8.14 \pm 0.21\%$ และในปี ค.ศ 2010 เพิ่มขึ้นเป็น $9.08 \pm 0.10\%$ สามารถบ่งชี้ได้ว่าการกินอาหารของปลาบริสเทิลเม้าส์มีการเปลี่ยนแปลง

จากเหตุการณ์วันที่ 27 กรกฎาคม 2556 ท่อน้ำมันดิบของบริษัทพีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) แตกในขณะที่ขนถ่ายน้ำมันดิบนอกฝั่ง ทำให้มีน้ำมันดิบไหลลงสู่ทะเล โดยคลื่นลมได้พัดคราบน้ำมันเข้าถึงอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ประเทศไทย โดยสุริษา ภูเก้าแก้ว, จรวยสุข แสงจันทร์ และเชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์ (2558) ศึกษาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ส่งผลกระทบต่อปูทหารหลังจากเหตุการณ์รั่วไหลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ได้ทำการเก็บตัวอย่างทราย และปูทหาร ในเดือนสิงหาคม กันยายน และธันวาคม พ.ศ. 2556 พบว่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบริเวณทิศเหนือมีค่า 2.71 ± 0.59 , 2.53 ± 0.21 และ 2.30 ± 0.37 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และทิศใต้มีค่า 2.47 ± 0.17 , 2.78 ± 0.18 และ 2.35 ± 0.42 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีผลกระทบต่อปูทหารอย่างชัดเจน แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปสภาพแวดล้อมเริ่มมีแนวโน้มที่ดีขึ้นทั้งสิ่งมีชีวิต และการสะสมของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนก็มีแนวโน้มลดลง

น้ำมันดิบเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดปะปนอยู่ด้วยกันซึ่งกลุ่มหลักคือ สารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) อะโรติกมาติก (Aromatic Hydrocarbon) และสารประกอบมีขั้วต่าง ๆ (Polar Compounds) จากการศึกษาของมณฑล แก่นมณี (2557) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบทางชีวภาพของระบบนิเวศหาดหินในเขตน้ำขึ้น-น้ำลง จากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล จังหวัดระยอง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้ การศึกษาภาคสนามเพื่อสำรวจชนิด ความชุกชุม การแพร่กระจาย รวมถึงชุมชนสัตว์หน้าดิน และวิเคราะห์ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด คือ 1-Hydroxypyrene (1-HOP) และ 2-Naphthol (2-NAP) ในเนื้อเยื่อของหอยครงแครง (*Planaxis sulcatus*) หอยนางรมปากจีบ (*Saccostrea cucullata*) และหอยมะระ (*Morula* sp.) ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีพฤติกรรมการกินและบทบาทในระบบนิเวศหาดหินที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าความชุกชุมของสัตว์หน้าดินในเขตน้ำขึ้น-น้ำลง ของหาดหินบริเวณอ่าวพร้าว ลดลงตามช่วงเวลา ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2556 อยู่ที่ 328.1 ตัวต่อตารางเมตร เดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 อยู่ที่ 182.2 ตัวต่อตารางเมตร และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2557 อยู่ที่ 132.0 ตัวต่อตารางเมตร นอกจากนี้ยังพบ 2-NAP ในเนื้อเยื่อของสัตว์หน้าดิน 3 ชนิด ในหอยครงแครง (*P. sulcatus*) ซึ่งกินอาหารแบบแทะเล็ม (Grazer) มี 2-NAP สะสมอยู่ระหว่าง 0.88 ± 0.226 ถึง 0.96 ± 0.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำเปียก ในหอยนางรมปากจีบ (*S. cucullata*) มีปริมาณ 2-NAP ในเนื้อเยื่อลดลงจาก 0.81 ± 0.37 เป็น 0.62 ± 0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนหอยมะระซึ่งเป็นผู้ล่าชนิดหนึ่ง มีการสะสมของ 2-NAP เพิ่มขึ้นจาก

0.04 ± 0.01 เป็น 0.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงการเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของน้ำมันดิบ ซึ่งมีปริมาณสารที่สะสมแตกต่างกันไปตามระดับการกินในห่วงโซ่อาหาร อย่างไรก็ตามควรมีการติดตามตรวจสอบชนิดความชุกชมของสัตว์หน้าดินในพื้นที่อ่าวพร้าวต่อไปอีกอย่างน้อย 1-2 ปี

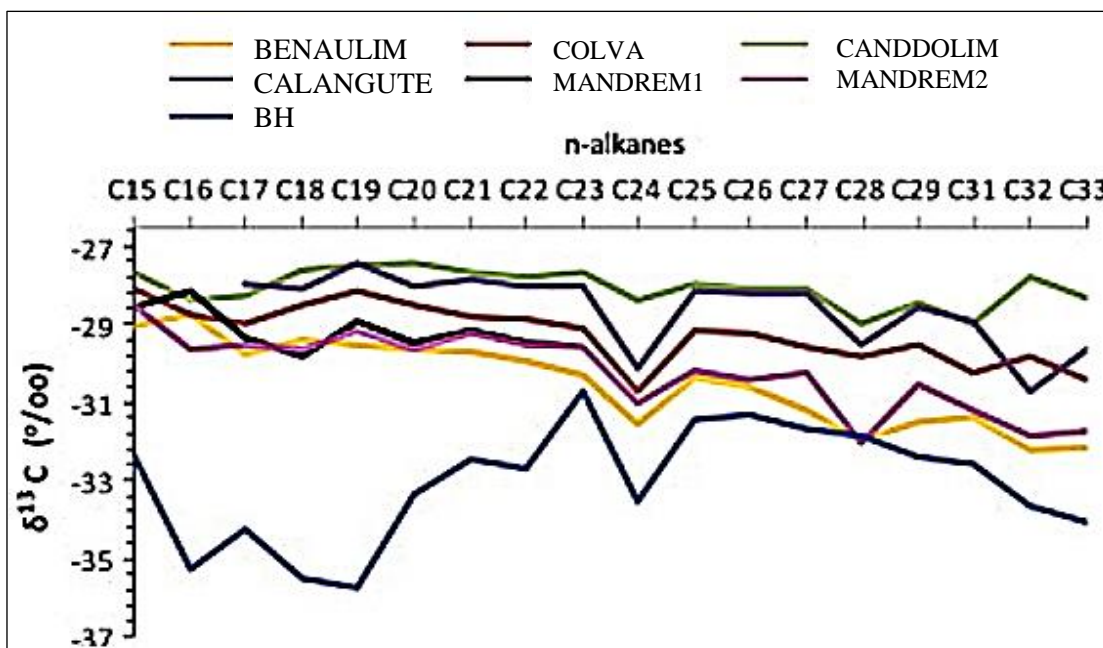
2.4.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบที่ตกค้างในระบบนิเวศ

ช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการสะสมสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในบริเวณปากแม่น้ำทะเลสาบ รวมไปถึงชายฝั่งทะเล ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อนเหล่านี้ อาจมาจากการซึมตามธรรมชาติ หรืออุบัติเหตุการขนส่งทางเรือ ดังนั้นการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบที่ยังตกค้างในระบบนิเวศจึงมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งวิธีวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) เป็นวิธีที่พบมากที่สุดในการนำมาใช้ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ในน้ำมันดิบที่รั่วไหล โดย Wang, Chen, Zhang, He, and Zhao (2013) ได้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการผุพังสลายตัวของน้ำมันดิบที่รั่วไหล ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ประมาณ 90 ถึง 120 วัน ด้วย GC-MS พบว่าในน้ำมันดิบมีสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนของ n-alkanes ตั้งแต่ C_9 ถึง C_{36} โดยที่ C_{15} และ C_{31} สูงสุด เมื่อหลังจากรั่วไหล 10 วัน พบว่าสารประกอบ n-alkanes ที่จำนวนอะตอมน้อยกว่า C_{11} มีการหายไป และหลังจากการรั่วไหล 120 วัน ทำให้สูญเสียสารประกอบ n-alkanes ในน้ำมันดิบถึง 50% ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ Ezra, Feinstein, Pelly, Bauman, and Miloslavsky (2002) ที่ทำการศึกษายบริเวณท่าเรือ Ashdod ประเทศอิสราเอล พบว่าการรั่วไหลของน้ำมันดิบเมื่อผ่าน 3 สัปดาห์ น้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่า C_{15} หายไป และหลังจากการรั่วไหล 30 สัปดาห์ น้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่า C_{17} หายไป ซึ่งจะเห็นได้ว่า GC-MS ไม่เหมาะสมที่นำมาใช้ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบที่ตกค้างมาแล้วในระยะเวลานาน

ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำ Gas Chromatography-Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-IRMS) มาใช้ในการระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ (Freeman, Hayeset, Trendel, & Albrecht, 1990; Hayes, Freeman, Popp, & Hoham, 1990) และใช้บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างปิโตรเลียมกับแหล่งที่มาที่เป็นไปได้ (Potential Source) (Bjørøy, Hall, & Moe, 1994) ดังนั้น องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในน้ำมันจะเป็นหลักฐานที่ใช้ยืนยันในการติดตามแหล่งที่มาของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (Mansuy, Philp, & Allen, 1997; Mazeas & Budzinski, 2002) โดย Mansuy et al. (1997) ศึกษาจำลองกระบวนการผุกร่อนของน้ำมันดิบที่ส่งผลต่อองค์ประกอบที่เฉพาะเจาะจงของไอโซโทปเสถียรคาร์บอน ($\delta^{13}C$) และประเมินความเป็นไปได้ของ GC-IRMS ที่

จะใช้เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของทาร์บอล (Tar balls) เมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่าน้ำมันดิบมีสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนของ n-alkanes ตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{35} แต่เมื่อผ่านไป 1 เดือนกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ สามารถทำให้สารประกอบ n-alkanes ที่มีจำนวนอะตอมต่ำ ๆ หายไป และหลังจาก 38 วัน กระบวนการ Water-Washed อะตอมที่ต่ำกว่า C_{15} หายไป แต่ในขณะเดียวกันต้องใช้ระยะเวลา 4 ปี สำหรับกระบวนการระเหย ถึงจะทำให้อะตอมที่ต่ำกว่า C_{14} หายไป ในทางตรงกันข้ามเมื่อวิเคราะห์ด้วย GC-IRMS แสดงให้เห็นว่ากระบวนการระเหย หรือกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบ ซึ่งสอดคล้องกับ Li et al. (2009) ที่พบว่า กระบวนการระเหย และ Water-Washed ทำให้ Light oils สูญเสียองค์ประกอบทางเคมีไปถึง 40-70% เมื่อเทียบกับ heavy oils สูญเสียองค์ประกอบทางเคมีประมาณ 5-10% และ Wang, Wang, and He (2015) ได้ศึกษาน้ำมันดิบที่ตกค้างในตะกอนดินหลังจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล 120 วัน ผลการศึกษาพบว่า $\delta^{13}C$ ของ n-alkanes ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการผุพังไม่ได้มีผลกระทบต่อ n-alkanes จึงชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ $\delta^{13}C$ ของ n-alkanes สามารถนำมาใช้ในการติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ในขณะเดียวกันบริเวณชายหาดรัฐกัว (Goa) ที่ตั้งอยู่ทางชายฝั่งตะวันตกของประเทศอินเดีย มีการสะสมของทาร์บอลทุก ๆ ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุม ซึ่ง Suneel, Vethamony, Zakaria, Naik, and Prasad (2013) ทำการศึกษาเพื่อต้องการทราบถึงแหล่งที่มาของทาร์บอล และสันนิษฐานว่าทาร์บอลที่อยู่ตามชายหาดต่าง ๆ ของรัฐกัว อาจจะมาจากแหล่งขุดเจาะน้ำมันดิบ Bombay High (BH) รวมถึงวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันดิบจากแหล่งอื่น ๆ อีกด้วย คือ Middle East Crude Oil (MECO) และ South East Asian Crude Oil (SEACO) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบโครมาโทแกรม (Chromatograms) ของตัวอย่างทั้งหมดที่วิเคราะห์ด้วย GC-MS ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาของทาร์บอลได้อย่างชัดเจนว่ามาจากแหล่งขุดเจาะน้ำมันดิบแหล่งใด แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย GC-IRMS พบว่าปริมาณ $\delta^{13}C$ ในแหล่งน้ำมันดิบ Bombay High อยู่ที่ -33.05‰ ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{13}C$ ของทาร์บอลอยู่ที่ -28.05‰ ถึง -30.49‰ (ภาพที่ 2-4) จึงสรุปได้ว่าทาร์บอลที่พบตามชายหาดของรัฐกัวไม่ได้มาจากแหล่งน้ำมันดิบ Bombay High แต่มาจากแหล่งน้ำมันดิบ SEACO แสดงให้เห็นว่า GC-IRMS เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบหาแหล่งที่มา น้ำมันดิบ หรือทาร์บอลที่พบในระบบนิเวศ



ภาพที่ 2-4 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงในทาร์บอลและแหล่งขุดเจาะน้ำมันดิบ Bombay High (Suneel et al., 2013)

2.4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Petroleum Products) ที่ตกค้างในระบบนิเวศ

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ได้จากกระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ขึ้นมากมาย สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทเชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมันหล่อลื่น ผลิตภัณฑ์ประเภทยางมะตอย และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ (ปราโมทย์ ไชยเวช และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, 2543) น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้กันมากทั้งในด้านการคมนาคมขนส่ง การเกษตรและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันดีเซล (Diesel) น้ำมันก๊าด (Kerosene) และน้ำมันเตา (Fuel Oils) ซึ่งการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ในน้ำมันปิโตรเลียม ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด โดย Dongwook et al. (2015) ได้ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางเคมี และกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ปนเปื้อนในดินตะกอน พบว่าน้ำมันเบนซินมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C_6 ถึง C_8 แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปมากกว่า 15 วัน สามารถทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหายไปทั้งหมด ส่วนน้ำมันก๊าดมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C_8 ถึง C_{16} เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 วัน สามารถทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหายไปทั้งหมด ยกเว้น C_{14} , C_{15} , C_{16} และน้ำมัน

ดีเซลมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C_8 ถึง C_{27} แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 วัน แต่สารประกอบที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะยังคงอยู่ ($> C_{16}$) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Preethy and Nilanjana (2010) ที่พบว่าน้ำมันดีเซลมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C_9 ถึง C_{26} แต่เมื่อระยะเวลาไปเพียง 10 วัน กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ถึง 95%

2.4.5 ลำดับการกินของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศต่าง ๆ

จากการศึกษาของ Ridzuan, Rawi, Hamid, and Al-Shami (2017) ใช้ไอโซโทปเสถียรในการกำหนดหาความสัมพันธ์ในลำดับการกินอาหาร (Trophic Relationship) ของระบบนิเวศน้ำจืดในแม่น้ำ Belum-Temengor Forest Complex (BTFC) ประเทศมาเลเซีย ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เก่าแก่ มีความอุดมสมบูรณ์ อีกทั้งยังมีความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตสูง ผลการศึกษาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}C$ สำหรับเส้นใยสูงสุดอยู่ที่ $-22.68 \pm 0.12\%$ และ leaf packs มีปริมาณต่ำสุดอยู่ที่ $-31.58 \pm 0.18\%$ ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}N$ ในปลาสูงสุดอยู่ที่ $8.45 \pm 0.17\%$ และปริมาณต่ำสุดคือพรรณไม้ขนาดใหญ่อยู่ที่ $2.00 \pm 1.23\%$ นอกจากนี้พบว่าแม่น้ำ Belum-Temengor สามารถแบ่งลำดับการกินอาหารได้ 3 ระดับชั้น โดยระดับชั้นที่ 1 คือสารอินทรีย์ ระดับชั้นที่ 2 คือกลุ่มของแมลงน้ำ ได้แก่ สโตนฟลาย (Perlidae), แมลงปอ (Gomphidae) ส่วนระดับที่ 3 ได้แก่ ปลาชีวไบไฟ (*Devario regina*) และปลาชีวไบไฟ ยังอยู่ในตำแหน่งการกินสูงสุดอยู่ที่ 2.83 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าเป็นผู้ล่าสูงสุดของห่วงโซ่อาหารในพื้นที่ดังกล่าว

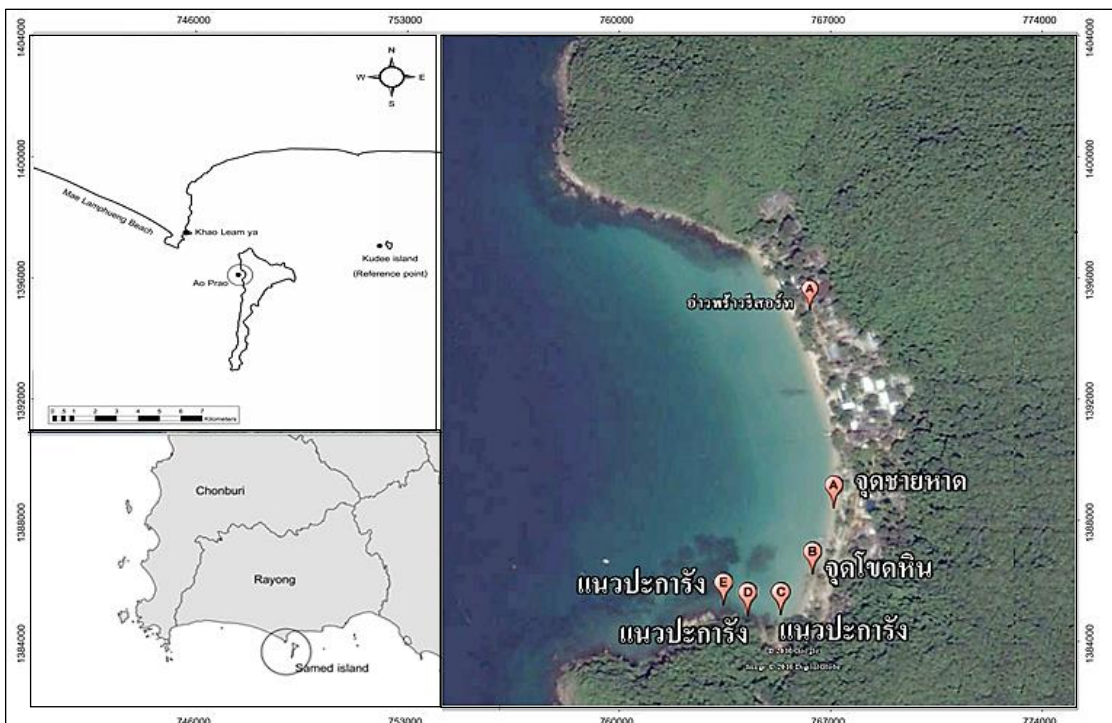
การศึกษาของอลงกต อินทรชาติ, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ และอรรณวุฒิ กันทะวงศ์ (2559) ใช้ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ศึกษาลำดับชั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวประจู่ จังหวัดระยอง พบว่าปริมาณ $\delta^{13}C$ ในกลุ่มสิ่งมีชีวิตมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -23.77 ± 0.07 ถึง $-19.67 \pm 0.73\%$ และปริมาณ $\delta^{15}N$ ในกลุ่มสิ่งมีชีวิตมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.65 ± 0.17 ถึง $12.10 \pm 0.16\%$ ซึ่งเห็นได้ว่าปริมาณ $\delta^{15}N$ ในแพลงก์ตอนพืชต่ำสุดจึงเป็นผู้ผลิตขั้นต้น ส่วนในปูทะเล (*Scylla serrata*) สูงสุดจึงเป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายของการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้สามารถจัดกลุ่มของสิ่งมีชีวิตได้เป็น 2 ลักษณะ โดยแบ่งตามลักษณะของลำดับชั้นในห่วงโซ่อาหารมีทั้งหมด 4 กลุ่ม ประกอบด้วย ผู้ผลิต (Primary Producer) ผู้บริโภคอันดับหนึ่ง (Primary Consumers) ผู้บริโภคอันดับสอง (Secondary Consumers) และผู้บริโภคอันดับสุดท้าย (Tertiary Consumer) เมื่อทำการแบ่งตามลักษณะการกินอาหารมีทั้งหมด 4 กลุ่มประกอบด้วย พวกกินตะกอนอินทรีย์สาร (Depositivorous) พวกกินพืช (Herbivorous) พวกกินสัตว์ขนาดเล็ก (Zooplanktivorous) และพวกผู้ล่า (Predator)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

