

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ลักษณะสมบัติของปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ

ปิโตรเลียมหรือน้ำมันดิบ (Crude oil) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดตามธรรมชาติโดยการทับถมของสารอินทรีย์ทั้งพืชและสัตว์ ภายใต้พื้นผิวโลกเป็นระยะเวลาหลายล้านปี อาจอยู่ในสภาพของของแข็ง ของเหลว ของก๊าซได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของความดันและอุณหภูมิที่มันอยู่ โดยมีธาตุคาร์บอน 84 – 87 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไฮโดรเจน 11 –14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นยังมี กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน โลหะต่าง ๆ ปนอยู่ด้วยในปริมาณเล็กน้อย ดังตารางที่ 2.1

น้ำมันดิบเป็นปิโตรเลียมเหลวชนิดหนึ่งที่มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ และเป็นสารผสมที่ประกอบด้วยจุดเดือดที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

อีกทั้งน้ำมันดิบจากแหล่งต่าง ๆ ในโลกมีส่วนประกอบและคุณสมบัติไม่เหมือนกัน เพราะแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบสารอินทรีย์มากมายชนิดต่างกันออกไป คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันดิบ จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนขององค์ประกอบที่มีอยู่ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว (Kinghorn,1983) สำหรับน้ำมันดิบที่นำมากลั่นด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ กันนั้น จะแยกสารออกมาต่างกัน โดยแบ่งออกได้อย่างหยาบ ๆ มี 3 ประเภท คือ น้ำมันดิบแบบหนัก น้ำมันดิบประเภทนี้จะมีการตกค้างกลั่นเป็นน้ำมันเตาได้มาก ส่วนน้ำมันดิบแบบเบา ส่วนใหญ่ที่ได้จากการกลั่นคือ เบนซิน ที่ใช้ในรถยนต์ และประเภทที่มีคุณสมบัติกลาง ๆ เรียกว่า พวกมีเดียม (วีระ ธีรภัทร, 2528)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของน้ำมันดิบ (Kinghorn,1983)

ธาตุ (Element)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Weight percentage)
คาร์บอน(Carbon)	84 – 87
ไฮโดรเจน (Hydrogen)	11 – 14
ออกซิเจน (Oxygen)	0.1 – 2.0
ซัลเฟอร์ (Sulfur)	0.06 – 2.0
ไนโตรเจน (Nitrogen)	0.1 – 2.0

ตารางที่ 2.2 จุดเดือดต่างๆ ของลำดับส่วนของน้ำมันดิบ (Speight, 1990)

ลำดับส่วนของน้ำมันดิบ (Fraction)	จุดเดือด °C (Boiling range)	จุดเดือด °F (Boiling range)
เนฟธาเบา (light naphtha)	-1 – 150	30 – 300
แก๊สโซลีน (Gasoline)	-1 – 180	30 – 355
เนฟธาหนัก (Heavy naphtha)	105 – 205	300 – 400
น้ำมันก๊าด (Kerosene)	205 – 260	400 – 500
น้ำมันเตา (Stove oil)	205 – 290	400 – 550
Light gas oil	260 – 315	400 – 600
Heavy gas oil	315 – 425	600 – 800
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil)	>400	>750
Vacuum gas oil	425 - 600	800 – 1100
Residuum	>600	>1100

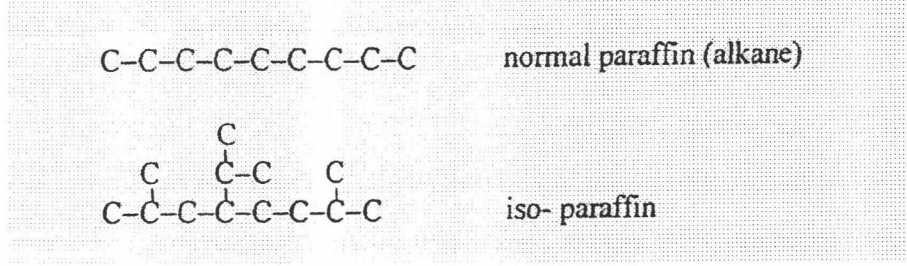
ลักษณะสมบัติของปิโตรเลียมจะแตกต่างกันไปตามสัดส่วนและองค์ประกอบ โดยสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

### 2.1.1 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Components)

2.1.1.1 อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างอะตอมเป็นห่วงโซ่เปิด (Straight chain) อาจเป็นห่วงโซ่ที่มีการแตกกิ่ง (Branch chain) หรือไม่มีการแตกกิ่ง (Continuous chain) ซึ่งจำแนกเป็น

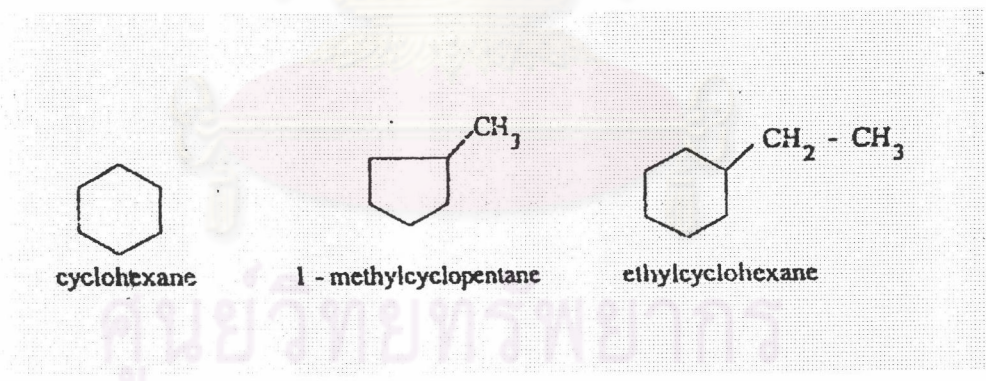
(ก) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดพันธะเดี่ยว อะตอมของคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ พวกนี้มีจุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย ได้แก่ พาราฟิน (Paraffin) หรือ พวกอัลเคน (Alkane) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_nH_{2n+2}$  มีประมาณ 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ ในบ่อน้ำมัน พาราฟินของน้ำมันดิบปิโตรเลียมมีความยาวของโซ่ตั้งแต่คาร์บอน 1 อะตอมคาร์บอนในรูปของมีเทน (Methane) จนถึงมากกว่า 30 อะตอมคาร์บอน

นอกจากนี้ Schobert (1990) ยังพบว่า มีอัลเคนซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอนถึง 78 อะตอมคาร์บอน ( $C_{78}H_{158}$ )



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างของพาราฟิน  
ที่มา : Ampai (1999)