อ่าวพร้าวตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกของเกาะเสม็ด ซึ่งมีระบบนิเวศหาดทราย โขดหิน รวมถึงแนวปะการัง และเป็นพื้นที่เพียงแห่งเดียวของเกาะเสม็ดที่ได้รับผลกระทบจากน้ำมันดิบจากเหตุการณ์รั่วไหล เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ส่วนพื้นที่เกาะกูดี้เป็นเกาะขนาดเล็กไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของเกาะเสม็ด บริเวณโดยรอบของเกาะมีแนวปะการังน้ำตื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ และเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล การศึกษาครั้งนี้จึงใช้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่อ้างอิง (ภาพที่ 3-1)



ภาพที่ 3-1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างจากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูดี้ (พื้นที่อ้างอิง) จังหวัดระยอง

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลจุดเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

Station	Latitude	Longitude
A	N 12°34'14.18"	101°26'54.86
B	N 12°34'15.18"	101°26'56.34
C	N 12°34'12.04"	101°26'57.36
D	N 12°34'8.77"	101°26'57.61
E	N 12°34'5.68"	101°26'56.57

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะกูด จังหวัดระยอง (พื้นที่อ้างอิง)

Station	Latitude	Longitude
A	N 12°35'1.80"	101°30'31.43"

3.2 การเก็บตัวอย่างในภาคสนาม

3.2.1 ตัวอย่างน้ำมันดิบและทาร์บอล

เก็บตัวอย่างน้ำมันดิบเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ที่มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 โดยทำการเก็บใส่ขวดแก้วดูแรน (Duran) ในขณะที่ตัวอย่างทาร์บอลที่พบอยู่บนหาดทราย หาดหินในบริเวณอ่าวพร้าว นำมาห่อหุ้มด้วยฟอยล์ แล้วใส่ลงถุงซิปล็อก หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

3.2.2 ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

ตัวอย่างเนื้อเยื่อแช่แข็งของสิ่งมีชีวิตเป็นตัวอย่างที่ถูกเก็บมาจากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่คาดว่าได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลที่ผ่านมาประมาณ 2 ปี 6 เดือน (ภาพที่ 3-1) และตัวอย่างเนื้อเยื่อแช่แข็งจากเกาะกูดที่ใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง ซึ่งได้ถูกเก็บเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำขึ้น-น้ำลง และแนวปะการังในเขตน้ำตื้นที่ระดับความลึก 1-3 เมตร

3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ อธิบายโดยสังเขปดังนี้

3.3.1 วิธีการสกัดแยกส่วน (Fractionation) ในตัวอย่างน้ำมันดิบและทาร์บอล

วิธีการสกัดแยกส่วนเพื่อแยกสารที่ต้องการออกจากตัวอย่างน้ำมันดิบ ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี ตามวิธีของ Wang et al. (2013) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เตรียมซิลิกาเจล (Silica Gel) สำหรับบรรจุลงคอลัมน์ โดยอบซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บในโถดูดความชื้น (Desiccator) ก่อนบรรจุลงคอลัมน์ เติมเฮกเซนลงไปลงในซิลิกาเจลให้อยู่ในลักษณะขุ่นหนืด (Slurry)

2) เตรียมคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้คอลัมน์แก้วที่มีวาล์วปิด-เปิด และปิดปลายคอลัมน์ส่วนล่างด้วยใยแก้วที่ทำความสะอาดด้วยเฮกเซนแล้ว เติมซิลิกาเจลในเฮกเซนที่เตรียมจากข้อที่ 1 ลงในคอลัมน์ แล้วชะด้วยเฮกเซน (ปริมาตรไม่ต่ำกว่าปริมาตรของเฮกเซนที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์) ไหลผ่านซิลิกาเจล โดยต้องระวังอย่าให้คอลัมน์แห้ง โดยให้ระดับของเฮกเซนต้องอยู่เหนือระดับของซิลิกาเจลเสมอหลังจากนั้นปล่อยเฮกเซนที่เหลืออยู่เหนือซิลิกาเจลทิ้ง แล้วเก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์

3) เมื่อสารละลายไหลผ่านคอลัมน์จนใกล้หมด ให้ชะคอลัมน์ด้วยเฮกเซนอีกครั้ง 15 mL โดยปรับอัตราการไหลให้อยู่ที่ 1 หยด ต่อ 1 วินาที รอจนสารละลายเกือบถึงแนวซิลิกาเจล จึงเติมสารละลายผสมระหว่าง Hexane: Dichloromethane (1:3, v/v) เพื่อชะสารประกอบ alkanes แล้วเก็บสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ โดยจะทำการเก็บสารที่ออกมาแยกเป็นหลอด ๆ เก็บหลอดละประมาณ 5 mL จากนั้นก็นำสารในหลอดต่าง ๆ ไปทดสอบคุณสมบัติของสาร ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบผิวบาง (Thin Layer Chromatography, TLC) ดังนี้

3.1) นำสารที่ได้ออกมาจากแต่ละหลอดมาแต้ม (Spotting) ลงบนแผ่น TLC สำเร็จรูป โดยให้ห่างจากปลายด้านล่างขึ้นมาประมาณ 1 cm แล้วนำแผ่นดังกล่าวไปจุ่มลงบีกเกอร์ที่มีตัวทำละลาย Hexane: Dichloromethane (1:3, v/v) แล้วปิดด้วยกระจกนาฬิกา (ภาพที่ 3-2)

3.2) สังเกตรอยเปื้อนของตัวทำละลายที่ซึมขึ้นด้านบนของแผ่น TLC จากนั้นนำแผ่น TLC มาส่องภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm

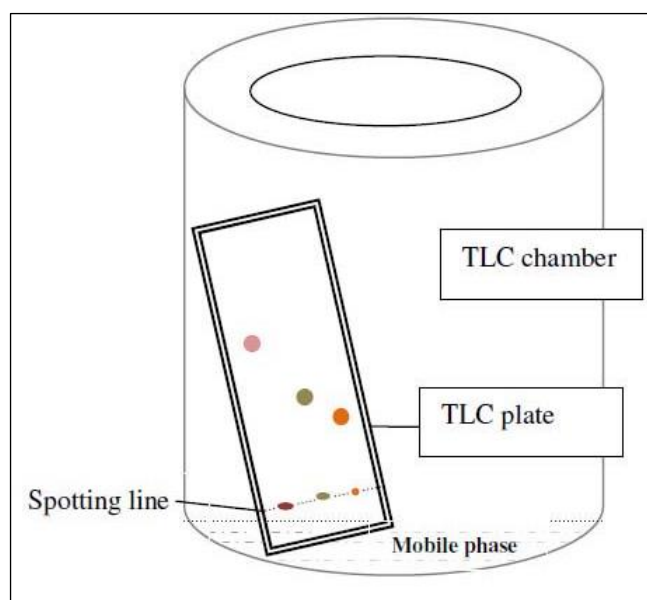
4) นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3 ไปปรับปริมาตรให้เหลือ 2 mL ด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สูญญากาศ (Rotary Evaporator) จากนั้นเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนจนสารละลายแห้ง

5) เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบ alkanes ด้วย Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต ในสถานะของเครื่องดังตารางที่ 3-3 และวิเคราะห์สารประกอบที่

เฉพาะเจาะจงด้วย Gas Chromatography-Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-IRMS) ที่
 สาธารณรัฐประเทศจีน

3.3.2 ตัวอย่างเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตสำหรับการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ดังนี้

ดำเนินการตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Almeda et al. (2013) และ Shin and Lim (2011) โดยเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตถูกทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freezed Dryer) จากนั้นเติมน้ำทะเลเทียมลงไป 20 mL และทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizer) จากนั้นทำลายเนื้อเยื่อด้วยการสั่นสะเทือนของคลื่นอัลตราโซนิค (Sonication) ใน ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที และนำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อเร่งให้ตกตะกอน (Centrifuge) 45 นาที และดูดชั้นอินทรีย์ด้านบนที่เป็นส่วนใสออก 10 mL จากนั้นเติมสารสกัด Methanol: Dichloromethane (3:7, v/v) 800 ไมโครลิตรเพื่อให้เกิดก้อนไขมัน นำไประเหยให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน เก็บตัวอย่างไว้ในขวดแก้วขนาดเล็ก เพื่อนำไปวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบ alkanes ด้วย GC-MS ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต ในสภาวะของเครื่องดังตารางที่ 3-3



ภาพที่ 3-2 วิธีทีนเลเยอร์โครมาโตกราฟี (Bhem, 2015)

3.3.3 ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตสำหรับการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร

ดำเนินการตามวิธีของ Boonpakdee and Sichan (2013) ตัวอย่างเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตถูกทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งและบดละเอียด จากนั้นสกัดไขมันโดยเติมตัวทำละลายที่ Chloroform: Methanol (2:1, v/v) ลงในตัวอย่างแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนตัวอย่างแห้ง และชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1.5 มิลลิกรัม บรรจุลงใน Tin capsule เพื่อนำไป

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Isotope-Ratio Mass Spectrometry (IRMS) ที่ Cornell University ประเทศสหรัฐอเมริกา ในสภาวะของเครื่องดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC-MS

Instrument	: รุ่น GC 7890A , 5975 C MSD inert XL EI/CI MSD with Triple-Axis Detector; Agilent Technologies
Column	: Mega-5MS (30m x 0.25 mm; 0.25 μ m film thickness) Capillary column
Inject volume	: 1 mL
Carrier gas	: Helium
Flow	: 1.0 mL/min
Injector temperature	: 230 $^{\circ}$ C
Detector	: 300 $^{\circ}$ C
EI mode	: 70 eV
Mass range	: 40 -900 amu
Temperature program	: 70 $^{\circ}$ C for 2 min, raised to 150 $^{\circ}$ C at 30 $^{\circ}$ C/min and raised to 310 $^{\circ}$ C at 4 $^{\circ}$ C/min and hold 15 min

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

วิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ด้วยเครื่อง Isotope-Ratio Mass Spectrometry รุ่น NC 2500 โดยทำการส่งวิเคราะห์ที่ Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะแสดงผลด้วยเคลต้า (δ) หน่วยส่วนในพันส่วน (Per mil, ‰) เป็นความสัมพันธ์ของความแตกต่างระหว่างปริมาณไอโซโทปเสถียรของตัวอย่างกับสารมาตรฐาน โดย $\delta^{13}\text{C}$ ใช้สารมาตรฐาน Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) และ $\delta^{15}\text{N}$ ใช้ไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งนำมาวิเคราะห์ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\delta X (\%) = [(R_{\text{Sample}} / R_{\text{Standard}}) - 1] \times 1000$$

เมื่อ X = ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C) และไนโตรเจน (^{15}N)
 R_{Sample} = ปริมาณสัดส่วน ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) ในสารตัวอย่าง
 R_{Standard} = ปริมาณสัดส่วน ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) ในสารมาตรฐาน
 ค่าความคลาดเคลื่อน $\delta^{13}\text{C} = 0.21\%$ และ $\delta^{15}\text{N} = 1.2\%$

3.5 การวิเคราะห์ตำแหน่งการกิน (Trophic Position)

ในการประเมินลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารในแต่ละสถานที่ใช้สมการต่อไปนี้ในการคำนวณ (Rumolo et al., 2016)

$$\text{TP} = \text{TL}_{\text{Base}} + (\delta^{15}\text{N}_{\text{Consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Prey}}) / \Delta\delta^{15}\text{N}$$

เมื่อ TP = ตำแหน่งของผู้บริโภค
 $\delta^{15}\text{N}_{\text{Consumer}}$ และ $\delta^{15}\text{N}_{\text{Prey}}$ = ปริมาณไอโซโทปของไนโตรเจน
 $\Delta\delta^{15}\text{N}$ = เป็นค่า Trophic Enrichment Factor (TEF) ของการศึกษา 2.5‰ (Vanderklift & Ponsard, 2003; Riera & Richard, 1996)
 TL_{Base} = Basic Trophic Level ($\text{TL}_{\text{base}} = 1$)

3.6 การวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบที่เฉพาะเจาะจง (Compound Specific Isotope $\delta^{13}\text{C}$ Analysis)

วิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบที่เฉพาะเจาะจง (n-alkane) ในน้ำมันดิบและพาร์บอิลด้วย Gas Chromatography-Isotope Ratio Mass Spectrometry (GC-IRMS) ที่ Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences สาธารณรัฐประชาชนจีน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ตัวอย่างกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบได้ถูกเก็บมาจากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่คาดว่าได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 รวมถึงตัวอย่างทาร์บอล และตัวอย่างสิ่งมีชีวิตจากเกาะกูดที่ใช้เป็นพื้นที่อ้างอิง

4.1 ลักษณะกลุ่มสิ่งมีชีวิตและทาร์บอล

4.1.1 กลุ่มครัสเตเชียน (Crustaceans)

ชนิดที่พบ ได้แก่ ปูใบ้ดำ (*T. crenata*) และปูหิน (*E. sebana*) โดยพบปูใบ้ดำในบริเวณพื้นทราย และเกาะอยู่ตามโขดหิน ส่วนปูหินพบอยู่ตามหาดทราย ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่กล่าวมาข้างต้นถูกพบในตอนกลางคืน เนื่องจากมีการออกมาหาอาหาร และในช่วงกลางวันจะหลบภัยอยู่ตามแนวปะการัง หรือรอยแยกของโขดหิน

4.1.2 กลุ่มแกสโตรโพดา (Gastropods)

เป็นกลุ่มหอยทะเลฝาเดียว ซึ่งชนิดที่พบ ได้แก่ หอยดาวัว (*T. bruneus*), หอยนมสาว (*T. maculata*), หอยงวงเวียน (*A. Delphinus*) หอยลูกข่างใหญ่ (*T. pyramis*) หอยลูกข่างจิ๋ว (*M. labio*) และหอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าหอยทะเลฝาเดียวมีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งลักษณะเป็นเกลียว รูปกรวยคว่ำหรือแบน และมีฝาเปิด (Operculum) ได้เปลือก โดยพบอาศัยอยู่ในเขตน้ำขึ้นน้ำลง ในบริเวณแนวโขดหินหรือตามปะการัง

4.1.3 กลุ่มไบวาเลเวีย (Bivalves)

เป็นกลุ่มหอยทะเลสองฝา ซึ่งชนิดที่พบส่วนใหญ่มีรูปร่างลักษณะคล้ายรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมู และมีขนาดใหญ่ โดยหอยทะเลสองฝาที่พบมีการดำรงชีวิต 2 แบบ คือ ฝังตัวอยู่ตามบริเวณพื้นทราย เช่น หอยแครงลาย (*A. ventricosa*) หอยจอบ (*P. bicolor*) หอยมือเสือ (*T. crocea*) เป็นต้น และอาศัยอยู่บนพื้นแข็งต่าง ๆ เช่น ตามรอยแยกของหินหรือตามแนวปะการัง โดยยึดหรือเชื่อมฝาหอยด้านหนึ่งติดอยู่กับก้อนหินตามบริเวณระดับน้ำขึ้นน้ำลง เช่น หอยครก (*Chama* sp.) หอยนางรมหนาม (*Spondylus* sp.) หอยนางรม (*S. commercialis*) เป็นต้น นอกจากนี้เปลือกของหอยสองฝาที่พบนั้นไม่สามารถจำแนกชนิดได้อย่างชัดเจน เนื่องจากถูกหินปูนเคลือบเกาะเป็นแผ่นหนา และบางชนิดจะมีขนปกคลุมคล้ายกำมะหยี่สีน้ำตาล

4.1.4 กลุ่มเอคไคโนเดิร์ม (Echinoderm)

ชนิดที่พบ ได้แก่ ปลิงทะเล (*H. atra*) โดยพบปลิงทะเลอาศัยอยู่ตามพื้นทราย มีขนาดลำตัวกลมยาว คล้ายไส้กรอกขนาดใหญ่ ผิวหนังส่วนนอกคล้ายเนื้อยืดหยุ่นได้ ซึ่งพบในระดับความลึก 0-20 เมตร หรือเขตน้ำขึ้น-น้ำลง และมีการกระจายทั่วไปอยู่ตามพื้นของแนวปะการัง

4.1.5 กลุ่มสัตว์ทะเลหน้าดินขนาดเล็ก (Marine Benthos)

จากการศึกษาครั้งนี้เมื่อได้ทำการขุดทรายที่มีความลึก 5-10 เมตร ไม่พบสัตว์ทะเลหน้าดิน เช่น ไส้เดือนทะเล (Polychaetes) เพรียงทราย (Sand Worm) และหนอนท่อ (Keelworm) เป็นต้น และยังพบว่าเม็ดทรายมีสีดำคล้ำ และส่งกลิ่นรุนแรง

4.1.6 ทาร์บอล (Tar balls)