นอกจากพาราฟิน (Paraffin) หรือ พวกอัลเคน (Alkane) แล้ว ยังมีแนฟทีน (Naphthenes) หรือ ไซโคลพาราฟิน (Cycloparaffin) หรือเรียกว่า อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Alicyclic hydrocarbons) ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่ประกอบด้วยวงไซโคลอัลเคน (Cycloalkane) 1 วงหรือมากกว่า ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_nH_{2n}$  และสารประกอบซึ่งมีวงไซโคลอัลเคน 5 – 6 วง ส่วนใหญ่จะพบในน้ำมันดิบ ซึ่งแนฟทีนที่พบในน้ำมันดิบส่วนใหญ่จะมีหมู่แอลคิลต่ออยู่ (Alkyl side chain) และสัดส่วนของแนฟทีนในน้ำมันดิบจะแตกต่างกันไปตามประเภทของน้ำมันดิบ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของแนฟทีน  
ที่มา : ปัญจพล ชินตม (2543)

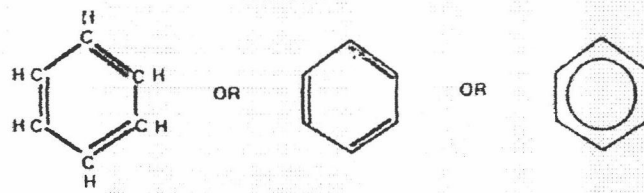
(ข) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อะตอมของคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ชนิดพันธะคู่ (Double bonds) หรือพันธะสาม (Triple bonds) พบน้อยมาก มักพบในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน ได้แก่ พวกอัลคีน (Alkene) หรือ โอลิฟิน (Olefin) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_nH_{2n}$  , ไซโคลอัลคีน (Cycloalkene) และอัลไคน์ (Alkyne) ซึ่งมีพันธะสาม (Triple bonds) ใน

โมเลกุลและมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_nH_{2n-2}$  ส่วนไดอิน (Dienes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ที่มีพันธะคู่ (Double bonds) 2 ที่ ในโมเลกุล

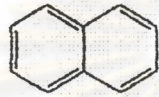
(ค) อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons)

เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและมีวงแหวนเบนซีนเป็นองค์ประกอบ อย่างน้อย 1 วง ตัวอย่างเช่น เบนซีน แนฟทาลิน และฟิแนนทรีน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ  $C_nH_{2n-6}$  โดยที่ R คือ จำนวนวงของอะโรมาติก ในน้ำมันดิบจะมีสารประกอบพวกอะโรมาติกในสัดส่วนที่หลากหลายนตั้งแต่ 10 - 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบ (Atlas, 1995) สัดส่วนปริมาณของอะโรมาติกจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของน้ำมันดิบ อะโรมาติกที่ไม่มีหมู่ฮัลลิดที่วงแนฟทีน จะมีจุดเดือดต่ำ ตัวอย่างเช่น โทลูอิน ไซลีน ซึ่งจะพบได้ในลำดับส่วนของน้ำมันเบนซีน (Gasoline fraction) ลำดับส่วนของอะโรมาติกที่ปราศจากวงแนฟทีนจะพบได้ในน้ำมันปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) สารประกอบพวกอะโรมาติกส่วนมากจะพบได้ในลำดับส่วนแอสฟัลท์ (Asphalt fraction) (Wilson และ Jones, 1993) ตัวอย่างเช่น แนฟทาลิน ฟิแนนทรีน และแอนทราซีน นอกจากนี้สารกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนยังรวมถึงสารพวกโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons : PAHs) สารประกอบประเภทนี้มีความเป็นพิษสูงที่สุด มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และภายใน 24 ชั่วโมงมีการสลายตัวได้ถึง 52 - 79 เปอร์เซ็นต์ (สุจิตรา เชาว์ปรีชา, 2530)

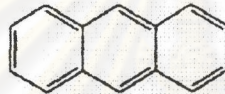
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



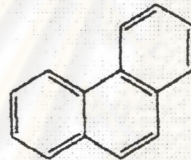
**Benzene ring**



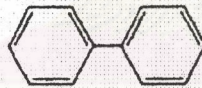
**Naphthalene**



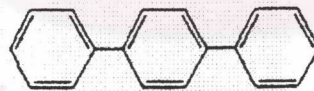
**Anthracene**



**Phenanthrene**



**Biphenyl**



**Terphenyl**

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของสารพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ที่มา : Ampai (1999)

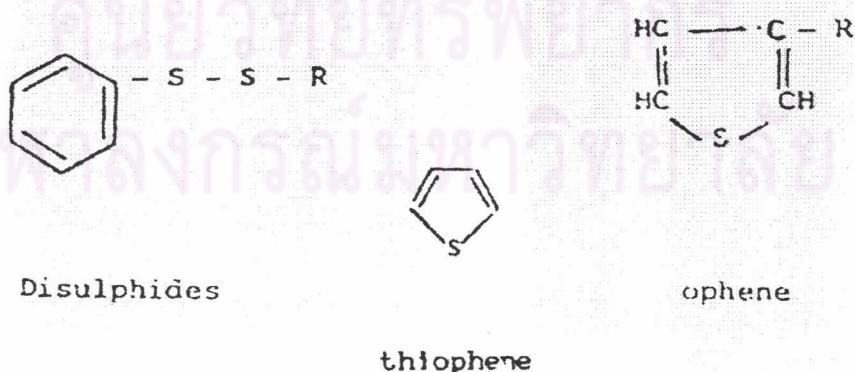
2.1.2 สารประกอบที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (Ampai, 1999 ; ปัญจพล ชีโนดม, 2543)

น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่ประกอบด้วย สารประกอบของกำมะถัน สารประกอบของไนโตรเจน สารประกอบของออกซิเจน สารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะ

### 2.1.2.1 สารประกอบของกำมะถัน (Sulfur – containing compound)

ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total sulfur) มีตั้งแต่ 0.04 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพาราฟินชนิดเบา (Light paraffin oil) จนถึง 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำมันดิบชนิดหนัก แต่ Davis (1967) ได้รายงานว่าอาจมีปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันดิบได้มากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์

สำหรับน้ำมันดิบที่มีกำมะถันสูง เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเนื้อกำมะถันอาจพบว่าไม่สูงนัก แต่จำนวนสารประกอบที่มีกำมะถันอยู่ด้วยอาจมีมากทีเดียว ดังตัวอย่างเช่น น้ำมันดิบที่มีเนื้อกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อาจมีจำนวนโมเลกุลของสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยมากถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของสารประกอบทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมันและมักปรากฏว่าน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีปริมาณกำมะถันสูงตามไปด้วยแต่ก็ไม่แน่นอนนักสารประกอบกำมะถันในน้ำมันดิบส่วนใหญ่ก็มีจุดเดือดสูง จึงมักอยู่ในส่วนหนัก ๆ เช่น ส่วนของน้ำมันดิเซลและน้ำมันเตา ในทางอุตสาหกรรมน้ำมันจะแบ่งสารประกอบกำมะถันออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ได้แก่ ก๊าซไข่เน่า ( $H_2S$ ) และประเภทที่ไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ได้แก่ ซัลไฟด์ ไคซัลไฟด์ ไทโอฟิน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สารประกอบของกำมะถันที่พบในน้ำมันดิบ

ที่มา : ปัญจพล ชีโนดม (2543)

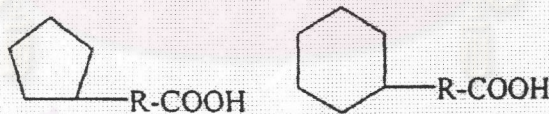
Cookson (1995)

### 2.1.2.2 สารประกอบที่มีออกซิเจน (Oxygen – containing compounds)

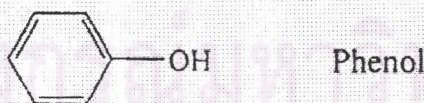
โดยปกติน้ำมันดิบจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่อย่างไรก็ตามส่วนที่เหลือที่สามารถระเหยได้อาจมีองค์ประกอบของออกซิเจนสูงถึง 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

สารประกอบของออกซิเจนสามารถบ่งชี้ได้ในรูปของกรดแนฟทีนิก (Naphthenic acids) ดังรูปที่ 2.5 เพราะไฮโดรคาร์บอนที่ต่ออยู่กับหมู่กรดมักเป็นแนฟทีน ดังนั้นจึงเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) 1 หมู่หรือหลายหมู่ต่อดูดอยู่กับกลุ่มไฮโดรคาร์บอน โดยที่มีฤทธิ์เป็นกรดถ้ามีอยู่มากในน้ำมันดิบจะทำให้เกิดการกัดกร่อนในเครื่องกลั่นได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ออกซิเจนอาจถูกกำจัดได้ด้วยกระบวนการ Hydrotreating ซึ่งออกซิเจนจะรวมกับไฮโดรเจนกลายเป็นน้ำ

นอกจากอยู่ในรูปของกรดแนฟทีนิกแล้ว ยังอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอล (Phenolic compound) ดังรูปที่ 2.5 และสารอื่น ๆ ที่ไม่เป็นกรด เช่น คีโตน (Ketones) , เอสเทอร์ (Esters), อีเทอร์ (Ethers) และ แอนไฮไดรด์ (Anhydrides) แต่มีปริมาณน้อยมาก ถ้ามีอยู่ในน้ำมันดิบมักพบอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำมันก๊าด สารพวกนี้ทำให้สีของน้ำมันก๊าดเสื่อมลง ส่วนใหญ่ฟีนอลมักเกิดเป็นจำนวนมาก จากที่สารประกอบของออกซิเจนกับไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลใหญ่ ๆ แตกตัวออกในกระบวนการ Cracking



Naphthenic acids

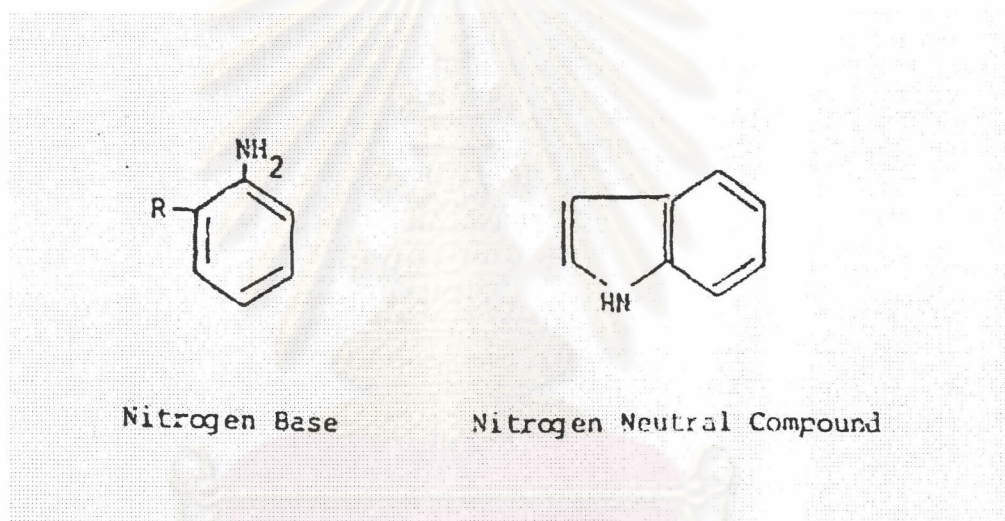


Phenol

รูปที่ 2.5 สารประกอบของออกซิเจนที่พบในน้ำมันดิบ

ที่มา : Ampai (1999)

2.1.2.3 สารประกอบของไนโตรเจน (Nitrogen – containing compounds) ปริมาณสารประกอบของไนโตรเจนพบน้อยมากในน้ำมันดิบ โดยทั่วไปพบอยู่ในช่วง 0.1 – 0.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่น้ำมันดิบบางประเภทอาจพบได้สูงถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมากจะพบสารประกอบของไนโตรเจนสูงมาก ในส่วนของแอสฟัลต์ (Asphaltic) สารประกอบของไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของไนโตรเจนที่เป็นด่าง (Nitrogen bases) และสารที่เป็นกลาง (Neutral compound) ดังรูปที่ 2.6 ไนโตรเจนที่เป็นด่างมักทำให้น้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดเปลี่ยนสีคล้ำลง โดยเฉพาะเมื่อมีฟีนอลปนอยู่ด้วย ถ้าอยู่ในน้ำมันเครื่องสารประกอบไนโตรเจนมักจะทำให้เกิดยางเหนียวขึ้นระหว่างใช้สารประกอบไนโตรเจนสามารถกำจัดได้โดยใช้กรดกำมะถันหรือใช้ไฮโดรเจนในกระบวนการ Hydrotreating เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นก๊าซแอมโมเนีย



รูปที่ 2.6 สารประกอบไนโตรเจนที่พบในน้ำมันดิบ

ที่มา : ปัญจพล ชิโนดม (2543)

2.1.2.4 สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic compound) ในน้ำมันดิบมีสารประกอบอนินทรีย์ 2 อย่าง คือ น้ำและเกลือ ในน้ำมันดิบจะมีน้ำอยู่ด้วยเสมอเพราะเป็นไปตามสภาพธรรมชาติของแหล่งน้ำมันซึ่งมักจะมีน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ ๆ นอกจากนั้นน้ำมันมักจะติดมากับเรือบรทุกน้ำมันดิบเนื่องจากการล้างเรือ ส่วนเกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่เล็กน้อยมักจะละลายน้ำ ที่พบทั่วไปจะเป็นเกลือคลอไรด์ของโซเดียม แมกนีเซียมและแคลเซียม แต่เกลือของทองแดง สังกะสี เหล็ก และวานาเดียม พบเพียงเล็กน้อย และในเกลื่อดังกล่าวข้างต้นเกลือของแมกนีเซียมคลอไรด์ไม่พึงประสงค์ที่สุด เนื่องจากเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วมีน้ำรวมอยู่ด้วยจะแตกตัวออกเป็นกรดเกลือกัดกร่อนท่อในเตาและเครื่องกลั่นอื่น ๆ จึงจำเป็นต้องทำให้เป็นกลางโดยการเติมโซดาไฟลงไปก่อนเข้าเตา เกลือทุกชนิดทำอันตรายเครื่องมือ โดยเฉพาะเตา เพราะก่อให้เกิดคราบตะกรันและโค้ก