ลักษณะทาร์บอลที่พบ เป็นก้อนน้ำมันสีดำ เหนียวเหนียวคล้ายขี้ผึ้ง ซึ่งจะพบอยู่ตามพื้นทราย และตามแนวโขดหิน ก้อนทาร์บอลที่พบมีขนาดประมาณ 10 เซนติเมตร

4.2 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ Crustaceans 2 ชนิด Gastropods 6 ชนิด Bivalves 9 ชนิด Echinoderm 1 ชนิด และกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้น (ตารางที่ 4-1) โดยพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในกลุ่ม Crustaceans อยู่ในช่วง -13.3 ถึง -12.98‰, กลุ่ม Gastropods อยู่ในช่วง -15.03 ถึง -11.62‰, กลุ่ม Bivalves อยู่ในช่วง -17.69 ถึง -11.68‰, กลุ่ม Echinoderm อยู่ในช่วง -10.84 ถึง -9.65‰ และกลุ่มผู้ผลิตอยู่ในช่วง -22.65 ถึง -21.89‰ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4-1 ในขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในกลุ่ม Crustaceans อยู่ในช่วง 8.63 ถึง 8.9‰, กลุ่ม Gastropods อยู่ในช่วง 3.09 ถึง 9.37‰, กลุ่ม Bivalves อยู่ในช่วง 4.46 ถึง 7.42‰, กลุ่ม Echinoderm อยู่ในช่วง 3.91 ถึง 4.85‰ และกลุ่มผู้ผลิตอยู่ในช่วง 1.93 ถึง 5.09‰ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4-1

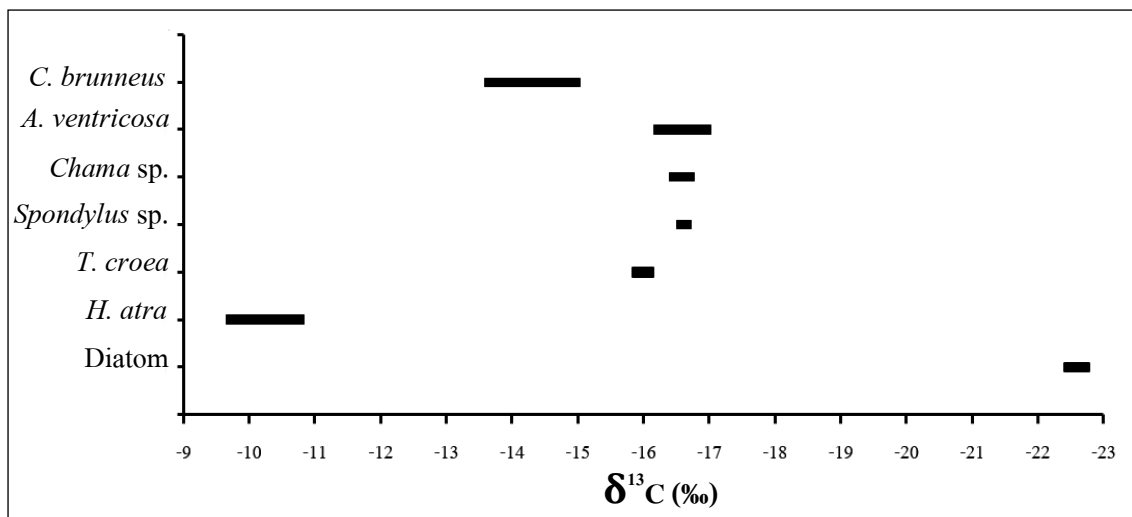
เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแพลงก์ตอนพืชต่ำสุดอยู่ที่ $-22.65 \pm 0.6\%$ และปลิงทะเลสูงสุดอยู่ที่ $-10.24 \pm 0.56\%$ (ภาพที่ 4-1) ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสาหร่ายหน้าดินต่ำสุดอยู่ที่ 1.93‰ และหอยสังข์หนามสูงสุดอยู่ที่ $9.22 \pm 0.25\%$ (ภาพที่ 4-2)

4.3 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตบริเวณเกาะกูด จังหวัดระยอง (พื้นที่อ่างอิง)

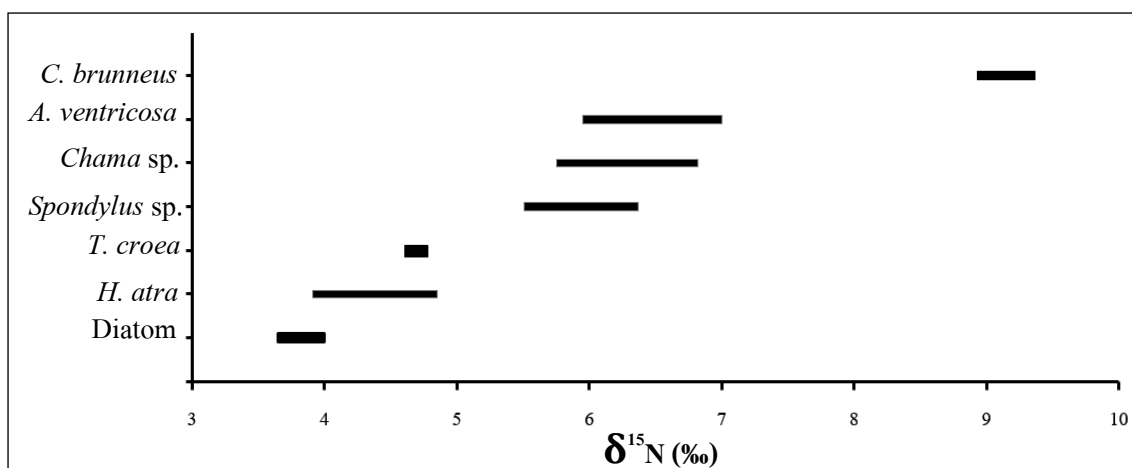
ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ กลุ่ม Gastropods 1 ชนิด Bivalves 2 ชนิด Echinoderm 1 ชนิด และกลุ่มผู้ผลิตขั้นต้น (ตารางที่ 4-1) โดยพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในกลุ่ม Gastropods (หอยตาวั) อยู่ที่ -16.21‰ และ 5.32‰, กลุ่ม Bivalves (หอยครกและหอยแครงลาย) อยู่ในช่วง -17.03 ถึง -16.83‰ และ 5.98 ถึง 6.39‰, กลุ่ม Echinoderm (ปลิงทะเล) อยู่

ที่ -23.82% และ 6.95% นอกจากนี้ปริมาณของ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในกลุ่มผู้ผลิต (แพลงก์ตอนพืช) อยู่ที่ -23.82% และ 3.95% ซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4-1

เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแพลงก์ตอนพืชต่ำสุดอยู่ที่ -23.82% และปลิงทะเลสูงสุดอยู่ที่ -10.92% เช่นเดียวกับในบริเวณอ่าวพร้าว ส่วนปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของแพลงก์ตอนพืชต่ำสุดอยู่ที่ 3.95% และปลิงทะเลสูงสุดอยู่ที่ 6.95% (ตารางที่ 4-1)



ภาพที่ 4-1 ช่วงปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสิ่งมีชีวิตบางชนิดในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง



ภาพที่ 4-2 ช่วงปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของสิ่งมีชีวิตบางชนิดในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

ตารางที่ 4-1 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด (พื้นที่อ่างอิง) จังหวัดระยอง

ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต	อ่าวพร้าว			เกาะกูด (พื้นที่อ่างอิง)		
	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Crustaceans						
ปูหิน (<i>Thalamita crenata</i>)	1	-13.3	8.9	-	-	-
ปูใบเต้าดำ (<i>Eriphia sebana</i>)	1	-12.98	8.63	-	-	-
Gastropods						
หอยกงเกวียน (<i>Angaria delphinus</i>)	1	-12.35	3.09	-	-	-
หอยลูกข่างใหญ่ (<i>Tectus pyramis</i>)	1	-11.97	4.83	-	-	-
หอยลูกข่างจิ๋ว (<i>Monodonta labio</i>)	3	-13.83 ± 0.39	3.5 ± 0.15	-	-	-
หอยสังข์หนาม (<i>Chicoreus brunneus</i>)	3	-14.08 ± 0.83	9.22 ± 0.25	-	-	-
หอยนมสาว (<i>Turcica maculata</i>)	2	-11.62 ± 0.00	5.12 ± 0.01	-	-	-
หอยตาวัว (<i>Turbo bruneus</i>)	3	-13.5 ± 0.89	3.96 ± 1.22	1	-16.21	5.32
Bivalves						
หอยมือเสือ (<i>Tridacna crocea</i>)	1	-16.12	4.61	-	-	-
หอยมือเสือเล็บขาว (<i>Tridacna squamosa</i>)	1	-15.9	4.46	-	-	-

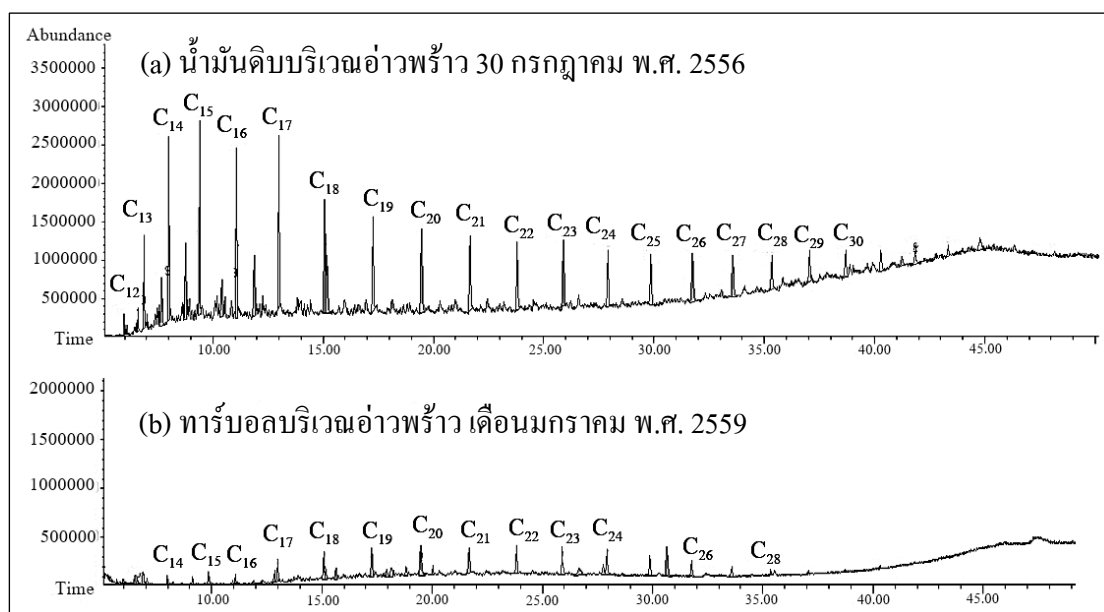
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต	อ่าวพร้าว			เกาะกฐิติ (พื้นที่อ้างอิง)		
	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Bivalves						
หอยหวาน (<i>Asaphis violascens</i>)	1	-16.76	4.55	-	-	-
หอยจอบ (<i>Pinna bicolor</i>)	1	-17.69	5.6	-	-	-
หอยแครงลาย (<i>Arca ventricosa</i>)	3	-16.6 ± 0.43	6.31 ± 0.54	3	-17.23 ± 0.23	6.1 ± 0.10
หอยแครงลาย (<i>Barbatia foliate</i>)	3	-15.88 ± 0.89	6.41 ± 0.21	-	-	-
หอยนางรมหนาม (<i>Spondylus</i> sp.)	3	-16.65 ± 0.12	6.21 ± 0.45	-	-	-
หอยครก (<i>Chama</i> sp.)	3	-16.63 ± 0.20	5.87 ± 0.55	1	-16.28	6.39
หอยนางรม (<i>Saccostrea commercialis</i>)	3	-14.53 ± 2.49	6.14 ± 1.13	-	-	-
Echinodermata						
ปลิง (<i>Holothuria atra</i>)	2	-10.24 ± 0.84	4.38 ± 0.66	1	-10.92	6.95
กลุ่มผู้ผลิต (Producer)						
Phytoplankton (ไดอะตอม)	3	-22.65 ± 0.6	3.63 ± 0.18	1	-23.82	3.95
Copepod	1	-22.42	5.09	-	-	-
สาหร่ายหน้าดิน (Benthic algae)	1	-21.89	1.93	-	-	-

4.4 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบและทาร์บอล

4.4.1 n-alkanes distribution

การวิเคราะห์สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนด้วย GC-MS ในตัวอย่างน้ำมันดิบที่เก็บจากอ่าวพร้าวในวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 พบว่ามีสารประกอบ n-alkanes ตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{30} (ตารางที่ 4-2) โดยพบ C_{14} กับ C_{15} มากที่สุด (ภาพที่ 4-3a) ส่วนตัวอย่างทาร์บอลที่เก็บจากบ่อตามชายหาดและโขดหิน จากบริเวณอ่าวพร้าวในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ไม่พบสารประกอบ n-alkanes ที่ต่ำกว่า C_{13} และ C_{25} , C_{27} , C_{29} และ C_{30} (ภาพที่ 4-3b) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบโครมาโทแกรมระหว่างทาร์บอลกับน้ำมันดิบที่มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล พบว่าโครมาโทแกรมของทาร์บอลมีความคล้ายคลึงกันกับโครมาโทแกรมของน้ำมันดิบ ดังแสดงในภาพที่ 4-3a และ b



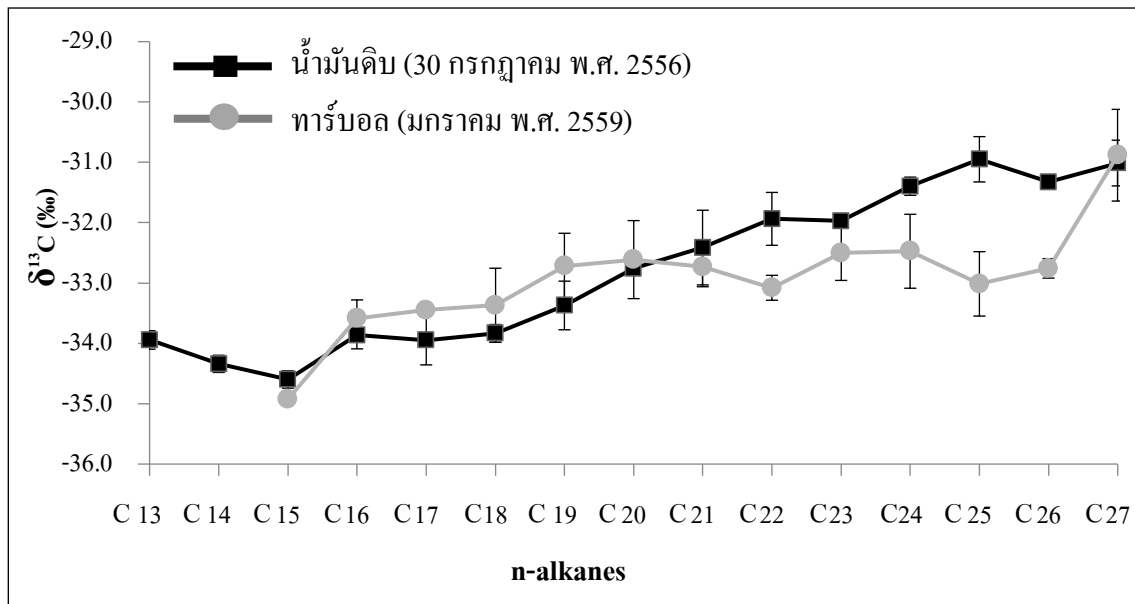
ภาพที่ 4-3 โครมาโทแกรมของสารประกอบ n-alkanes ในน้ำมันดิบ (a) และทาร์บอล (b) จากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

ตารางที่ 4-2 สารประกอบ n-alkane ในน้ำมันดิบและทาร์บอล บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด
จังหวัดระยอง

Molecular formula	Name of alkanes (n-alkane)
$C_{13}H_{28}$	Tridecane
$C_{14}H_{30}$	Tetradecane
$C_{15}H_{32}$	Pentadecane
$C_{16}H_{34}$	Hexadecane
$C_{17}H_{36}$	Heptadecane
$C_{18}H_{38}$	Octadecane
$C_{19}H_{40}$	Nonadecane
$C_{20}H_{42}$	Eicosane
$C_{21}H_{44}$	Heneicosane
$C_{22}H_{46}$	Docosane
$C_{23}H_{48}$	Tricosane
$C_{24}H_{50}$	Tetracosane
$C_{25}H_{52}$	Pentacosane
$C_{26}H_{54}$	Heptacosane
$C_{27}H_{56}$	Tetradecane
$C_{28}H_{58}$	Octacosane
$C_{29}H_{60}$	Nonacosane
$C_{30}H_{62}$	triacontane

4.5 สารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงของ $\delta^{13}C$ ในน้ำมันดิบและทาร์บอล