(Coke) ในท่อ เป็นสาเหตุให้การถ่ายเทความร้อนไม่สะดวกท่ออาจร้อนเกินไปจนแตกได้ ดังนั้นทางที่ดีต้องกำจัดเกลือให้หมดก่อน โดยการล้างน้ำมันดิบด้วยน้ำที่ละลายเกลือออกไปโดยเครื่องกำจัดเกลือ (Desalter)

#### 2.1.2.5 สารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะ (Metallic compound)

สารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะ เช่น โลหะพวกวานาเดียม (Vanadium) นิกเกิล (Nickel) และเหล็ก (Iron) มีอยู่ในน้ำมันดิบในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่มีความสำคัญมาก โดยจะรวมตัวกับสารอินทรีย์เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลซับซ้อน ซึ่งมักจะประกอบด้วยวงแหวนแนฟทีนหรือวงแหวนอะโรมาติกพร้อมทั้งมีแชนเป็นพาราฟินร่วมด้วย สารพวกนี้มีจุดเดือดสูง ไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีการ Desalting เพราะเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ จึงมักจะอยู่ในส่วนของกากที่เป็นน้ำมันเตา ถ้ามีเกลือชนิดนี้มากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำมันเตามีค่าสูง และเกิดการกัดกร่อนของปล่องไฟได้

### 2.2 แหล่งกำเนิดของมลภาวะจากน้ำมันหรือสารไฮโดรคาร์บอน

การปนเปื้อนของสารไฮโดรคาร์บอน สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ

#### 2.2.1 การปนเปื้อนของไฮโดรคาร์บอนจากกระบวนการธรรมชาติ

ในกระบวนการตามธรรมชาติ พบว่าสร้างไฮโดรคาร์บอนได้เอง โดยแบคทีเรียและไฟโตแพลงค์ตอนบางชนิดสามารถสังเคราะห์อัลเคนที่จำนวนคาร์บอนอะตอม  $C_{15}$ ,  $C_{17}$ ,  $C_{19}$ ,  $C_{21}$  ได้ (Farrington และ Meyer, 1975; Risebrough และคณะ, 1983) หรือการสังเคราะห์อัลเคนกลุ่ม  $C_{25}$ ,  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ ,  $C_{31}$  ของพืชบกจำพวก Marsh grasses (Jones, 1983; Risebrough และคณะ, 1983) นอกจากนี้ยังมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนสู่แหล่งน้ำโดยกระบวนการทางธรณีเคมี (Geochemistry) เช่น การผุพังของตะกอน การซึมผ่านตามธรรมชาติ เป็นต้น และรวมถึงกระบวนการตามธรรมชาติอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น การเกิดไฟไหม้ป่า (จรรยา สารินทร์, 2537)

#### 2.2.2 การปนเปื้อนของไฮโดรคาร์บอนจากกิจกรรมของมนุษย์

การใช้น้ำมันในกิจกรรมของโรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่น ๆ ของมนุษย์ย่อมเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะแหล่งน้ำต่าง ๆ ซึ่งรองรับน้ำมันที่เหลือใช้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ และกิจกรรมอื่น ๆ ทั้งของภาครัฐและเอกชน มีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ มีมาก ดังนั้นความต้องการใช้น้ำมันจะเพิ่มเป็นเงาตามตัว และเมื่อมีการใช้มากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการปนเปื้อนของน้ำมันสู่แหล่งน้ำอันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

2.2.2.1 การระบายน้ำทิ้งที่มีน้ำมันปนเปื้อน เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม โรงกลั่นน้ำมัน น้ำทิ้งจากชุมชน เป็นต้น

2.2.2.2 การรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำจากอุบัติเหตุในการขนถ่ายและขนส่งน้ำมัน เช่น ท่อขนถ่ายน้ำมันชำรุด เรือขนส่งน้ำมันชนกัน หรือเรือสินค้าชนกัน และจากถังเก็บน้ำมันใต้ดินเก่าๆ เป็นต้น

2.2.2.3 การเททิ้งน้ำมันที่ใช้แล้ว เช่น จากเรือ โรงงานอุตสาหกรรม และบ้านเรือนที่ตั้งอยู่ริมน้ำ

2.2.2.4 กิจกรรมการขุดเจาะน้ำมันและกระบวนการในการกลั่นน้ำมัน

2.2.2.5 การชะล้างคราบน้ำมันโดยน้ำฝนแล้วระบายลงสู่แหล่งน้ำ เช่น บริเวณถนนในเขตชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม หรือสถานบริการขายน้ำมัน เป็นต้น

ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นเป็นสาเหตุให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำมันดิบสู่สิ่งแวดล้อม และสร้างความเสียหายแก่ระบบนิเวศเนื่องจากเกิดการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางบกและทางน้ำ (Atlas,1995;Korda และคณะ,1997)

2.3 การปนเปื้อนของน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อม (Contamination of crude oil in the environments) (ปัญญาพล ชีโนคม,2543 )

2.3.1 การปนเปื้อนของน้ำมันดิบสู่สิ่งแวดล้อมทางบก (Contamination of crude oil in the terrestrial environment)

แหล่งสำคัญของน้ำมันดิบที่สำคัญคือ มาจากกิจกรรมของมนุษย์ และสามารถสรุปแบ่งออกเป็น 3 แหล่งใหญ่ ๆ ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม คือ แหล่งแรกเป็นการปนเปื้อนในระดับต่ำอย่างต่อเนื่อง เช่น จากพื้นผิวถนน , น้ำทิ้งจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม และการไหลซึมอย่างช้า ๆ จากถังเก็บน้ำมันใต้ดินเก่า ๆ แหล่งที่สอง คือ การปนเปื้อนในปริมาณมากซึ่งมาจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง และการรั่วไหลออกจากท่อขนส่ง และสุดท้ายแหล่งที่สามเป็นการไหลซึมของน้ำมันดิบจากแหล่งน้ำมันตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันดิบเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางบก ซึ่งการปนเปื้อนของน้ำมันดิบลงสู่ดิน สามารถแบ่งแยกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ 3 ประเภท (Ampai ,1999)

2.3.1.1 การแพร่กระจาย (Distribution)

การแพร่กระจายของน้ำมันดิบในดินขึ้นอยู่กับปริมาณของคราบน้ำมัน ความหนืดของน้ำมัน อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ความสูงต่ำของภูมิประเทศ ความพรุนของดิน ความขรุขระของพื้นผิว หลุม (The litter) พืชปกคลุมดิน และสภาวะการย่อยสลายจุลินทรีย์อื่น ๆ ซึ่ง