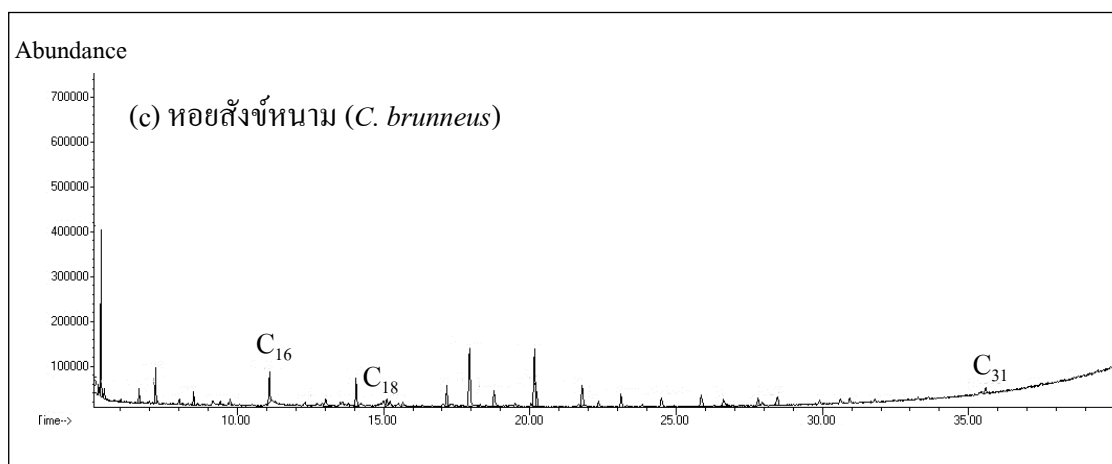
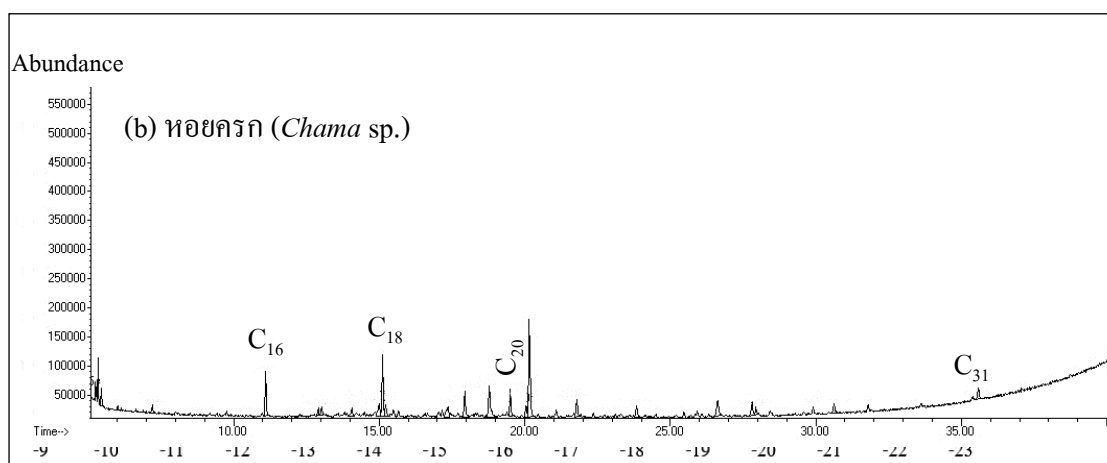
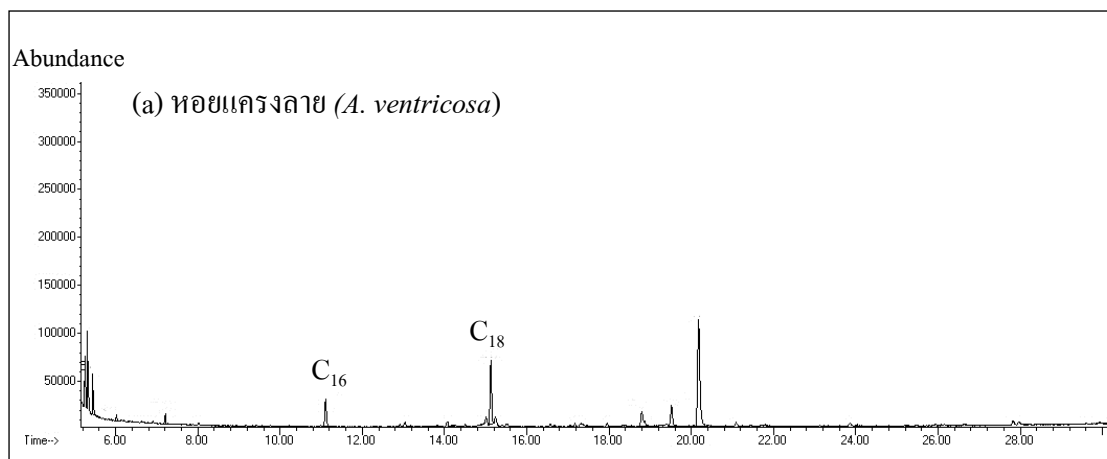
จากผลการวิเคราะห์สารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงของ $\delta^{13}C$ ด้วย GC-IRMS แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำมันดิบมีสารประกอบ n-alkanes ตั้งแต่ C_{13} ถึง C_{27} และในตัวอย่างทาร์บอลมีสารประกอบ n-alkanes ตั้งแต่ C_{15} ถึง C_{27} (ภาพที่ 4-4) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ย $\delta^{13}C$ ของสารประกอบ n-alkanes ในตัวอย่างน้ำมันดิบอยู่ในช่วง -34.6 ถึง -30.9‰ ขณะที่ในตัวอย่างทาร์บอลอยู่ในช่วง -34.9 ถึง -30.9‰ (ภาพที่ 4-4)



ภาพที่ 4-4 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ของสารประกอบ n-alkanes ที่เฉพาะเจาะจงในน้ำมันดิบและทาร์บอล

4.6 การเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว จังหวัดระยอง

การศึกษานี้ได้ตรวจสอบการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิต ซึ่งคาดว่าสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจะสะสมหรือถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต โดยเลือกตรวจสอบในหอยครก (*Chama* sp.) และหอยแครงลาย (*A. ventricosa*) เนื่องจากเป็นผู้บริโภครำดับที่หนึ่ง และหอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) ที่เป็นผู้บริโภครำดับที่ 2 ซึ่งอยู่สูงสุดในห่วงโซ่อาหารของการศึกษานี้ จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่ามีสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในหอยแครงลาย (ภาพที่ 4-5a) หอยครก (ภาพที่ 4-5b) และหอยสังข์หนาม (ภาพที่ 4-5c)



ภาพที่ 4-5 โครมาโทแกรมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างสิ่งมีชีวิต
หอยแครงลาย (a) หอยครก (b) หอยสังข์หนาม (c) บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด
จังหวัดระยอง

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

5.1 ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด (พื้นที่อ้างอิง) จังหวัดระยอง

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแพลงก์ตอนพืชบริเวณอ่าวพร้าว และเกาะกูดต่ำสุดอยู่ที่ $-22.65 \pm 0.6\%$ และ -23.82% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้นในพื้นที่ดังกล่าว ส่วนปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในปลิงทะเลบริเวณอ่าวพร้าวและเกาะกูด สูงสุดอยู่ที่ $-10.24 \pm 0.56\%$ และ -10.92% ตามลำดับ (ตารางที่ 4-1) เนื่องจากผนังลำตัวของปลิงทะเลมีสารประกอบที่เป็นหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) (Satoshi, Masashi, Joemel, & Maria, 2013) นอกจากนี้ปริมาณในสาหร่ายหน้าดินต่ำสุดอยู่ที่ 1.93% และปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในหอยสังข์หนามสูงสุดอยู่ที่ $9.22 \pm 0.25\%$ (ตารางที่ 4-1) แสดงให้เห็นว่าหอยสังข์หนามเป็นผู้ล่าสูงสุดของการศึกษารั้งนี้ ขณะที่บริเวณเกาะกูดพบว่าปลิงทะเลมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ สูงสุดอยู่ที่ 6.95% (ตารางที่ 4-1)

5.2 การใช้ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ในการแบ่งลำดับการกินตามห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต

ปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{15}\text{N}$ ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการศึกษาสายใยอาหารเพื่อหาความเชื่อมโยงเบื้องต้นในการจัดกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความสัมพันธ์กัน (Fry & Sherr, 1984; Post, 2002) โดยปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ จะเพิ่มขึ้นประมาณ 1% ต่อระดับขั้นการกินอาหาร สามารถใช้บ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของสารอินทรีย์คาร์บอนในสิ่งมีชีวิต ขณะที่ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ เพิ่มขึ้นโดยประมาณ 2.5% ใช้บ่งชี้ลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต (Riera & Richard, 1996; Arribas, Díaz-Paniagua, Caut, & Gomez-Mestre, 2015) และบอกถึงความหลากหลายในการกินอาหารของสิ่งมีชีวิต (Cresson, Ruitton, & Harmelin-Vivien, 2014; Dromard, Bouchon-Navaro, Harmelin-Vivien, & Bouchon, 2015) เมื่อนำสิ่งมีชีวิตมาหาความสัมพันธ์โดยใช้ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของสิ่งมีชีวิต เช่น พฤติกรรมการกินอาหาร การดำรงชีวิต และศึกษาจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ สามารถจัดแบ่งตามลักษณะการกินอาหารได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ดังนี้ 1. พวกกินตะกอนอินทรีย์สาร (*Depositivores*) ได้แก่ สัตว์หน้าดินจำพวกปลิงทะเล 2. พวกกรองกิน (*Filter-Feeders*) ได้แก่ กลุ่มหอยสองฝา เช่น หอย

มือเสือ (*T. crocea*) หอยครก (*Chama* sp.) และหอยนางรมหนาม (*Spondylus* sp.) เป็นต้น 3. พวก
ขูดแทะ (*Scrapper/Herbivorous*) ได้แก่ กลุ่มหอยฝาเดียว และ 4. ผู้ล่า (*Predator*) ได้แก่ หอยสังข์หนาม
(*C. brunneus*) (ตารางที่ 5-1)

ตารางที่ 5-1 การจำแนกประเภทการกินอาหารในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว
เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

Species/FFG	Functional feeding groups (FFG)				อ้างอิง
	Depositores	Filter- Feeders	Scarper/ Herbivorous	Predator/ Carnivore	
หอยกงเกวียน (<i>A. delphinus</i>)			✓		Swennen et al. (2001)
หอยลูกข้างจิว (<i>M. labio</i>)			✓		Swennen et al. (2001)
หอยสังข์หนาม (<i>C. brunneus</i>)				✓	Tan and Oh (2000)
หอยตาวัว (<i>T. bruneus</i>)			✓		Tan and Tan (2014)
หอยมือเสือ (<i>T. crocea</i>)			✓		Mei et al. (2015)
หอยแครงลาย (<i>A. ventricosa</i>)		✓			Oliver and Holmes (2006)
หอยนางรมหนาม (<i>Spondylus</i> sp.)		✓			Oliver and Holmes (2006)
หอยครก (<i>Chama</i> sp.)		✓			Oliver and Holmes (2006)
ปลิงทะเล (<i>H. atra</i>)	✓				Yanagisawa (1998)

จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากสิ่งมีชีวิตไม่ได้รับสารอาหารจากแหล่งเดียว แต่เป็นการรวมกันของแหล่งอาหารจากหลาย ๆ แหล่ง (Cherel, Fontaine, Richard, & Labat, 2010) จึงไม่สามารถนำปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ มาใช้ในการบ่งชี้แหล่งที่มาของอินทรีย์คาร์บอนในสิ่งมีชีวิต (ภาพที่ 4-1) แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในสิ่งมีชีวิตพบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับการกินในห่วงโซ่อาหาร อยู่ที่ประมาณ 2.5‰ ต่อระดับขั้นการกินอาหาร (ภาพที่ 4-2) ดังนั้น จึงสามารถแบ่งลำดับการกินได้ 3 ระดับขั้นอาหาร (ภาพที่ 5-1) ดังนี้ ระดับที่ 1 คือ กลุ่มผู้ผลิตปฐมภูมิ (Primary Producer) ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช (ไดอะตอม) และสาหร่ายหน้าดิน ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ในช่วง 0 ถึง 4‰ เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สร้างอาหารได้เอง (Autotrophic Organism) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีหลายการศึกษาที่ได้ระบุว่า แพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตขั้นต้น และมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบนิเวศ อีกทั้งยังเป็นแหล่งอาหารหลักของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดในห่วงโซ่อาหาร (Bouillion et al., 2000; Persic, Roche, & Ramade, 2004)

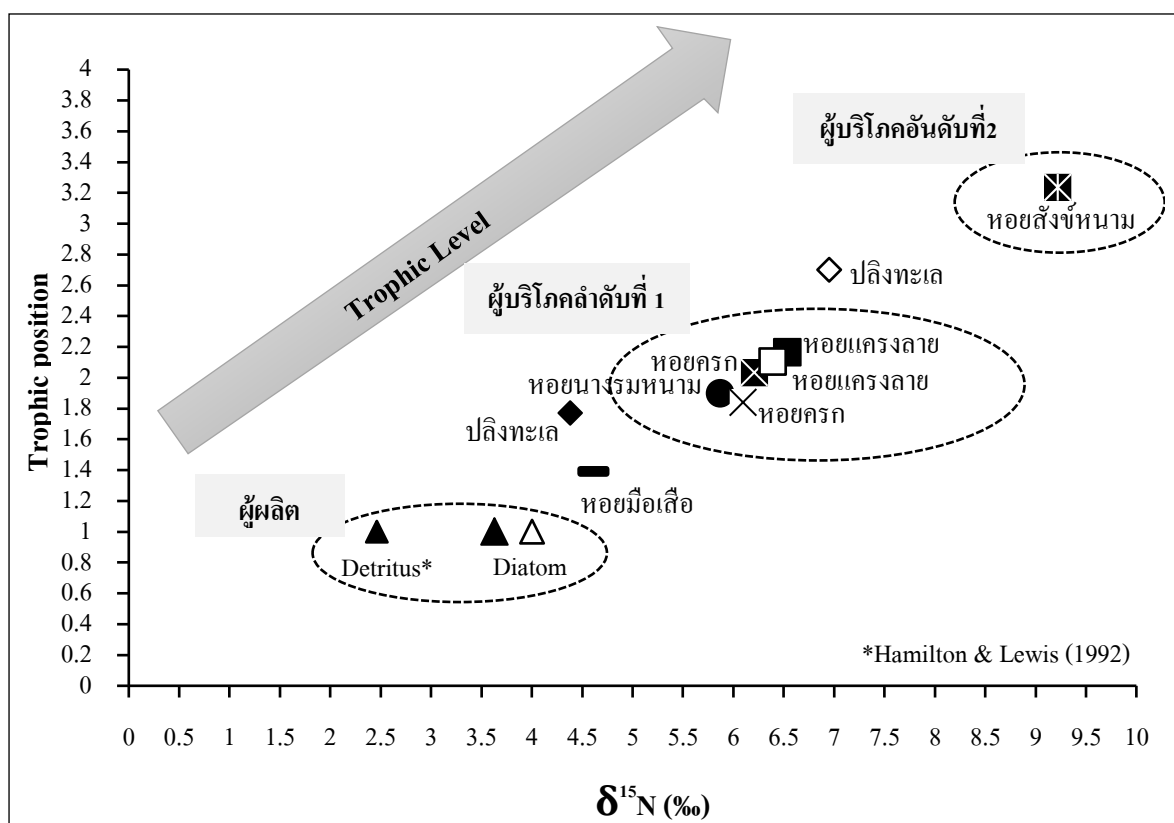
ระดับที่ 2 คือ ผู้บริโภคลำดับที่หนึ่ง (Primary Consumer) เป็นกลุ่มหอยสองฝา ได้แก่ หอยแครงลาย (*A. ventricosa*) หอยครก (*Chama* sp.) และหอยนางรมหนาม (*Spondylus* sp.) เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ อยู่ในช่วง 5 ถึง 7‰ โดยพบว่ากลุ่มหอยสองฝาบริเวณอ่าวพร้าวและเกาะกูดี้ มีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 5-1) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตกลุ่มหอยสองฝา มีลักษณะการกินอาหารแบบกรองกินผ่านเหงือก อาหารส่วนใหญ่คือสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็ก อนุภาคเล็ก ๆ ของซากพืชซากสัตว์ แบคทีเรีย และอนุภาคแขวนลอยในน้ำ หรือกรองกินตะกอนตามผิวทราย โดยใช้เท้าเคลื่อนที่เพื่อหาอาหาร (Piola, Moore, & Suthere, 2006) ทั้งนี้ แพลงก์ตอนพืช เช่น ไดอะตอม (Diatom) และคีโตเซอร์รอส (*Chaetoceros* sp.) จัดได้ว่าเป็นอาหารหลักของหอยสองฝา (Brown, Jeffery, & Gerland, 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภริณี เมืองเดช (2544) พบว่ากระเพาะอาหารของหอยแครงที่เพาะเลี้ยงใกล้กับพื้นที่ป่าชายเลน ประกอบไปด้วยแพลงก์ตอนพืช (*Chlorella* sp.) และจำพวกเศษซากพืชซากสัตว์ (Detritus) ที่กำลังย่อยสลายมีลักษณะค่อนข้างละเอียดจึงไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นพืชหรือสัตว์ชนิดใด แต่การศึกษาของ Kasai and Nakata (2005) พบว่าแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในหอยสองฝาบริเวณปากแม่น้ำคุซิดะ (Kushida) ประเทศญี่ปุ่น สารอินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากแผ่นดิน และบางส่วนมาจากสาหร่ายหน้าดิน โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Boonphakdee and Sichan (2013) ที่รายงานว่า หอยนางรม (*Saccostrea commercialis*) และหอยแครง (*Anadara granosa*) ในพื้นที่เพาะเลี้ยงใกล้กับป่าชายเลนเมืองใหม่ จังหวัดชลบุรี ไม่ได้รับสารอินทรีย์มาจากใบไม้และดินตะกอนจากป่าชายเลน แต่ได้รับสารอินทรีย์จากสาหร่ายหน้าดินขนาดเล็กที่เกาะอยู่บนอนุภาคของดินตะกอนจากป่าชายเลน

ระดับที่ 3 คือ ผู้บริโภคลำดับที่สอง (Secondary Consumer) หรือผู้ล่า (Predator) ได้แก่ หอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ มากกว่า 8% แสดงให้เห็นว่าหอยสังข์หนามเป็นผู้ล่าสูงสุดในห่วงโซ่อาหาร (ภาพที่ 5-1) เนื่องจากหอยสังข์หนามกินหอยสองฝาชนิดต่าง ๆ หรือเพรียงเป็นอาหาร โดยจะใช้แรดูลา (Radula) เจาะเปลือกหอยและหลังกรด เพื่อให้เปลือกเป็นรอยใหม่ เกิดเป็นรูเล็ก ๆ (Ponder & Vokes, 1988; Tan & Sigurdsson, 1996) ในทำนองเดียวกัน การศึกษาของ Tan and Oh (2000) ที่ได้รายงานถึงผลการศึกษาว่าหอยสังข์หนามได้ถูกจัดเป็นนักล่าชั้นนำในระบบนิเวศ และกินหอยสองฝาเป็นอาหาร เนื่องจากพบว่าหอยสองฝาส່วนใหญ่ถูกเจาะเป็นรูใหม่

นอกจากนี้ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ในปลิงทะเลบริเวณอ่าวพร้าวและเกาะกูด มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 5-1) ซึ่งบ่งชี้ถึงการกินอาหารที่ต่างกัน ได้ โดยทั่วไปปลิงทะเลจะอาศัยอยู่ตามพื้นทรายในแนวปะการัง มีลักษณะการกินแบบใช้หนวดที่อยู่รอบ ๆ ปาก ขูดทรายบริเวณผิวหนังเข้าปากเพื่อกินซากตะกอนอินทรีย์ตามพื้นทะเล และใช้เท้าสำหรับเคลื่อนที่ (Yanagisawa, 1998) จากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลบริเวณอ่าวพร้าวมีการใช้สาร dispersant เพื่อขจัดคราบน้ำมันดิบในช่วงระยะแรก ทำให้โมเลกุลของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลง และจมลงสู่พื้นท้องน้ำ จากเหตุการณ์ดังกล่าว จึงคาดว่าส่งผลถึงแหล่งอาหารของปลิงทะเลบริเวณอ่าวพร้าวเปลี่ยนไปจากเดิม โดย Hazen (2011) พบว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลทำให้แบคทีเรียบางชนิดที่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ มีการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว จึงคาดว่าปลิงทะเลบริเวณอ่าวพร้าว กินแบคทีเรียเหล่านี้

จากการศึกษาลำดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง พบว่ามีค่าการถ่ายทอดตั้งแต่ 1 (ไดอะตอม) จนถึง 3.24 (หอยสังข์หนาม) (ภาพที่ 5-1) และเมื่อนำค่าลำดับขั้นการถ่ายทอดมาพิจารณา สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย ผู้ผลิต มีค่าลำดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารอยู่ที่ 1 ผู้บริโภคอันดับที่ 1 มีค่าลำดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารตั้งแต่ 2 ถึง 2.16 และผู้ล่าสูงสุด มีค่าลำดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารอยู่ที่ 3.24 (ภาพที่ 5-1) และนอกจากนี้ยังสังเกตเพิ่มเติมได้ว่าหอยมือเสือมีค่าลำดับการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารอยู่ที่ 1.4 ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างการเป็นผู้ผลิตกับผู้บริโภคอันดับที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากหอยมือเสือจัดได้ว่าเป็นหอยสองฝาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีการดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกัน (Mutualism) กับสาหร่ายเซลล์เดียวกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (Dinoflagellate) หรือที่เรียกว่า ซูแซนเทลลี ที่จะสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหารและพลังงานให้แก่หอยมือเสือ ในขณะที่หอยมือเสือได้ทำหน้าที่เป็นที่อยู่อาศัยให้ซูแซนเทลลี ถึงแม้ว่าหอยมือเสือมีการกินอาหารแบบกรองกิน แต่ยังไม่มียประสิทธิภาพมากพอต่อการเจริญเติบโต การอยู่อาศัยแบบพึ่งพาอาศัยซูแซนเทล

ดี จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้หอยมือเสือมีวิวัฒนาการของขนาดตัวที่ใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับหอยชนิดอื่น ๆ (Yonge, 1975; Pearson & Munro, 1991)



ภาพที่ 5-1 ความสัมพันธ์ของ $\delta^{15}\text{N}$ กับลำดับการกิน (Trophic level) ในบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด (◆*■×●-▲) และเกาะกูด (⊠△□◇) จังหวัดระยอง

5.3 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันดิบและทาร์บอลด้วย GC-MS และ GC-IRMS

การคงอยู่ขององค์ประกอบทางเคมีในปิโตรเลียมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพิสูจน์หลักฐานทางสิ่งแวดล้อมเพื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของปิโตรเลียม (Wang et al., 2013) ซึ่งการตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมีในปิโตรเลียมมีหลายวิธีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (Zakaria, 2001; Wang et al., 2013) สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนนั้นเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีเฉพาะธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยธาตุคาร์บอนอาจจะต่อกันเป็นสายยาวหรือแบบโซ่ตรง (Normal Alkanes) และโซ่กิ่ง (Branched Chain) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำมันดิบแพร่ลงสู่ทะเลจะรวมกันอยู่บริเวณผิวน้ำทะเล และเกิดการฟุ้งกระจายตัวตามธรรมชาติที่ประกอบด้วย การระเหย การแพร่กระจาย การละลายในชั้นน้ำ การ

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนได้ โดยสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะเป็นกลุ่มที่ระเหยออกไปก่อน ส่วนสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักจะจับตัวกับเป็นกลุ่มก้อนอยู่ในมวลน้ำ และจมตัวลงสู่พื้นท้องทะเล (Shin and Lim, 2013) โดยมีหลายการศึกษาในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้ทำการตรวจสอบสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ และประเมินระดับการการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติ รวมถึงการเปรียบเทียบอัตลักษณ์ลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprinting) ของก้อนน้ำมันดิบหรือทาร์บอลที่เกิดขึ้น (Wang and Fingas, 2003; Chandru et al., 1998)

ในการศึกษารุ่นนี้ได้ทำการวิเคราะห์สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนด้วย GC-MS ในตัวอย่างน้ำมันดิบที่มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 พบว่าตัวอย่างน้ำมันดิบมีสารประกอบ n-alkenes ตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{30} (ภาพที่ 4-3a) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Li et al. (2009) ที่พบสารประกอบ n-alkenes ในน้ำมันดิบตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{33} ส่วนตัวอย่างทาร์บอลที่เก็บในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 พบว่ามีสารประกอบ n-alkenes ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า C_{13} และ C_{25} , C_{27} , C_{29} และ C_{30} หายไป (ภาพที่ 4-3b) ซึ่งการศึกษาของ Suneel et al. (2013) ได้อธิบายว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปการย่อยสลายทางชีวภาพ และกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาติ ส่งผลให้สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ C_{17} ถึง C_{23} หายไป แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นกระบวนการเหล่านี้สามารถย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ C_{31} ถึง C_{36} อย่างไรก็ตามกระบวนการผุพังสลายตัวตามธรรมชาตินั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบในแต่ละแหล่งกำเนิด (Zakaria, 2001; Wang et al., 2015)

ดังนั้น การวิเคราะห์สารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำมันดิบ หรือทาร์บอลด้วย GC-MS จึงเป็นเรื่องที่ยากหากมีการตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลานาน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบโครมาโทแกรมระหว่างทาร์บอลกับน้ำมันดิบที่มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล พบว่าโครมาโทแกรมของทาร์บอลมีความคล้ายคลึงกันกับโครมาโทแกรมของน้ำมันดิบ (ภาพที่ 4-3) เนื่องจากพบจำนวนอะตอมของสารประกอบ n-alkenes ในทาร์บอลเท่ากับในน้ำมันดิบ นอกจากนี้ยังมีหลายการศึกษาที่ค้นคว้าเกี่ยวกับการสืบค้นแหล่งที่มาของทาร์บอลที่พบตามชายหาดตั้งแต่ปี 1970 แต่การระบุแหล่งที่มาของทาร์บอลไม่สามารถใช้เพียงเทคนิคเดียว (Wang and Stout, 2007) เช่น การศึกษาของ Fayad (1986) ที่ได้รายงานว่าทาร์บอลที่พบอยู่ตามแนวชายหาดซาอุดีอาระเบีย มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล Nowruz oil field เมื่อปี 1983 ในอ่าวเปอร์เซีย ประเทศอิหร่าน และการศึกษาของ Mulabaga, Yin, John,

Hayworth, and Clement (2013) ได้ทำการเปรียบเทียบอัตรลักษณ์ลายพิมพ์นิ้วมือของทาร์บอลที่พบอยู่ตามชายหาดในรัฐอลาบามา (Alabama) พบว่า โครมาโทแกรมของทาร์บอลคล้ายคลึงกับ โครมาโทแกรมของน้ำมันดิบที่มาจากเหตุการณ์ Deepwater Horizon (DH) จึงคาดว่าทาร์บอลที่พบตามชายหาดในรัฐอลาบามา มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล

การศึกษานี้ได้ตรวจสอบเพื่อระบุแหล่งที่มาของทาร์บอลด้วย GC-IRMS เนื่องจาก GC-IRMS จัดได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการระบุแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ (Freeman et al., 1990; Hayes et al., 1990; Mansuy et al., 1997; Chandru et al., 1998; Philp, Allen, & Kuder, 2002; Mazeas & Budzinski, 2002; Duan, Zhang, Wu, & Zheng, 2003) และสามารถนำ GC-IRMS มาใช้ร่วมกับ GC-MS ในการระบุความสัมพันธ์ของน้ำมันดิบกับแหล่งกำเนิด (Bjoroy et al., 1994; Philp et al., 2002) ซึ่งไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) ในแต่ละสารประกอบที่เฉพาะเจาะจงในน้ำมันดิบและทาร์บอลสามารถใช้เป็นหลักฐานเพิ่มเติมที่ช่วยในการติดตามแหล่งที่มาในการรั่วไหลของน้ำมันดิบ (Mansuy et al., 1997; Mazeas & Budzinski, 2002) จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเฉลี่ย $\delta^{13}\text{C}$ ของ n-alkanes ในตัวอย่างน้ำมันดิบอยู่ในช่วง -34.6 ถึง -30.9% และในตัวอย่างทาร์บอลอยู่ในช่วง -34.9 ถึง -30.9% (ภาพที่ 4-4) จึงคาดว่าทาร์บอลในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 ในขณะที่ Suneel et al. (2013) ได้ทำการศึกษาการระบุแหล่งที่มาของทาร์บอลที่พบอยู่ตามชายฝั่งของรัฐกัว (Goa) ประเทศอินเดีย เนื่องจากมีการสะสมของทาร์บอลทุก ๆ ปี จึงคาดว่ามาจากแหล่งน้ำมันดิบ Bombay High ที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์ด้วย GC-IRMS พบว่าปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในแหล่งน้ำมันดิบ Bombay High อยู่ที่ -33.05% และปริมาณ $\delta^{13}\text{C}$ ในตัวอย่างทาร์บอลที่อยู่ -28.05 ถึง -30.49% จึงสรุปได้ชัดเจนว่าทาร์บอลไม่ได้มีแหล่งที่มาจากแหล่งน้ำมันดิบดังกล่าว (ภาพที่ 2-4)

5.4 การเพิ่มกำลังทางชีวภาพในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว จังหวัดระยอง

การตรวจสอบการสะสมหรือการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับการกินแต่ละระดับชั้น ดังนี้ ผู้บริโภคลำดับที่ 1 ได้แก่ หอยครก (*Chama* sp.) หอยแครงลาย (*A. ventricosa*) และผู้ล่า ได้แก่ หอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) ซึ่งเป็นผู้ล่าที่อยู่สูงสุดในห่วงโซ่อาหารของการศึกษานี้

จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่ามีสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในหอยแครงลาย (ภาพที่ 4-4a), หอยครก (ภาพที่ 4-4b), และหอยสังข์หนาม (ภาพที่ 4-4c) นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าในหอยสังข์หนามมีสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่เหมือนกับในหอยครก

กลไกที่อาจมีความเป็นไปได้ในการถ่ายทอดสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันดิบเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารคือการที่หอยสังข์หนามกินหอยครกเป็นอาหาร ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Cernohorsky (1967) ที่พบว่าหอยสังข์หนามกินหอยครกเป็นอาหาร เนื่องจากหอยครกเป็นกลุ่มหอยสองฝาที่อาศัยในเขตน้ำตื้นบริเวณแนวโขดหินหรือแนวปะการังโดยอาศัยร่วมกับปะการังด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งการเกาะกับก้อนปะการังโดยการเชื่อมติด หรือเกาะกับปะการังโดยอาศัยเส้นใยยึดติด ไม่สามารถเคลื่อนที่หาอาหารเองได้ และคัดเลือกอนุภาคอาหารที่เหมาะสมเป็นอาหาร (Selective Feeder) จึงเป็นอาหารของหอยสังข์หนามได้ง่ายกว่าหอยแครงลาย (ภาพที่ 4-4a) ที่อาศัยฝังตัวอยู่ในพื้นดินหรือทราย ที่มีความลึกตั้งแต่ 1-12 นิ้ว โดยใช้เท้า (Mantle) ในการเคลื่อนที่เพื่อหาอาหาร หลบหลีกศัตรูเพื่อหลบภัยได้ และหอยแครงจะคุกกินอาหารบริเวณผิวหนัง (Riera & Richard, 1996) เช่นเดียวกับการศึกษาของธีระพงศ์ ดั่งดี (2547) ที่พบกลุ่มหอยแครงลายในพื้นที่ทรายและตามเศษซากของปะการัง

5.5 สรุปผลการศึกษา

5.5.1 การตรวจสอบแหล่งที่มาของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในระบบนิเวศบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ด้วย GC-IRMS สามารถสรุปได้ว่าทาร์บอลที่เก็บในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบที่รั่วไหลเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

5.5.2 ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ สามารถแบ่งลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ได้ 3 ระดับชั้นอาหารดังนี้ ผู้ผลิต (แพลงตอนพืช) ผู้บริโภคลำดับที่ 1 (หอยสองฝา) และผู้ล่า (หอยสังข์หนาม)

5.5.3 มีการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนตามลำดับการกินตามห่วงโซ่อาหารในสิ่งมีชีวิตของระบบนิเวศ

ดังนั้นการศึกษากการเพิ่มกำลังทางชีวภาพของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตโดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน สามารถประเมินลำดับการกินในห่วงโซ่อาหาร สามารถชี้ให้เห็นถึงการคงอยู่ของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบที่ตกค้างยาวนานในระบบนิเวศ และยังสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของคราบน้ำมันที่มีผลต่อระบบนิเวศชายฝั่งได้

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบในสิ่งมีชีวิตดังกล่าวมาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล เนื่องจากจำเป็นต้องมีข้อมูล (Baseline Data) ของสิ่งมีชีวิต ก่อนเกิดเหตุการณ์มาใช้เปรียบเทียบการมีอยู่ของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว

5.6 ข้อเสนอแนะ

1. จากกรณีเหตุการณ์รั่วไหลของน้ำมันดิบในบริเวณอ่าวพร้าวทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลในระยะยาว เพื่อเป็นการยืนยันถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงควรทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 2 ปี
2. หากต้องการระบุอย่างแน่ชัดถึงแหล่งที่มาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว ควรนำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตวิเคราะห์ด้วย GC-IRMS

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2557). *ปริมาณการนำเข้าน้ำมันดิบ*. เข้าถึงได้จาก <http://www.doeb.go.th>
- กฤษณา ชูติมา. (2529). *หลักเคมีทั่วไป*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
- จริยา สุตานนท์ไพบุลย์. (2553). *ผลกระทบจากน้ำมันรั่วที่มีต่อสัตว์*. เข้าถึงได้จาก <http://www.seub.or.th>
- จุมพล สงวนสิน, สุริดา กาญจน์อดิเรกกลาก, สุภัตตร กาญจน์อดิเรกกลาก และสมพงษ์ บันติวิวัฒน์กุล. (2548). *การศึกษาการสะสมของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในสัตว์พื้นทะเลบางชนิด: เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2548*. กรุงเทพฯ: กรมประมงราชการบริหารส่วนกลาง.
- เชิดวงศ์ แสงสุกวานิช. (2559). การพยากรณ์การเคลื่อนที่ของน้ำมันในแม่น้ำตาปีด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์. ใน *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 24 ฉบับที่ 6* (หน้า 927-941). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธีระพงศ์ คิ้วงศ์. (2550). *หอยทะเล. หอยฝาเดียว*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นิโบล เนื่องตัน. (2542). *ชีวเคมี*. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. มหาวิทยาลัยมหิดล
- ปราโมทย์ ไชยเวช และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. (2543). *ปิโตรเลียมเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล. (2556). *ภาพรวมแนวทางจัดการน้ำมันรั่วไหล (Oil Spill) ลงสู่ทะเล*. เข้าถึงได้จาก <http://www.eng.chula.ac.th>
- มณฑล แก่นมณี. (2557). *รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่องการประเมินผลกระทบทางชีวภาพของระบบนิเวศหาดหินในเขตนํ้าขึ้นน้ำลง กรณีที่อ่าวสงนํ้ามันดิบรั่วไหลกลางทะเลจังหวัดระยอง*. คณะเทคโนโลยีการเกษตร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เริงฤทธิ์ คงเมือง. (2556). *เหตุเกิด ณ อ่าวพร้าว*. เข้าถึงได้จาก www.thaihospital.org
- สุธิชา ภูเก้าแก้ว, จรวัยสุข แสงจันทร์ และเชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์. (2558). *ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนและผลกระทบต่อปูทหาร (Dotilla wichmani) ภายหลังเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลบริเวณอ่าวพร้าวเกาะเสม็ดจังหวัดระยอง*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์* (หน้า 1263-1270). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2556). ภาพดาวเทียมการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน รั่วกลางทะเลระยอง. เข้าถึงได้จาก <http://www.gistda.or.th>
- อภิรดี เมืองเดช. (2544). ปริมาณโลหะหนักในโลหะหนักในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. ชลบุรี: สถาบันราชนครินทร์. ใน การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม 4-7 ครั้งที่ 40 (หน้า 124-137). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- อลงกต อินทรชาติ, พีรพงษ์ สุนทรเดชะ, และอรรถวุฒิ กันทะวงศ์. (2559). การใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน ในการศึกษาลำดับขั้นการถ่ายทอดทางห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวประจวบ จังหวัดระยอง. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 54 (หน้า 849-856). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.
- Almeda, R., Wambaugh, Z., Chai, C., Wang, Z., Liu, Z., & Buskey, E. J. (2013). Effects of Crude Oil Exposure on Bioaccumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Survival of Adult and Larval Stages of Gelatinous Zooplankton. *PLOS ONE*, 8, e74476.
- Arribas, R., Díaz-Paniagua, C., Caut, S., & Gomez-Mestre, L. (2015). Stable Isotopes Reveal Trophic Partitioning and Trophic Plasticity of a Larval Amphibian Guild. *PLOS ONE*. DOI:10.1371/journal.pone.0130897
- Bamstedt, U., Gifford, D. J., Irigoien, X., Atkinson, A., & Roman, M. (2000). Feeding. In: *ICES zooplankton Methodological Manual*. R. Harris, P. Weibe, J. Lenz, H. R. Skjoldal, & H. Huntley (Eds). (pp. 297-399). New York: Academic Press.
- Benson, S., Lennard, C., Maynard, P., & Roux, C. (2006). Forensic applications of isotope ratio mass spectrometry-A review. *Forensic Science International*, 157, 1-22.
- Betti, M., Boisson, F., Eriksson, M., Tolosa, I., & Vasileva, E. (2011). Isotope analysis for marine environmental studies. *International Journal of Mass Spectrometry*, 307, 192-199.
- Beviss-Challinor, M. H., & Field, J. G. (1982). Analysis of a benthic community food web using isotopically labeled potential food. *Marine Ecology Progress Series*, 9, 223-230.
- Bheem (2015). *Thin Layer Chromatography (TLC): Principle and Procedure*. Retrieved from <https://owlcation.com/stem/tlc-thin-layer-chromatography-Principle-Procedure>
- Bjørøy, M., Hall, K., & Moe, R. P. (1994). Stable carbon isotope variations of n-alkanes in Central Graben oils. *Organic Geochemistry*, 22, 355-381.