การแพร่กระจายแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ การแพร่กระจายตามแนวนอน(Horizontal) และการแพร่กระจายตามแนวตั้ง (Vertical) เช่น น้ำมันดิบที่มีค่าความหนืดสูง ได้แก่ น้ำมันชนิดหนักจะแพร่กระจายในแนวนอน แต่ในขณะที่น้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำจะแทรกตัวเข้าสู่ดินในแนวตั้งได้มากกว่า การแพร่กระจายตามแนวนอนจะเพิ่มขึ้นตามถนนหรือพื้นที่ที่ถูกปนเปื้อน แต่ในเวลาเดียวกันจะเกิดกระบวนการของการระเหยช่วยในการกำจัดไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมัน น้ำมันจะเข้ารวมกับแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน ซึ่งจะมีแนวโน้มที่จะถูกดูดซับกลายเป็นหินแข็ง(Solid matrix) แต่ถ้ามีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพียงพอเข้าสู่ความจุของดินที่เหลือ (Residual capacity of soil) ได้มากกว่า และมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายตามแนวตั้งโดยน้ำสามารถซึมผ่านได้ต่ำ จนมีการสะสมเป็น "Pancake" และแพร่กระจายต่อไป (Atlas ,1984 ; Baker และคณะ,1994 ; Reisinger ,1995) ความสัมพันธ์ที่สำคัญของพื้นที่ผิวของดินกับการแปรผันปริมาณการรั่วไหลมีผลต่อมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน ชนิดของดินและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ การแพร่กระจายอย่างช้า ๆ และมีปริมาณไม่มากมีผลต่อมลพิษแหล่งน้ำใต้ดินมากกว่าพื้นที่ผิวของดิน แต่ในทางตรงกันข้าม การแพร่กระจายอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมากมีผลต่อการปนเปื้อนบนพื้นที่ผิวดิน การที่ฝนตกก่อนและระหว่างการรั่วไหลของน้ำมันจะช่วยลดการแพร่กระจายตามแนวตั้งและช่วยล้างคราบน้ำมันสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

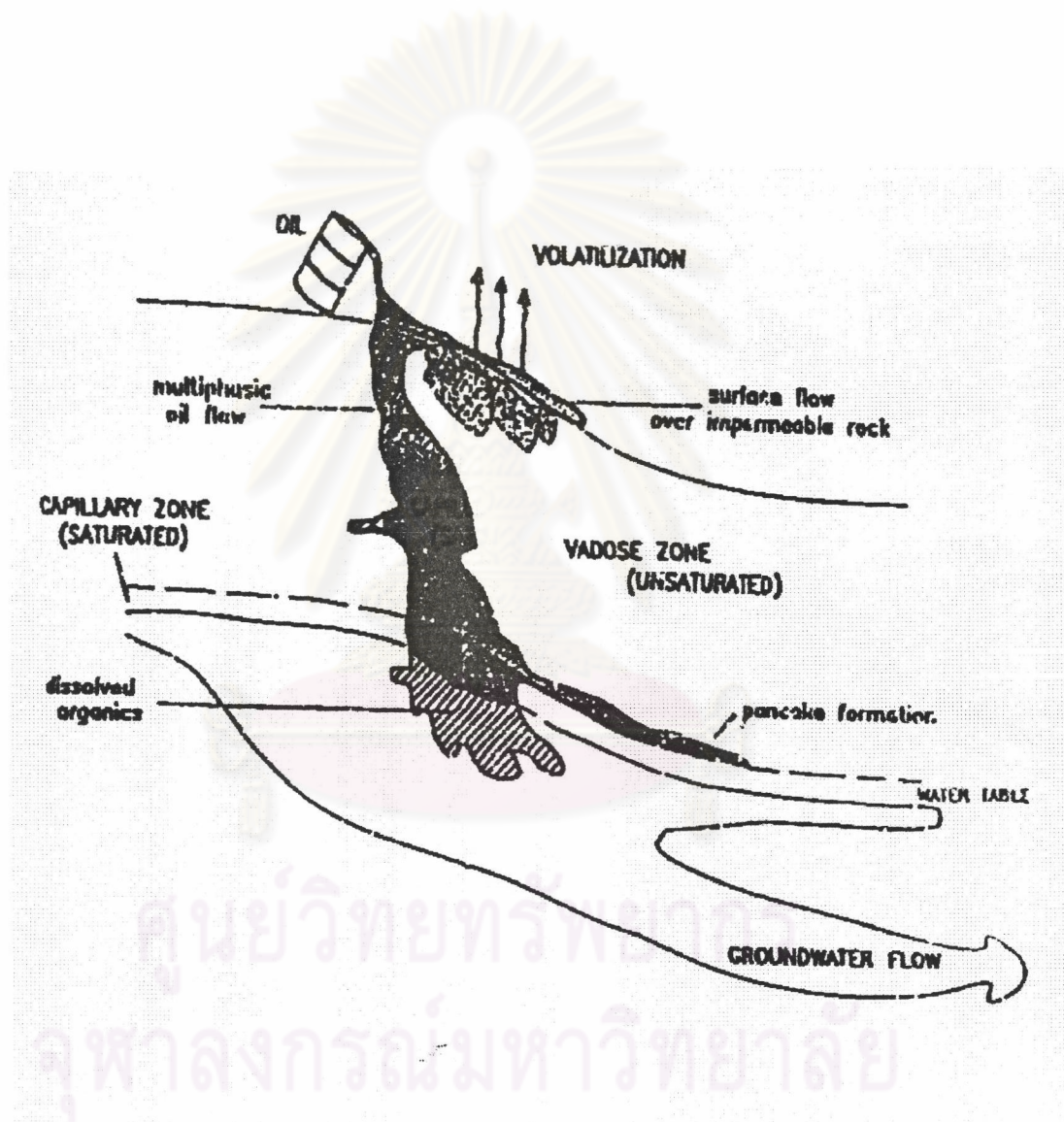
### 2.3.1.2 การระเหยกลายเป็นไอ (Volatilization)

การระเหยกลายเป็นไอสามารถเกิดขึ้นภายในอนุภาคดิน สามารถที่จะเปลี่ยนรูปจากแร่ธาตุออกจากดินไปสู่บรรยากาศและสามารถสะสมในรูปไอระเหยของสารอินทรีย์ในบรรยากาศ เป็นผลให้อากาศเกิดการปนเปื้อน (Baker และคณะ,1994) น้ำมันดิบสามารถระเหยกลายเป็นไอจากดินสู่อากาศได้ถึง 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตาม การระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันดิบจะแปรผันตามความเข้มข้นของน้ำมัน องค์ประกอบของน้ำมัน ทิศทางการแพร่กระจาย (Lateral spreading) พื้นที่ผิวของดิน ความชื้น อุณหภูมิ สารอินทรีย์ในดิน ความพรุนของดิน ความเร็วลม การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ ความหนาของชั้นน้ำมัน แต่ความเร็วลม การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ และความหนาของชั้นน้ำมันมีผลกระทบเล็กน้อยต่อการระเหยกลายเป็นไอภายในอนุภาคดิน(Atlas ,1984 ; Baker และคณะ,1994)

### 2.3.1.3 การชะละลาย (Leaching)

สารมีแนวโน้มที่จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินซึ่งการไหลของน้ำอยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วง การชะล้างของไฮโดรคาร์บอนบนพื้นดิน ในน้ำ และน้ำใต้ดิน ขึ้นอยู่กับความสามารถการละลายในน้ำของไฮโดรคาร์บอนแต่ละตัว เนื้อดิน ความพรุนของดิน ความสามารถของเนื้อดินที่จะให้น้ำซึมผ่านได้ และจำนวนและความเข้มข้นของน้ำฝน แต่อย่างไรก็ตามความสามารถการละลายในน้ำของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลวจะลดลงในขณะที่มวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น

สารอินทรีย์ที่อยู่ในดินอาจจะมีผลต่อการละลายและการรวมตัวกันของไฮโดรคาร์บอน (Atlas, 1984 ; Baker และคณะ, 1994) การชะล้างของไฮโดรคาร์บอนเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อน้ำกินน้ำใช้ของแหล่งน้ำใต้ดิน ไฮโดรคาร์บอนจะเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และสร้างส่วนที่มีความเข้มข้นมาก ๆ หรือเรียกว่า "Smear zone" ซึ่งขึ้น ๆ ลง ๆ ตามระดับน้ำ (Reisinger, 1995) ความสามารถในการละลายและการชะละลายของไฮโดรคาร์บอนในดินถูกสนับสนุนโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังรูปที่ 2.7 แสดงการกระจายตัวของน้ำมันดิบสู่สิ่งแวดล้อมทางบก



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของน้ำมันดิบสู่สิ่งแวดล้อมทางบก

ที่มา : Bossert และ Compeau (1995)

### 2.3.2 การปนเปื้อนของน้ำมันดิบเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ (Contamination of crude oil in the aquatic environment)

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2537) กล่าวว่า การรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำ มาจากหลายสาเหตุ เช่น อุบัติเหตุเรือน้ำมันชนกับเรือทั่วไป การขนถ่ายน้ำมันในทะเล การขนถ่ายน้ำมันจากเรือสู่ชายฝั่ง การล้างเรือ การรั่วไหลจากโรงกลั่นน้ำมัน ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขุดเจาะน้ำมัน การลักลอบปล่อยน้ำทิ้งโดยผิดกฎหมาย แต่ Cooney (1984) และ Floodgate (1984) กล่าวว่า สาเหตุหลักของการรั่วไหลของน้ำมันดิบลงสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำนั้น เกิดจากการขนส่งและอุบัติเหตุต่าง ๆ และสำหรับในทะเลการรั่วไหลของน้ำมันดิบส่วนหนึ่งนั้นมาจากการไหลซึมออกมาจากพื้นมหาสมุทร

น้ำมันดิบที่พบในสิ่งแวดล้อมทางน้ำจะมีอยู่ด้วยกัน 4 ลักษณะ คือ ฟิล์ม (Films) , สารละลาย (Solution) , อิมัลชัน (Emulsion) , ทาร์บอล (Tar balls) และมีการแพร่กระจายตัวของน้ำมันดิบเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ดังนี้ คือ (Floodgate , 1984 อ้างถึงใน Ampai ,1999 ; ปัญจพล ชีโนคม ,2543)

2.3.2.1 การแพร่กระจาย (Film spreading) น้ำมันดิบสามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วในลักษณะของฟิล์มบาง ๆ ซึ่งเรียกว่า ฟิล์มน้ำมัน (Oil slick) และความหนาของฟิล์มน้ำมันที่รั่วไหลออกมาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำมัน ส่วนพื้นที่ของฟิล์มน้ำมันขึ้นอยู่กับค่าแรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำและพบว่าลมมีผลต่ออัตราการแพร่กระจายของน้ำมัน

2.3.2.2 การหลอมละลาย (Dissolution or Solubilization) ถ้าเป็นส่วนในน้ำมันดิบที่ละลายน้ำได้นั้นเป็นสารประกอบพวกอะลิฟาติกชนิดเบา (Light aliphatic) และสารประกอบที่เป็นวงเดี่ยว (Single – ring compound) สารประกอบพวกอะลิฟาติกที่มีความยาวของสายคาร์บอนตั้งแต่ 17 อะตอมขึ้นไปจะสามารถละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสถานะของน้ำจะมีผลต่อปริมาณของสารละลายของน้ำมันดิบแต่อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดการละลายจะต่ำกว่าการระเหย

2.3.2.3 การเกิดอิมัลชันของน้ำมัน (Oil emulsification) การปั่นป่วนของคลื่นหรือกระแสน้ำ (Wave agitation) ทำให้เกิดหยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กมากหรือเรียกว่าอิมัลชัน โดยกระบวนการนี้เพิ่มขึ้นจะช่วยบำบัดฟิล์มน้ำมัน (Oil slick) ด้วยสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสามารถเกิดในรูปของน้ำมันในน้ำ (Oil in water) หรือ น้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion) ขนาดของหยดน้ำมันประมาณ 0.5 – 1.0 ไมโครเมตร น้ำมันในน้ำสามารถพบเห็นได้ในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของน้ำ