- Boonphakdee, T., & Sichan, P. (2013). Is Mangrove Source of Organic Matter for Cultured Bivalves in an Adjacent Mudflat? a multiple Stable Isotope Study. In *The Second Environment Asia International conference on "Human Vulnerability and Global Environmental Change"15-17 May 2013* (pp. 545-552). n.p.
- Bouillion, S., Chandra, P., Streenivas, N., & Dehairs, F. (2000). Source of suspended organic matter and selective feeding by zooplankton in an estuarine ecosystem as traced by stable isotopes. *Marine Ecology*, 208, 79-92.
- Boutton, T. W. (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In Coleman, D. C., & Fry, B. (Eds), *Carbon Isotope Techniques* (pp. 173-185). New York: Academic Press.
- Brown, M. R., Jeffery, S. W., & Garland, C. D. (2000). Nutritional aspects of the microalgae used in mariculture: *Literature Review*. Report 205. CSIRO, Australis.
- Cernohorsky, O. W. (1967). *Marine shells of the Pacific*. Sydney: Pacific Publications, 248p.
- Chandru, K., Zakaria, M. P., Anita, S., Shahbazi, A., Burgeot, T., & Bellocq, J. (1998). Concentrations of alkanes, hopanes and polycyclic various marine organisms in relation to those in aromatic hydrocarbons (PAHs) in tar-balls collected from the East Coast of Peninsular Malaysia. *Pollution Bulletin*, 56, 950-962.
- Cherel, Y., Fontaine, C., Richard, P., & Labatc, J. P. (2010). Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean. *Limnol. Oceanogr*, 55, 324-332.
- Cresson, P., Ruitton, S., & Harmelin-Vivien, M. (2014). *Assessment of fish trophic status and relationships by stable isotope data in the coral reef lagoon of New Caledonia, southwest Pacific*. *Aquat Living Resour.* 21: 1-12.
- Dolence, T., Vokal, B., & Dolence, M. (2005). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in *Anemonia sulcate* as a possible indication of human sewage impacts on marine coast ecosystem: a case study of Pirovac Bay and the murter sea (Central Adreatic). *Croatica Chemica Acta*, 78, 593-600.

- Dongwook, K., Myoung-Soo, K., Jung-Seok, Y., Man Jae, K., Seung-Woo, L., & Seunghak, L. (2015). Identification of refined petroleum products in contaminated soils using an identification index for GC chromatograms. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 12029-12034.
- Dromard, C. R., Bouchon-Navaro, Y., Harmelin-Vivien, M., & Bouchon, C. (2015). Diversity of trophic niches among herbivorous fishes on a Caribbean reef (Guadeloupe, Lesser Antilles), evidenced by stable isotope and gut content analyses. *Journal of Sea Research*, 95, 124-131.
- Duan, Y., Zhang, H., Wu, B. X., & Zheng, Z. Y. (2003). Carbon isotopic studies of individual n-alkanes in crude oils from Qaidam Basin, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 23, 91-94.
- Ezra, S., Feinstein, S., Pelly, I., Bauman, D., & Miloslavsky, I. (2002). Weathering of fuel oil spill on the east Mediterranean coast, Ashdod, Israel. *Organic Geochemistry*, 31, 1733-1741.
- Fayad, N. M. (1986). Identification of tar balls following the nowruz oil spill. *Marine Environmental Research*, 8, 155-163.
- Feller, R. J., Taghon, G. L., Gallagher, E. D., Kenny, G. E., & Jumars, P. A. (1979). Immunological methods for food web analysis in a soft-bottom benthic community. *Marine Biology*, 54, 61-74.
- Freeman, K. H., Hayes, J. M., Trendel, J. M., & Albrecht, P. (1990). Evidence from carbon isotope measurements from diverse origins of sedimentary hydrocarbons. *Nature*, 343, 254-256.
- Fry, B., & Sherr, E. B. (1984). $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Tropical Life Sciences Research*, 27, 13-47.
- Graham, W. M., Condon, R. H., Carmichael, R. H., D'Ambra, I. D., Patterson, H. P., Linn, L. J., & Hernandez, F. J. (2010). Oil carbon entered the coastal planktonic food web during the Deepwater Horizon oil spill. *Environmental Research Letters*, 5, 045301.
- Gregory, S. D. (1996). Environmental Stability of Selected Petroleum Hydrocarbon Source and Weathering Ratios. *Environmental Science and Technology*, 30, 2332-2339.

- Hamilton, S. K., & Lewis, W. M. (1992). Stable carbon and nitrogen isotopes in algae and detritus from the Orinoco River floodplain, Venezuela. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *56*, 4237-4246.
- Hayes, J. M., Freeman, K. H., Popp, B. N., & Hoham, C. H. (1990). Compound-specific isotopic analyses: a novel tool for reconstruction of ancient biochemical processes. *Organic Geochemistry*, *16*, 1115-1128.
- Hazen, T. C. (2011). Deep-sea oil plume enriches psychrophilic oil-degrading bacteria. *Science*, *330*, DOI: 10.1126/science.1195979.
- Hoefs, J. (2004). *Stable Isotope geochemistry*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hopkins, T. L. (1987). Midwater food web in McMurdo Sound, Ross Sea, Antarctica. *Marine Biology*, *96*, 93-106.
- IТОPF. (2008). *Fate of marine oil spills*. Retrieved from <http://www.itopf.com>
- Kasai, A., & Nakata, A. (2005). Utilization of terrestrial organic matter by the bivalve *Corbicular japonica* estimated from stable isotope analysis. *Fisheries Sciences*, *71*, 151-158.
- Kendall, C., & Caldwell, E. A. (1998). Fundamentals of stable isotope geochemistry. In *Isotope Tracers in Catchment Hydrology* (pp. 51-86). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Kioboe, T., Kaas, H., Kruse, B., Mohlenberg, F., Tiselius, P., & Aertebjerg, G. (1990). The structure of the pelagic food web in relation to water column structure in the Skagerrak. *Marine Ecology Progress Series*, *59*, 19-32.
- Lamb, K., & Swart, P. K. (2008). The carbon and nitrogen isotope values of particulate organic material from the Florida Keys: a temporal and spatial study. *Coral reef*, *27*, 351-362.
- Li, Y., Xiong, Y., Yang, W., Xie, Y., Li, S., & Sun, Y. (2009). Compound-specific stable carbon isotopic composition of petroleum hydrocarbons as a tool for tracing the source of oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, *58*, 114-117.
- Maksymowsks, D., Richard, P., Piekarek-Jankowaks, H., & Riera, P. (2000). Chemical and isotopic composition of the organic matter source in the Gulf of Gdansk (Southern BalticSea). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, *51*, 585-598.

- Mansuy, I., Philp, R. P., & Allen, J. (1997). Source identification of oil spills based on the isotopic composition of individual components in weathered oil samples. *Environmental Science and Technology*, 31, 3417-3425.
- Mariott, A. (1983). Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance $\delta^{15}\text{N}$ measurements. *Nature*, 303, 685-687.
- Mazeas, L., & Budzinski, H. (2002). Stable carbon isotopic study $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ of the fate of pathogenic PAHs, methylphenanthrenes during an in situ oil spill simulation experiment. *Organic Geochem*, 33, 1253-1258.
- Mei, L. N., William, E., Kareen V., Serena, L.-M. T., & Todd, A. (2015). The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems. *Biological Conservation*, 181, 111-123.
- Mulabagal, V., Yin, F., John, G. F., Hayworth, J. S., & Clement, T. P. (2013). Chemical fingerprinting of petroleum biomarkers in Deepwater Horizon oil spill samples collected from Alabama shoreline, *Marine Pollution Bulletin*, 70, 147-154.
- Muscatine, L., & Kaplan, I. R. (1994). Resource partitioning by reef corals as determined from stable isotope composition II. $\delta^{15}\text{N}$ of zooxanthellae and animal tissue versus depth. *Pacific Science*, 48(3), 304-312.
- Muscatine, L., Porter, J. W., & Kaplan, I. R. (1989). Resource partitioning by reef corals as determined from stable isotope composition. *Marine Biology*, 100(2), 185-193.
- Oliver, P. G. & Holmes, A. M. (2006). The Arcoidea (Mollusca: Bivalvia): a review of the current phenetic-based systematics. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 148, 237-251.
- Paul, D. B., Gregory, S. D., William, A. B., Paul, J. M., David, S. P., & Edward, B. (1997). Application of petroleum hydrocarbon chemical fingerprinting and allocation techniques after the *Exxon Valdez* oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 34, 599-613.
- Pearson, R. G., & Munro, J. L. (1991). Growth Mortality and Recruitment Rates of Giant Clams *Tridacna-Gigas* and *Tridacna-Derasa* at Michaelmas Reef Central Great Barrier Reef Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 42, 241-262.

- Persic, A., Roche, H., & Ramade, F. (2004). Stable carbon and nitrogen isotope quantitative structural assessment of dominant species from the Vaccares Lagoon trophic web. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60, 261-272.
- Peterson, B. J., Howarth, R. W., & Garritt, R. H. (1985). Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227, 1361-1363.
- Philp, R. P., Allen, J., & Kuder, T. (2002). The use of the isotopic composition of individual compounds for correlating spilled oils and refined products in the environment with suspected sources. *Forensic Science International*, 3, 341-348.
- Piola, R. F., Moore, S. K., & Suthere, I. M. (2006). Carbon and nitrogen stable isotope analysis of three types of oyster tissue in an impacted estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 66, 255-266.
- Ponder, W. F., & Vokes, E. (1988). *A revision of the Indo-West Pacific fossil and Recent species of Murex sp. and Haustellum (Mollusca: Gastropoda: Muricidae)*. Records of the Australian Museum, Supplement. 8, 1-57.
- Post, D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- Preethy, C., & Nilanjana, D. (2010). Biosurfactant production and diesel oil degradation by yeast species *Trichosporon asahii* isolated from petroleum hydrocarbon contaminated soil. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2, 6942-6953.
- Quintana-Rizzo, E., Torres, J. J., Ross, W. S., Romero, I., Watson, K., Goddard, E., & Hollander, D. (2015). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in deep-living fishes and shrimps after the Deepwater Horizon oil spill, Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 94, 241-250.
- Ridzuan, D. S., Rawi, C. S. Md., Hamid, S. A., & Al-Shami, S. A. (2017). Determination of food sources and trophic position in Malaysian tropical highland streams using carbon and nitrogen stable isotopes. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 97-104.
- Riera, P., & Richard, P. (1996). Isotopic Determination of Food Sources of *Crassostrea gigas* Along a Trophic Gradient in the Estuarine Bay of Marennes-Oleron. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42, 347-360.

- Rumolo, P., Bonanno, A., Barra, M., Fanelli, E., Calabrò, M., Genovese, S., Ferreri, R., Mazzola, S., & Basilone G. (2016). Spatial variations in feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species in the central Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 115, 65-77.
- Satoshi, W., Masashi, K., Joemel, G. S., & Maria, J. H. (2013). Diet-tissue Stable Isotopic Fractionation of Tropical Sea Cucumber, *Holothuria scabra*. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 47, 127-134.
- Shin, H. S., & Lim, H. H. (2011). Simultaneous determination of 2-naphthol and 1-hydroxy pyrene in urine by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*, 879, 489-494.
- Smith, D. F., Bulleid, N. C., & Campbell, R. (1979). Marine food-web analysis: an experimental study of demersal zooplankton using isotopically labeled prey species. *Marine Biology*, 54, 49.
- Sondergaard, M., Riemann, B., & Jensen, L. M. (1988). Pelagic food web processes in an oligotrophic lake. *Hydrobiologia*, 164, 271-286.
- Suneel, V., Vethamony, P., Zakaria, M. P., Naik, B. G. & Prasad, K. V. S. R. (2013). Identification of sources of tar balls deposited along the Goa coast, India, using fingerprinting techniques. *Marine Pollution Bulletin*, 70, 81-89.
- Swart, P. K., Leder, J. J., Szmant, A. M., & Dodge, R. E. (1996). The origins of variations in the isotope record of scleractinian corals: II. Carbon. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60, 2871-2885.
- Swart, P. K., Saied, A., & Lamb, K. (2005). Temporal and spatial variation in the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of coral tissue and zooxanthellae in *Montastraea faveolata* collected from the Florida reef tract. *Limnology Oceanography*, 50, 1049-1058.
- Swennen, C., Moolenbeek, R. G., Ruttanadakul, N., Hobbelink, H., Dekker H., & Hajisamae S. (2001). *The Molluscs of the Southern Gulf of Thailand*. Bangkok, Thailand: Biodiversity Research and Training Program (BRT). 210 P.

- Takeuchi, I., Miyoshi, N., Mizukawa, K., Takada, H., Ikemoto, T., Omori, K., & Tsuchiya, K. (2009). Biomagnification profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons, alkyl phenols and polychlorinated biphenyls in Tokyo Bay elucidated by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope ratios as guides to trophic web structure. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 663-671.
- Tan, H. H., & Tan, S. K. (2014). Colour forms of the tapestry turban snail in Singapore waters, *Turbo petholatus*. *Singapore Biodiversity Records*, 148-149.
- Tan, K.S., & Oh, T. M. (2002). Feeding habits of *Chicoreus capucinus* (Neogastropoda: Muricidae) in a Singapore mangrove. *Bollettino malacologico*, 38, 43-50.
- Tan, K. S., & Sigurdsson, J. B. (1996). New species of Thais (Neogastropoda, Muricidae) from Singapore, with a re-description of *Thais javanica* (Philippi, 1848). *Journal of Molluscan Studies*, 62, 517-535.
- Titlyanov, E. A., Kiyashko, S. T., Titlyanova, T. V., Kalita, T. L., & Raven, J. A. (2008). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in reef corals *Porites lutea* and *P. cylindric* and in their epilithic and endolithic algae. *Marine Biology*, 155, 353-361.
- Vanderklift, M. A., & Ponsard, S. (2003). Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, 136, 169-182.
- Wada, E., & Hattori, A. (1991). *Nitrogen in the Sea: Forms, Abundances, and Rate Processes*. Boca Raton: CRC Press.
- Wang, C., Chen, B., Zhang, B., He, S., & Zhao, M. (2013). Fingerprint and weathering characteristics of crude oils after Dalian oil spill, China. *Marine Pollution Bulletin*, 71, 64-68.
- Wang, M., Wang, C., & He, S. (2015). Source identification of oil spills using compound specific carbon isotope analysis based on "7-16" oil spill in Dalian, China. *Aquatic Procedia*, 3, 197-202.
- Wang, Z. D., & Fingas, M. F. (2003). Development of oil hydrocarbon fingerprinting and techniques, *Marine Pollution Bulletin*, 47, 423-452.
- Wang, Z., & Stout, S. A. (2007). *Oil Spill Environmental Forensics*. Fingerprint and Source Identification. Academic Press, Waltham.
- Warren, P. H. (1989). Spatial and temporal variation in the structure of a freshwater food web. *Oikos*, 55, 299-311.

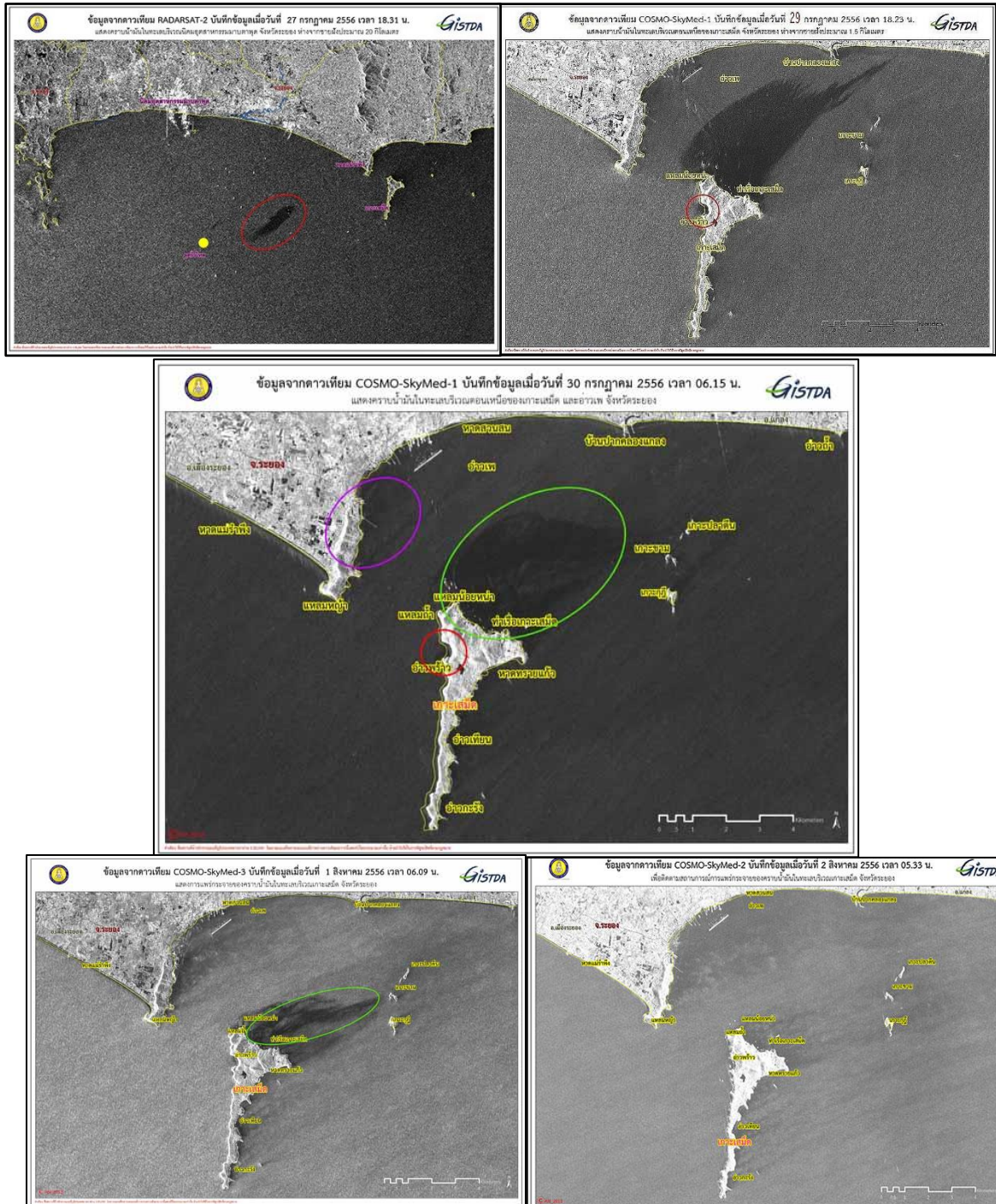
- Wu, Y., Zuang, J., Li, D. J., Wei, H., & Lu, R. X. (2003). Isotope variability of particulate organic matter at the PN Section in the East China Sea. *Biogeochemistry*, 65, 31-49.
- Yamamuro, M., Kayanne, H., & Minagawao, M. (1995). Carbon and nitrogen stable isotopes of primary producers in coral reef ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 40, 617-621.
- Yanagisawa, T. (1998). Aspects of the biology and culture of the sea cucumber. In *Tropical mariculture* (pp. 291-308). London: Academic Press.
- Yonge, C. M. (1975). Giant clams. *Scientific American*, 23, 96-105.
- Zakaria, M. P. (2001). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) and Hopanes in stranded tar ball on the Coasts of Peninsular Malaysia: Application of Biomarker for Identifying Sources of oil Pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 1357-1366.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันในทะเล

ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันดิบในทะเลบริเวณชายฝั่งจังหวัดระยอง ระหว่างวันที่ 27 กรกฎาคม ถึง 2 สิงหาคม พ.ศ. 2556 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ; 2556)



ภาคผนวก ข

ผลงานเผยแพร่วิชาการจากงานวิจัย

การถ่ายทอดทางชีวภาพของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนตามห่วงโซ่อาหาร
ในระบบนิเวศทางทะเล อ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

Biomagnification of petroleum hydrocarbon in the food web of marine ecosystems
at Ao Prao, Koh Samet Rayong Province

ธนวันต์ ผาดำ¹, ถานอมศักดิ์ บุญภักดี^{1,2*}, อภิญญา นวคุณ³ และ พงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา⁴
Thanawan Phadam¹, Thanomsak Boonphakdee^{1,2*}, Apinya Navakhun⁴ and Pongrat Dumrongrojwattana³

¹โครงการบัณฑิตศึกษาศาสตร์สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

³ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

⁴ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

ทำการบ่งชี้และการถ่ายทอดของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลเมื่อปี พ.ศ. 2556 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในสิ่งมีชีวิตอยู่ในช่วงระหว่าง -26.6 ถึง -10.24‰ และ 1.93 ถึง 9.22‰ ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งลำดับการกินในห่วงโซ่อาหารได้เป็นผู้ผลิต (แพลงก์ตอนพืช) ผู้บริโภคลำดับที่ 1 คือ หอยครก (*Chama* sp.) และผู้ล่า คือ หอยสังข์หนาม (*Chicoreus brunneus*) นอกจากนี้พบว่ารูปแบบของโครมาโตแกรมของทาร์บอล หอยครก และหอยสังข์หนามมีความคล้ายคลึงกับน้ำมันดิบที่รั่วไหลในบริเวณอ่าวพร้าว แสดงให้เห็นถึงการถ่ายทอดสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทะเลของอ่าวพร้าวและเป็นงานวิจัยชิ้นแรกๆ ที่ทำการศึกษาเรื่องนี้

คำสำคัญ : เหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล, ทาร์บอล, ไอโซโทปเสถียร, ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน, ห่วงโซ่อาหาร, อ่าวพร้าว

Abstract

We identified biomagnification of petroleum hydrocarbon, Rayong oil spill, in marine ecosystem of Ao Prao Koh Samet, Rayong Province. Stable isotopes of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) were implemented to estimate trophic positions of impacted organisms in food web. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ ranged from -26.6 to -10.24‰ and from 1.93 to 9.22 ‰, respectively. Base on these results, we found three trophic levels of marine organisms as primary producer (phytoplankton), primary consumer (bivalve *Chama* sp.) and predator (gastropod; *Chicoreus brunneus*). In addition, the result of chromatograms of tar balls, primary consumer and predator organisms had similarity. This suggests that source of petroleum hydrocarbon in those marine creatures were derived from oil spill disaster. This is the first evidence of remaining petroleum hydrocarbon from Rayong oil spill which biologically magnify and transfer along food web of Ao Prao marine ecosystem.

Keywords : Stable isotopes, Trophic levels, Oil spill, Biomagnifications, Ao Prao, Tar balls

*Corresponding author. E-mail : nuiosk@yahoo.com

บทนำ

เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2556 เกิดเหตุการณ์ท่อน้ำมันดิบของบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) แตกในขณะที่ขนถ่ายน้ำมันดิบนอกฝั่ง จังหวัดระยอง ทำให้มีน้ำมันดิบประมาณ 70,000 ลิตร ไหลลงสู่ทะเลบริเวณชายฝั่งระยอง น้ำมันดิบกระจายบนผิวน้ำเป็นบริเวณกว้าง คลื่นและลมได้พัดคราบน้ำมันดิบเข้าถึงอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2556 ส่งผลให้หาดทรายและชายหาดหินในบริเวณอ่าวพร้าว ปกคลุมด้วยคราบน้ำมันดิบ (พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, 2556) การที่อ่าวพร้าว เกาะเสม็ด ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลซึ่งอาจทำให้ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเคลื่อนย้ายเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทางทะเลได้ หากสิ่งมีชีวิตได้รับปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากพอจะส่งผลให้เกิดการสะสมในเนื้อเยื่อ (จุมพล สงวนสิน และคณะ, 2548) เมื่อผู้ล่ากินสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ จะได้รับการถ่ายทอดปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับการกินในห่วงโซ่อาหาร (Biomagnifications) (Takeuchi *et al.*, 2009) การตรวจสอบเส้นทางของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่เข้าห่วงโซ่อาหารนั้นสามารถตรวจสอบได้โดยใช้เทคนิคไอโซโทปเสถียร (Stable Isotope) โดยทั่วไปไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) เพิ่มขึ้นประมาณ 1 ‰ ต่อระดับชั้นอาหาร ใช้เป็นตัวบ่งชี้ในการระบุแหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในห่วงโซ่อาหาร (Peterson, 1985) และไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในผู้บริโภคเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.4 ‰ ใช้เป็นตัวบ่งชี้ลำดับการกินในห่วงโซ่อาหาร (Minagawa & Wada, 1984) ดังนั้นการศึกษาดังนี้จะสามารถอธิบายได้ถึงการกลไกการถ่ายทอดปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

วิธีการ

1. พื้นที่ศึกษา

อ่าวพร้าวตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกของเกาะเสม็ด มีระบบนิเวศหาดทราย รวมถึงแนวปะการังซึ่งเป็นแห่งเดียวของเกาะเสม็ด ส่วนของเกาะกูดเป็นเกาะขนาดเล็กไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของเกาะเสม็ด บริเวณโดยรอบของเกาะมีแนวปะการังน้ำตื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้เกาะกูดเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหล การศึกษาดังนี้จึงใช้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่อ้างอิง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด และเกาะกูด (พื้นที่อ้างอิง) จังหวัดระยอง

2. การเก็บตัวอย่าง

1. น้ำมันดิบ (Crude oil) และทาร์บอล (Tar balls) ตัวอย่างน้ำมันดิบได้เก็บมาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลในวันที่ 30 กรกฎาคม 2556 โดยทำการเก็บใส่ขวดแก้วดูแรน (Duran) และในเดือนมกราคม 2559 ได้ทำการเก็บตัวอย่างทาร์บอลที่พบในบริเวณอ่าวพร้าว หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

2. ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

ทำการเก็บตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในเดือนมกราคม 2559 ตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2008) ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณอ่าวพร้าว และแนวปะการังในเขตน้ำตื้น จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่แข็ง จนกว่าจะทำการวิเคราะห์ แต่ในส่วนของเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนได้ใช้ถุงลากลากแพลงก์ตอน (plankton net) โดยลากลากแบบแนวราบให้ถุงลากลากแพลงก์ตอนขนานกับน้ำ จากนั้นเก็บแพลงก์ตอนใส่ขวด polythelene และนำไปแช่แข็ง จนกว่าจะทำการวิเคราะห์

3. การเตรียมตัวอย่าง

1. ตัวอย่างน้ำมันดิบ (Crude oil) และทาร์บอล (Tar balls) ตามวิธีของ Wang (2015)

นำตัวอย่างทาร์บอลแช่แข็ง 5 กรัม บดให้ละเอียด ส่วนตัวอย่างน้ำมันดิบ 5 ml ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการสกัดด้วย hexane เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นเติม Magnesium Sulphate Anhydrous ประมาณ 2-5 กรัม และใช้ column chromatography ในการแยกสารประกอบของตัวอย่างที่ต้องการ หลังจากนั้นทำตัวอย่างให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อส่งวิเคราะห์ด้วย GC-MS และ GC-IRMS

2. ตัวอย่างสิ่งมีชีวิตสำหรับการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรตามวิธีของ Boonphakdee & Sichan (2008)

ตัวอย่างเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตทำให้แห้งด้วย freeze-dryer และบดละเอียด จากนั้นตัวอย่างถูกสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย Chloroform: Methanol แต่ในกรณีตัวอย่างแพลงก์ตอนนำมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/F หลังจากนั้นนำไปกำจัดคาร์บอน และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุลงใน Tin capsule เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย IRMS

3. สิ่งมีชีวิตสำหรับการวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC-MS) ตามวิธีของ

Yang *et al.* (2018)

นำตัวอย่างเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิตที่ทำให้แห้งด้วย freeze-dryer มาเติมน้ำทะเลสังเคราะห์ลงไป 20 ml และนำไป Centrifuge 45 นาที หลังจากนั้นดูดสารละลายที่เป็นส่วนใส 10 ml เติมเกลือ 1 กรัม และเติมสารสกัด methanol: dichloromethane (3:7) จากนั้นดูดก้อนไขมันใส่ลงในขวด เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS

4. การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจน

การศึกษานี้ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่มหาวิทยาลัย Cornell ซึ่งผลถูกคำนวณให้อยู่ในค่าเดลต้า (δ) มีหน่วยส่วนในพันส่วน (Per mil, ‰) เป็นความสัมพันธ์ของความแตกต่างระหว่างปริมาณไอโซโทปเสถียรของตัวอย่างกับสารมาตรฐาน Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) ตามสูตรดังต่อไปนี้ (Quak *et al.*, 2016)

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}})] \times 10^3 \quad (1)$$

เมื่อ X = ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C) และไนโตรเจน (^{15}N)

R = ปริมาณสัดส่วนของไอโซโทปเสถียร ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ หรือ $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)

2.5 การวิเคราะห์ลำดับชั้นของการกิน (Trophic level)

ในการประมาณระดับชั้นอาหาร (TL) ใช้สมการต่อไปนี้ในการคำนวณ (Rumolo et al., 2016)

$$TP = TL_{base} + (\delta^{15}N_{CONSUMER} - \delta^{15}N_{prey}) / \Delta \delta^{15}N \quad (2)$$

เมื่อ	$TL_{CONSUMER}$	= ค่าเฉลี่ยของผู้บริโภค
	$\delta^{15}N_{CONSUMER}$ และ $\delta^{15}N_{prey}$	= ค่าไอโซโทป
	$\Delta \delta^{15}N$	= เป็นค่า Trophic Enrichment Factor (TEF) ซึ่งสำหรับ ไนโตรเจน: 2-3‰ เป็นค่าที่นำมาใช้ (Ridzuan et al., 2017)
	TL_{base}	= basic trophic level

ผลและอภิปราย

1. ปริมาณ ($\delta^{13}C$) และ ($\delta^{15}N$) ในสิ่งมีชีวิต

จากการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนใน crustaceans 2 ชนิด gastropods 6 ชนิด bivalves 9 ชนิด echinoderm 1 ชนิด และกลุ่มผู้ผลิต พบว่าปริมาณ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ อยู่ในช่วง -26.6‰ ถึง -10.24‰ และ 1.93‰ ถึง 9.22‰ ตามลำดับ โดยปริมาณของ $\delta^{13}C$ ต่ำสุดคือเศษซากอินทรีย์อยู่ที่ -26.6‰ และสูงสุดคือปลิงทะเลอยู่ที่ -10.24 ± 0.56‰ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Satoshi et al. (2013) ที่พบปริมาณ $\delta^{13}C$ ในปลิงทะเล อยู่ที่ -13.4 ± 0.5 และ -15.3 ± 0.6‰ เนื่องจากผนังลำตัวของปลิงทะเลมีสารประกอบที่เป็นหินปูน (CaCO₃) ส่วนปริมาณ $\delta^{15}N$ ของสาหร่ายหน้าดินต่ำสุดอยู่ที่ 1.93‰ และสูงสุดอยู่ที่หอยสังข์หนาม 9.22 ± 0.25‰

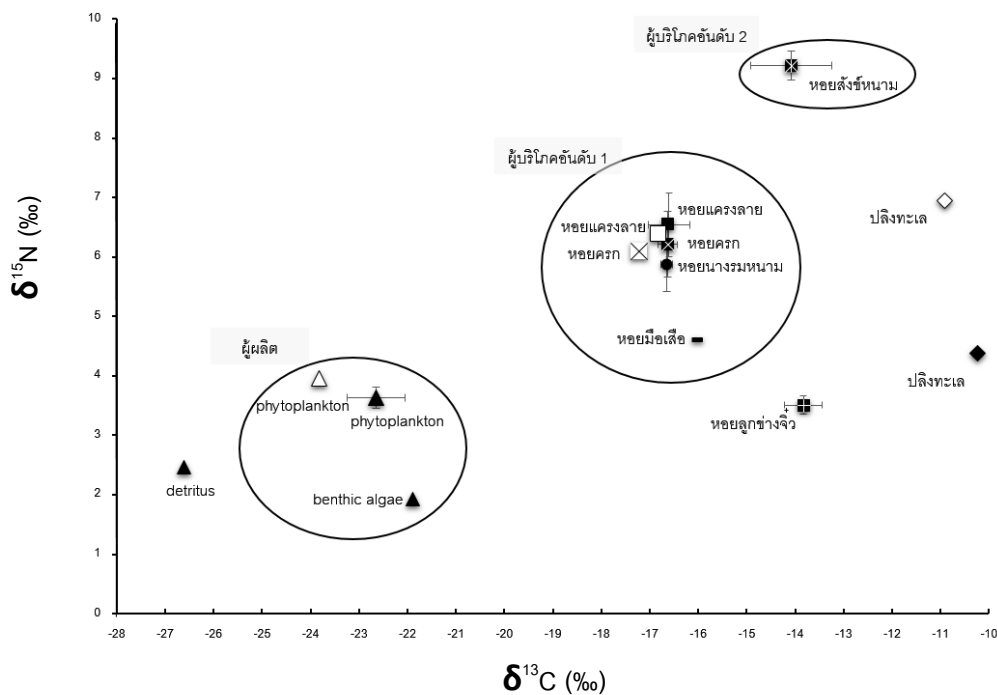
2. ลำดับการกิน (Trophic level) ในห่วงโซ่อาหาร

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ถูกนำมาใช้เพื่อติดตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ (Layman et al., 2012; Boonphakdee et al., 2013) แต่ในทางตรงกันข้ามปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนถูกใช้เพื่อกำหนด trophic level ของสิ่งมีชีวิต (Quintana-Rizzo et al., 2015; Arribas, 2015) ในการศึกษาครั้งนี้สามารถแบ่งลำดับการกินอาหารได้ 3 ระดับชั้น (ภาพที่ 2) ดังนี้ ระดับที่ 1 คือ กลุ่มผู้ผลิต ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช เศษซากอินทรีย์ และสาหร่ายหน้าดิน ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{13}C$ อยู่ในช่วง -21 ถึง -26‰, $\delta^{15}N$ อยู่ในช่วง 0 ถึง 4‰ ระดับที่ 2 คือ ผู้บริโภค ลำดับที่หนึ่ง ได้แก่ หอยแครงลาย (*Arca ventricosa*) หอยครก (*Chama* sp.) หอยนางรมหนาม (*Spondylus* sp.) เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{13}C$ อยู่ในช่วง -16 ถึง -18‰, $\delta^{15}N$ อยู่ในช่วง 5 ถึง 7‰ การที่กลุ่มหอยสองฝาในบริเวณอ่าวพร้าว และเกาะกุกีมีปริมาณ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 2) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตกลุ่มหอยสองฝา มีลักษณะการกินอาหารแบบกรองกินในน้ำ (Filter feeding) อาหารส่วนใหญ่คืออนุภาคแขวนลอยในน้ำ หรือกรองกินตะกอนตามผิวทราย (Deposit feeding) โดยใช้เท้าเคลื่อนที่เพื่อหาอาหาร (Piola et al., 2006) เช่นเดียวกับการศึกษาของ อภิรดี เมืองเดช (2544) ที่ศึกษาองค์ประกอบของอาหารที่พบในกระเพาะอาหารของหอยสองฝา ซึ่งพบแพลงก์ตอนพืช และเศษซากอินทรีย์ในกระเพาะอาหารของหอยสองฝา ระดับที่ 3 คือ ผู้บริโภคลำดับที่สองหรือผู้ล่า ได้แก่ หอยสังข์หนาม (*Chicoreus brunneus*) ซึ่งมีปริมาณ $\delta^{15}N$ มากกว่า 8‰ และ $\delta^{13}C$ อยู่ที่ 14.08‰ จะเห็นได้ว่าหอยสังข์หนามเป็นผู้ล่าสูงสุดใน

ห่วงโซ่อาหาร (ภาพที่ 2) และกินหอยสองฝาเป็นอาหารของ โดยจะใช้แรดูลา (radula) เจาะเปลือกหอยและหลังกรด เพื่อทำให้เปลือกเป็นรอยไหม้ เกิดเป็นรูเล็กๆ (Ponder & Vokes, 1988) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sun & Shin (2002) ที่พบว่าหอยสังข์หามกินหอยสองฝาเป็นอาหาร เนื่องจากพบหอยสองฝาส่วนใหญ่ถูกเจาะ

ปริมาณ $\delta^{15}\text{N}$ ของปลิงทะเลบริเวณอ่าวพร้าวมีค่าเท่ากับ 4.38‰ และเกาะภูเก็ตมีค่าเท่ากับ 6.95‰ (ภาพที่ 3) ซึ่งบ่งชี้ถึงการกินอาหารที่ต่างกันได้ โดยทั่วไปปลิงทะเลจะฝังตัวซูดรูอยู่ในโคลน ททราย หรืออาศัยอยู่ตามแนวปะการัง มีลักษณะการกินแบบใช้ปากดักจับอาหารตามพื้นท้องน้ำ และใช้เท้าท่อ (tube feet) สำหรับเคลื่อนที่เพื่อกินซากตะกอนอินทรีย์ตามพื้นทะเล (Satoshi *et al.*, 2013) จากเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลในบริเวณอ่าวพร้าว จึงทำให้มีการใช้สาร *dispersant* ในการขจัดคราบน้ำมันดิบในระยะแรก เพื่อให้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลง และจมลงสู่พื้นท้องน้ำ จึงสันนิษฐานว่าจากเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลให้แหล่งอาหารของปลิงทะเลที่อ่าวพร้าวเปลี่ยนไปจากเดิม จากศึกษาของ Hazen *et al.* (2011) ได้รายงานว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันดิบรั่วไหลทำให้แบคทีเรียบางชนิด (ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้) เพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ว่าปลิงบริเวณอ่าวพร้าวกินแบคทีเรียเหล่านี้