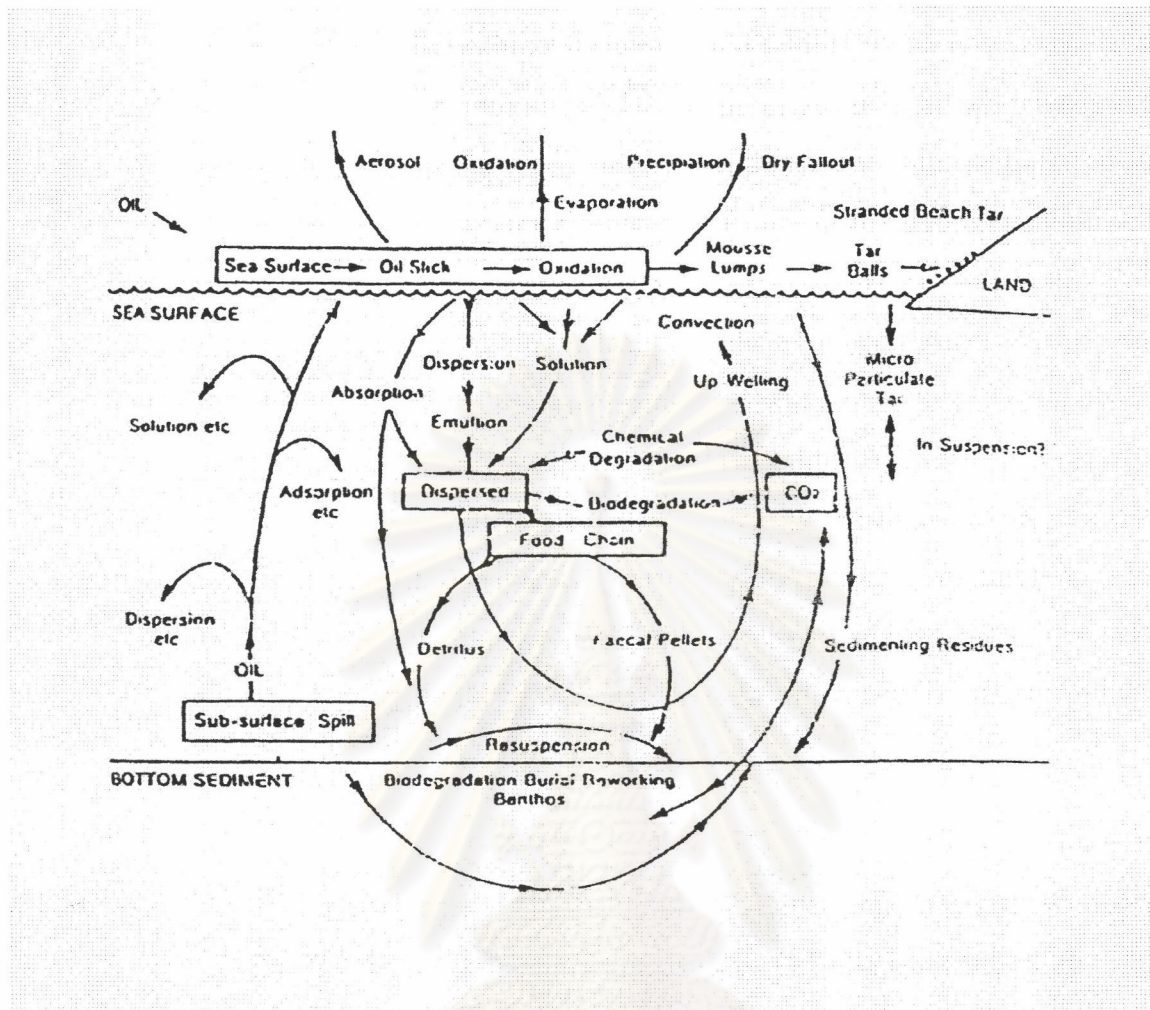
มันต่ำในขณะที่ความเข้มข้นของน้ำมันสูงจะทำให้พื้นที่บริเวณนั้นเกิดความอยู่ตัวอย่างมากของอิมัลชันส่วนน้ำในน้ำมันเรียกกันว่า ช็อกโกแลตมูส (Chocolate mousse or mousse) ช็อกโกแลตมูสขนาดใหญ่จะลดการย่อยสลายทางชีวภาพ เพราะมีพื้นที่ผิวน้อยลงที่จะให้จุลินทรีย์เข้าไปจับกับน้ำมัน อีกทั้งออกซิเจนและสารอาหารจะผ่านเข้าไปได้ยากในช็อกโกแลตมูส

2.3.2.4 การเกิดทาร์บอล (Tarball formation) ทาร์บอลหรือก้อนน้ำมันที่ลอยน้ำเกิดจากการผสมผสานกันของแรงคลื่น อากาศและการย่อยสลาย ขนาดของทาร์บอลจะมีตั้งแต่ 2 – 3 มิลลิเมตร จนถึง 30 เซนติเมตรความเป็นไปได้ในการเกิดทาร์บอลขนาดใหญ่เกิดจากการมีวนตัวเป็นวงกลมของคลื่นที่แตกกระจาย หลังจากนั้นน้ำมันจะเข้าไปจับตัวกับทรายและชิ้นส่วนของวัสดุที่แข็ง ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นและเกิดการตกตะกอนในเวลาต่อมา

แต่การระเหย (Evaporation) เป็นกระบวนการที่สำคัญใน 2 – 3 วันแรก หลังจากที่เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในแหล่งน้ำ น้ำมันจะเกิดการระเหยเป็นจำนวน 1/3 ถึง 2/3 และหลังจากนั้นอัตราการระเหยจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอัตราเหล่านี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมัน พื้นที่ คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันและสภาพภูมิอากาศ เช่น สภาพของน้ำ ความเข้มข้น แสงอาทิตย์ และความเร็วลม อุณหภูมิค่าจะลดอัตราการย่อยสลาย ในขณะที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้น น้ำมันที่มีองค์ประกอบของโลหะ นิกเกิลและวานาเดียมเป็นส่วนใหญ่ มีแวกซ์ และแอสฟัลทีนมากกว่าส่วนอื่น ๆ หลังจากเกิดการระเหย ก็จะทำให้เพิ่มความหนืดแก่น้ำมัน

อีกทั้งยังมีกระบวนการอื่น ๆ ของน้ำมันในน้ำ ได้แก่ การตกตะกอน (Sedimentation) และการย่อยสลาย (Degradation) เกิดการตกตะกอนเพราะน้ำหนักของน้ำมันเพิ่มขึ้น และการย่อยสลายสามารถเกิดได้ทั้งทางกายภาพ (Abiotic Degradation) และทางชีวภาพ (Biotic Degradation) แต่การตกตะกอนของน้ำมันสู่พื้นน้ำจะสะสมอยู่เป็นเวลานาน ซึ่งการย่อยสลายจะสามารถเกิดขึ้นได้เพียงเล็กน้อยและตะกอนของน้ำมันจะสะสมและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่พื้นน้ำ ดังรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันลงสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 ลักษณะการกระจายตัวของน้ำมันลงสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ  
ที่มา : Floodgate (1984)

การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในแหล่งน้ำสามารถสรุปได้ 2 ประเด็นใหญ่ ๆ คือ

(1) การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในน้ำ

น้ำมันดิบเมื่อรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะเปลี่ยนแปลงไป เป็นสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ เป็นอิมัลชันลอยกระจายอยู่ในน้ำ ถูกดูดซับอยู่ในตะกอนใต้แหล่งน้ำ ละลายอยู่ในน้ำ สะสมอยู่ในอวัยวะของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น โดยกระบวนการแรกที่เกิดขึ้นทันที คือ การแผ่กระจายตัวไปตามผิวหน้าน้ำเป็นฝ้าน้ำมันบาง ๆ เป็นวงกว้างจนกระทั่งเป็นผิวบางที่สุด หนาประมาณไม่กี่มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า ในขณะที่เกิดการแผ่กระจายนั้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกที่ระเหยง่าย เช่น อัลเคน ที่มีคาร์บอนอะตอมต่ำ ๆ และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จะเกิดการระเหยในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ส่วนน้ำมันที่ไม่ระเหย (Non-volatile oil) จะถูกพัดเข้าสู่ฝั่งเปลี่ยนรูปเป็น Tarball ขนาดต่าง ๆ กัน บางส่วนจะกลายเป็นคราบน้ำมัน (Oil slick) ล่องลอย (Drifting) ไปตามกระแสน้ำ ซึ่งความเร็วขึ้นอยู่กับอิทธิพลของกระแสลม(EPA,1977) บางส่วนละลายอยู่ใน