การศึกษาค้นคว้านี้ได้คำนวณตำแหน่งการกิน (Trophic position) ในผู้บริโภค (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นการประมาณตำแหน่งการกินของกลุ่มของผู้บริโภค พบว่า อยู่ระหว่าง 1.4 ถึง 2.8 โดยตำแหน่งการกินของหอยสังข์หามแสดงให้เห็นว่าเป็นผู้ล่าสูงสุดในห่วงโซ่อาหารของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้



ภาพที่ 2 ปริมาณของไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไนโตรเจน ($\delta^{15}\text{N}$) ในสิ่งมีชีวิตบริเวณอ่าวพร้าว (☒☒☒☒☒☒☒) และเกาะภูเก็ต (☒☒☒☒☒☒☒)

ตารางที่ 2 ค่าแสดงตำแหน่งการกิน (Trophic position) ของผู้บริโภคในบริเวณอ่าวพร้าว และเกาะกฐี

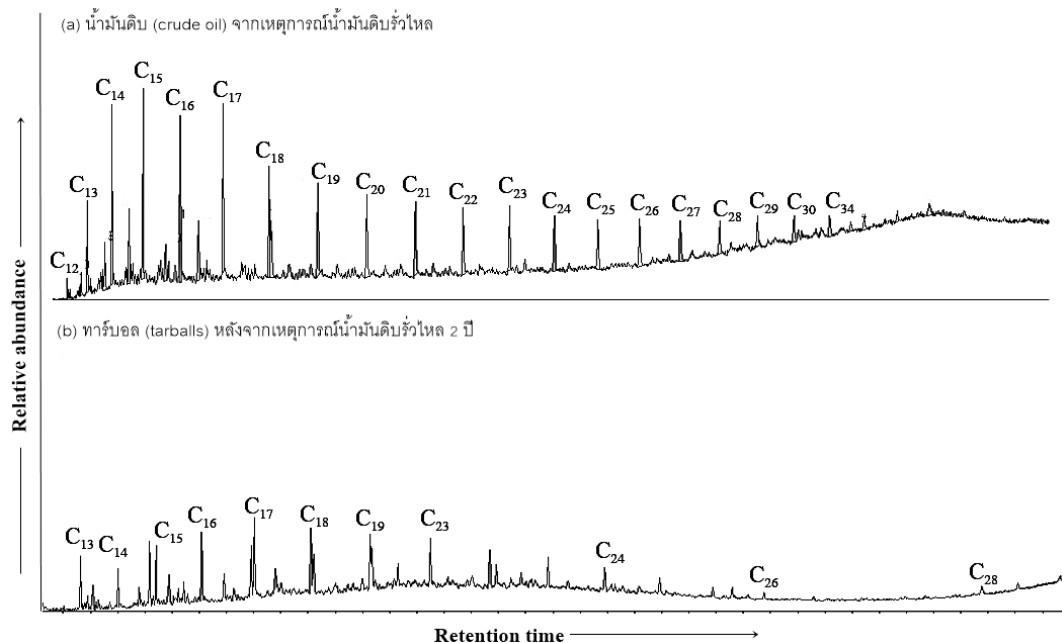
ผู้บริโภค (consumer)	เหยื่อ (prey)					
	phytoplankton	detritus	หอยแครงลาย	หอยครก	หอยนางรมหนาม	หอยมือเสือ
อ่าวพร้าว						
หอยแครงลาย	2.4					
<i>Arca ventricosa</i>						
หอยครก	2.2					
<i>Chama</i> sp.						
หอยนางรมหนาม	2.0					
<i>Spondylus</i> sp.						
หอยมือเสือ	1.4					
<i>Tridacna croea</i>						
หอยสังข์หนาม			2.1	2.4	2.2	2.8
<i>Chicoreus brunneus</i>						
ปลิงทะเล		1.8				
<i>Holothuria pardalis</i>						
<hr/>						
เกาะกฐี						
หอยแครงลาย	2.0					
<i>Arca ventricosa</i>						
หอยครก	2.2					
<i>Chama</i> sp.						
หอยตาวัว	1.7					
<i>monodonta labio</i>						
ปลิงทะเล		2.8				
<i>Holothuria pardalis</i>						

หมายเหตุ * ตัวเลขเป็นค่าแสดงตำแหน่งการกินของสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหาร ตัวอย่างเช่น หอยมือเสือกินแพลงก์ตอนพืช มีตำแหน่งการกินในห่วงโซ่อาหารที่ต่ำที่สุด คือ 1.4

2. Alkanes fingerprints ในน้ำมันดิบและทาร์บอล

จากการวิเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วย GC-MS ในตัวอย่างน้ำมันดิบที่เก็บได้จากอ่าวพร้าว เมื่อวันที่ 30 มกราคม 2559 พบว่ามีจำนวนอะตอมตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{34} โดยที่ปริมาณสูงสุดอยู่ที่ C_{14} และ C_{15} (รูปที่ 3a) และได้เก็บตัวอย่างทาร์บอลที่พบอยู่ตามชายหาดและโขดหินในอ่าวพร้าว มาทำการวิเคราะห์ พบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอม C_{12} , C_{20} , C_{21} , C_{22} , C_{25} , C_{27} และจำนวนอะตอมมากกว่า C_{28} หายไป (รูปที่ 3b) ซึ่งการศึกษาของ Suneel *et al.* (2013) ได้อธิบายว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปการย่อยสลายทางชีวภาพ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอม C_{17} ถึง C_{23} จะหมดไป และเมื่อระยะเวลาผ่านไปมากขึ้นสามารถย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมมากกว่า C_{31} ถึง C_{36} ได้ แต่อย่างไรก็ตามการย่อยสลายทางชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันดิบในแต่ละแหล่งกำเนิด (Wang *et al.*, 2015; Zakaria, 2001)

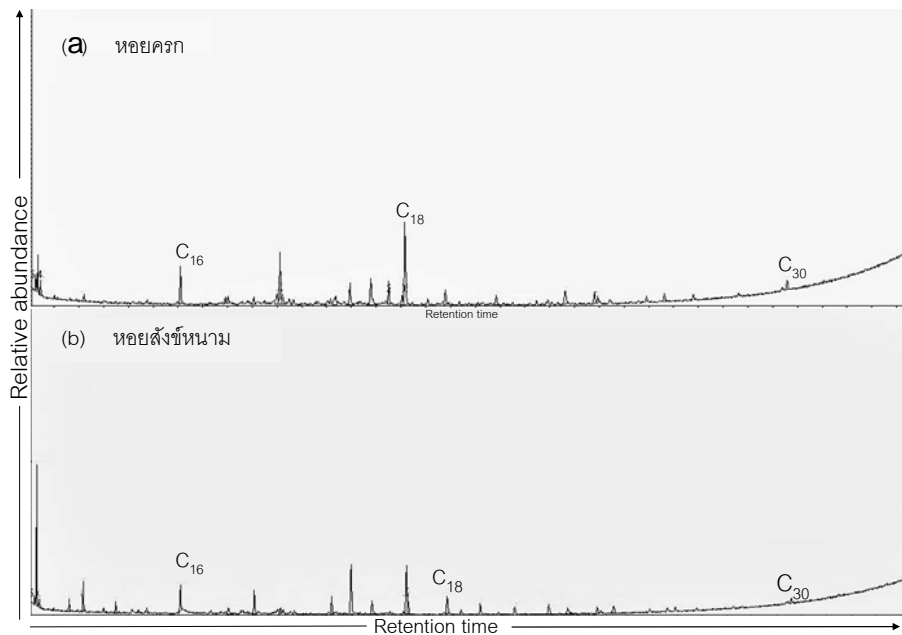
นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างทาร์บอลมีลักษณะคล้ายคลึงกับโครมาโตแกรม (Chromatograms) ของตัวอย่างน้ำมันดิบที่รั่วไหล เมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม 2556 และยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่จำนวนอะตอมเท่ากันอีกด้วย (ภาพที่ 3) ซึ่งในการศึกษาของ Preethy & Nilanjana, (2010) พบว่าน้ำมันดีเซล (Diesel fuel) มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมตั้งแต่ C₉ ถึง C₂₆ และเมื่อระยะเวลาผ่านไปผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพจะสามารถย่อยสลายน้ำมันดีเซลได้ถึง 95% ในระยะเวลา 10 วัน จึงสามารถสรุปได้ว่าทาร์บอลที่พบในการศึกษาค้างนี้มีแหล่งที่มาจากการรั่วไหลน้ำมันดิบรั่วไหล



ภาพที่ 3 Chromatograms ของสารประกอบ alkane ในน้ำมันดิบ (a) และทาร์บอล (b) จากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

3. การสะสมทางชีวภาพ (Biomagnification) ของสารประกอบ alkane ในห่วงโซ่อาหาร

ในการศึกษาค้างนี้ได้ตรวจสอบการสะสมของสารประกอบ alkane ในห่วงโซ่อาหาร ในหอยครก (*Chama* sp.) เนื่องจากเป็นผู้บริโภคลำดับที่หนึ่ง และหอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) ที่เป็นผู้บริโภคลำดับที่ 2 ซึ่งอยู่สูงสุดในห่วงโซ่อาหารของพื้นที่ศึกษา จากผลการวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่ามีสารประกอบ alkanes ในหอยครก (รูปที่ 4a) และหอยสังข์หนาม (รูปที่ 4b) นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าในหอยสังข์หนามมีสารประกอบ alkanes ที่เหมือนกับในหอยครก กลไกที่เป็นไปได้ในการถ่ายทอดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันดิบเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารคือ หอยสังข์หนามกินหอยครก ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ Riera & Richard (1996) ที่พบว่าหอยสังข์หนามกินหอยครกเป็นอาหาร เนื่องจากหอยครกเป็นกลุ่มหอยสองฝาที่อาศัยในเขตน้ำตื้นบริเวณแนวปะการังหรือโขดหิน และเกาะติดอยู่กับก้อนปะการัง ไม่สามารถเคลื่อนที่หาอาหารเองได้ และคัดเลือกอนุภาคอาหารที่เหมาะสมเป็นอาหาร (selective feeder) จึงเป็นอาหารของหอยสังข์หนามได้ง่ายกว่ากลุ่มหอยสองฝาที่ฝังตัวอยู่ในพื้นดินหรือทราย ที่สามารถใช้เท้า (mantle) เคลื่อนที่เพื่อหลบภัยได้



ภาพที่ 4 Chromatograms ของของสารประกอบ alkane ในตัวอย่างสิ่งมีชีวิตหอยครก (a) หอยสังข์หนาม (b) จากบริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง

บทสรุป

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สรุปได้ว่าสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบยังคงอยู่ในระบบนิเวศทางทะเลบริเวณอ่าวพร้าว ซึ่งมีแหล่งที่มาจากเหตุการณ์น้ำมันดิบที่รั่วไหล และยังพบว่ามีการถ่ายทอดสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารซึ่งพบในผู้บริโภคลำดับที่หนึ่ง และผู้ล่าลำดับสูงสุด จึงบ่งชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 ปี บริเวณอ่าวพร้าว เกาะเสม็ด จังหวัดระยอง ยังมีการสะสมของน้ำมันดิบอยู่ ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ยืนยันได้ว่าหอยสังข์หนาม (*C. brunneus*) สามารถใช้ตรวจสอบการสะสมของสารประกอบปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ตกค้างยาวนานในระบบนิเวศทางทะเลได้ นอกจากนี้ หากใช้ GC-IRMS จะยืนยันแหล่งที่มาของสารบอได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิษวิทยาและอนามัยสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

จุมพล สงวนสิน, สุธิดา กาญจนนิตเรกลาภ, ศุภวัตร กาญจนนิตเรกลาภ และสมพงษ์ บันติวิวัฒน์กุล. (2548)

.การศึกษาการสะสมของสารปิโตรเลียม ไฮโดรคาร์บอนในสัตว์พื้นทะเลบางชนิด: เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2548. กรุงเทพฯ กรมประมงราชการบริหารส่วนกลาง. 32 หน้า.

ธีระพงศ์ ดั่งดี. (2547). หอยทะเล หอยฝาเดียว. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 134 หน้า.

พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล. (2556). ภาพรวมแนวทางการจัดการน้ำมันรั่วไหล (Oil Spill) ลงสู่ทะเล. วันที่ค้นข้อมูล 15 ธันวาคม 2555, เข้าถึงข้อมูลได้จาก www.eng.chula.ac.th

- อภิรัตน์ เมืองเดช. (2544). ปริมาณโลหะหนักในโลหะหนักในหอยแครงบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. ชลบุรี: สถาบันรช นครินทร์. ใน การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการ จัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 4-7 กุมภาพันธ์ 2545.
- Arribas, R., Díaz-Paniagua C., Caut S., Gomez-Mestre, I. (2015) Stable Isotopes Reveal Trophic Partitioning and Trophic Plasticity of a Larval Amphibian Guild. *PLoS ONE*, 10, DOI:10.1371/journal.pone.0130897.
- Boonphakdee, T., Kasai A., Fujiwara. T., Sawangwong, P., & Cheevaporn, V. (2008). Combined Stable Carbon Isotope and C/N Ratios as Indicators of Source and Fate of Organic Matter in the Bangpakong River Estuary, Thailand. *Environment Asia*, 1, 28-36.
- Boonphakdee, T. Sichan, P. (2013). Is Mangrove Source of Organic Matter for Cultured Bivalves in an Adjacent Mudflat? a multiple Stable Isotope Study. In The Second Environment Asia International conference on "Human Vulnerability and Global Environmental Change" 15-17 May 2013 (pp. 545-552).
- Hazen, T.C. (2000). Deep-sea oil plume enriches psychrophilic oil-degrading bacteria. *Science*, 330, DOI: 10.1126/science.1195979
- Layman, C.A, Araujo, M.S, Boucek R, Hammerschlag-Peyer C.M., Harrison E, Jud Z.R, Matich P, Rosenblatt A.E, Vaudo J.J, Yeager L.A, Post D.M. (2012). Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biological Reviews*, 87, 545-562.
- Minagawa, M., & Wada, E. (1984). Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 48, 1135-1140.
- Peterson, B.J., Howarth, R.W., & Garritt, R.H. (1985). Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227, 1361-1363.
- Piola, R.F., Moore, S.K., Suthere, I.M. (2006). Carbon and nitrogen stable isotope analysis of three types of oyster tissue in an impacted estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 66, 255-266.
- Preethy, C., & Nilanjana, D. (2010). Biosurfactant production and diesel oil degradation by yeast species *Trichosporon asahii* isolated from petroleum hydrocarbon contaminated soil. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 12, 6942-6953.
- Ponder, W.F. & Vokes, E. (1988). A revision of the Indo-West Pacific fossil and Recent species of *Murex* s.s. and *Haustellum* (Mollusca: Gastropoda: Muricidae). Records of the Australian Museum, Supplement. 8, 1-57.
- Quak, S.Y.M., Ziegler, D.A., Benner, G.S., Evans, S., Todd, A.P., Gillis, G.L., Vongtanaboon, S., Jachowski, N. & Bouma, J.T. (2016). Processes affecting the spatial distribution of seagrass meadow sedimentary material on Yao Yai Island, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 182, 136-145.

- Quintana-Rizzo, E., Torres, J.J., Ross, W.S., Romero, I., Watson, K., Goddard, E., & Hollander, D. (2015). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in deep-living fishes and shrimps after the Deepwater Horizon oil spill, Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 94, 241-250.
- Riera, P., & Richard, P. (1996). Isotopic Determination of Food Sources of *Crassostrea gigas* Along a Trophic Gradient in the Estuarine Bay of Marennes-Oleron. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42, 347-360.
- Ridzuan, D. S., Rawi. C. S. Md., Hamid, S. A., & Al-Shami, S. A. (2017). Determination of food sources and trophic position in Malaysian tropical highland streams using carbon and nitrogen stable isotopes. *Acta Ecologica Sinica*. 37. 97-104.
- Rumolo, P., Bonanno, A., Barra, M., Fanelli, E., Calabrò, M., Genovese, S., Ferreri, R., Mazzola, S., & Basilone G. (2016). Spatial variations in feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species in the central Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 115, 65-77.
- Satoshi, W., Masashi K., Joemel, G. S., & Maria, J. H. (2013). Diet-tissue Stable Isotopic Fractionation of Tropical Sea Cucumber, *Holothuria scabra*. *JARQ*, 47, 127-134.
- Suh, Y.J., & Shin, K.H. (2013). Size-related and seasonal diet of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*), as determined using dual stable isotopes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 94-105.
- Suneel, V., Vethamony, P., Zakaria, M.P., Naik, B.G. & Prasad, K.V.S.R. (2013). Identification of sources of tarballs deposited along the Goa coast, India, using fingerprinting techniques. *Marine Pollution Bulletin*, 70, 81-89.
- Takeuchi, I., Miyoshi, N., Mizukawa, K., Takada, H., Ikemoto, T., Omori, K., & Tsuchiya, K. (2009). Biomagnification profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons, alkylphenols and polychlorinated biphenyls in Tokyo Bay elucidated by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotope ratios as guides to trophic web structure. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 663-671.
- Wang, M., Wang, C., & He, Shiji. (2015). Source identification of oil spills using compound specific carbon isotope analysis based on "7-16" oil spill in Dalian, China. *Aquatic Procedia*, 3, 197-202.
- Yang, C., Hao, R., Du, X., Wang, Q., Deng, Y., Sun, R., & Zheng, Z. (2018). GC-TOF/MS-based metabolomics studies on the effect of protein sources in formulated diet for pearl oyster *Pinctada fucata martensii*. *Aquaculture*, 486, 139-147.
- Yanagisawa, T. (1998). Aspects of the biology and culture of the sea cucumber. In *Tropical mariculture* (pp. 291-308). London: Academic Press.
- Zakaria, M. P. (2001). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) and Hopanes in Stranded Tar-balls on the Coasts of Peninsular Malaysia: Applications of Biomarkers for Identifying Sources of Oil Pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 42, 1357-1366.