น้ำ ขบวนการนี้เกิดขึ้นทันทีและตลอดขบวนการของการเปลี่ยนแปลงของน้ำมัน พวกที่ละลายน้ำได้ ดีที่สุดคือพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีโมเลกุลต่ำ ๆ และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นพวกที่มีพิษที่สุดต่อสัตว์น้ำ ความสามารถในการละลายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน ระยะเวลาในการผสมและความหนืดของน้ำมัน นอกจากนี้อุณหภูมิและความเค็มมีผลต่อการละลายเช่นกัน บางส่วนน้ำมันผสมกับน้ำกลายเป็นสารแขวนลอย (Emulsion) อาจอยู่ในรูปของ Oil - in - water emulsion หรือ Water - in - oil emulsion ซึ่งมีลักษณะเหล่านี้จะถูกทำให้กระจุกกระจายไปบนผิวน้ำโดยความปั่นป่วน (Turbulence) และกระแสน้ำ ถ้าเกิดคลื่นแรงน้ำมันอาจอยู่ในรูปหยดน้ำมันเล็ก ๆ นอกจากนี้กระบวนการผสม (Mixing process) อาจทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นก้อนน้ำมันกึ่งแข็ง (Semi - solid lumps) เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ Chocolate mousse ซึ่งมีความคงตัวและอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานานนับเดือน บางส่วนก็จมตัวลง เกิดการรวมตัวเข้าไปสะสมในดินตะกอน (Sedimentation) บางส่วนของน้ำมันที่สัมผัสกับออกซิเจนและรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากแสงอาทิตย์ จะเกิดการออกซิเดชันเป็นขบวนการสลายตัวทางเคมี ส่วนใหญ่ผลที่ได้จากการออกซิเดชันจะละลายน้ำได้ดี ทำให้การอิมัลซิฟิเคชันเพิ่มขึ้น ขบวนการนี้มีกระแสน้ำและกระแสลมเป็นตัวช่วย (สุจิตรา เชาว์ปรีชา,2530)

น้ำมันที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดเป็นคราบปกคลุมผิวน้ำอยู่เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก อิทธิพลจากคลื่น กระแสน้ำและลมจะเป็นปัจจัยที่ทำให้คราบน้ำมันแพร่กระจายออกเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ นอกจากนี้การแพร่กระจายของคราบน้ำมันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล คุณสมบัติของน้ำมัน ระยะเวลา เป็นต้น กระบวนการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคราบน้ำมัน ได้แก่ การระเหย การละลาย การเกิดอิมัลชัน โฟโตเคมีคัลออกซิเดชันและการย่อยสลายโดยจุลชีพ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไปสามารถแสดงได้โดยสมการแบบ First Order Equation ดังนี้ (Geyer,1980 อ้างถึงใน เชาวน์ นกอยู่ ,2538)

$$dc/dt = (K_v, K_d, K_p, K_r, K_b)C$$

โดยที่  $K_v$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การระเหย

$K_d$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การเกิดอิมัลชัน

$K_p$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การละลาย

$K_r$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชัน



### C หมายถึง ความเข้มข้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

อัตราการเกิดกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน สภาพอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ เช่น คลื่น ลม กระแสน้ำ อุณหภูมิ เป็นต้น แต่โดยทั่วไปกระบวนการทางกายภาพและเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแทบจะทันทีเมื่อเกิดการปนเปื้อนของน้ำมัน เช่น การแพร่กระจาย การระเหย การละลาย และการเกิดอิมัลชัน ส่วนกระบวนการทางชีวภาพ มักจะเกิดขึ้นในภายหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของน้ำมันแล้ว (เกศินี สรรวานิช, 2534) นอกจากนี้ยังมีจุลชีพ เช่น แบคทีเรียบางชนิด สามารถย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบอยู่ในน้ำมัน การย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนโดยจุลชีพเหล่านี้ จะเกิดบริเวณผิวน้ำในสถานะที่มีออกซิเจน โดยขั้นแรกแบคทีเรียจะเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลให้เป็นกรดไขมัน (Fatty acid) ผลที่ได้จะอยู่ในรูป Chocolate mousse และสารแขวนลอย (Colloidal) จุลชีพเหล่านี้ได้แก่ *Pseudomonas sp.*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Candida* และ *Penicillin* เป็นต้น น้ำมันดิบที่มีสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟอร์ ออกซิเจน ไนโตรเจน ซึ่งจุลชีพเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยเฉพาะไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จุลชีพต่างชนิดกัน มีความสามารถในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลต่าง ๆ กันไป พบว่า พวกอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ถูกย่อยสลายได้ดีกว่าพวกสารประกอบเนฟทาติก และสารประกอบอะโรมาติก อุณหภูมิต่ำ ๆ เป็นตัวทำให้การย่อยสลายของน้ำมันลดลง

#### (2.) การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในดินตะกอน

เมื่อน้ำมันที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำเกิดการระเหย การละลาย และกระบวนการต่าง ๆ แล้วข้างต้น สารที่เหลือจากกระบวนการเหล่านั้นจะมีลักษณะเป็นก้อนแข็งหรือน้ำมันดิน (Tar ball) ลอยอยู่บนผิวน้ำ น้ำมันดินเหล่านี้จะแตกออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ด้วยอิทธิพลของคลื่น ลม กระแสน้ำ รวมทั้งอุณหภูมิ เป็นต้น และจะจมลงสู่ท้องน้ำ ส่วนอนุภาคของน้ำมันที่กระจายในน้ำในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สารละลาย อิมัลชัน จะถูกดูดซับโดยสารแขวนลอยและตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำได้โดยกระบวนการดูดซับและดูดซึมบนอนุภาคแขวนลอยนั้นและพบว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดจะสามารถดูดซับและดูดซึมไฮโดรคาร์บอนได้ดี โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว (Clay)

จากการศึกษาการสะสมของน้ำมันในตะกอน พบว่าน้ำมันสามารถซึมผ่านลงไป ในชั้นตะกอนได้โดยที่ความสามารถในการซึมผ่านตะกอนนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตะกอน กล่าวคือ ตะกอนที่ประกอบด้วยทรายและกรวดมากจะมีการซึมของน้ำมันได้ดีกว่าตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เนื่องจากอนุภาคเล็ก ๆ จะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับได้มากกว่า ส่วนตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ นอกจากจะซึมผ่านได้ดีแล้วยังมีอัตราการย่อยสลายโดยจุลชีพได้สูงอีกด้วย เนื่องจาก

ตะกอนขนาดใหญ่จะมีการไหลเวียนของธาตุอาหารและอากาศได้ดี ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคงสภาพของน้ำมันในชั้นตะกอนนั้นคืออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยบริเวณผิวของชั้นตะกอน จะเกิดการย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอนได้เร็วกว่าในชั้นที่ลึกลงไปซึ่งอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน ทำให้การย่อยสลายเกิดได้ช้า จึงเป็นเหตุให้น้ำมันที่อยู่ในชั้นที่ลึกลงไปสามารถคงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานานหลายปี (เชาวน์ นกอยู่, 2538)

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่าง ๆ กัน ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพต่อน้ำมัน ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละกระบวนการนั้นจะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน สภาพแวดล้อม เป็นต้น ได้แก่

(ก) จะถูกกระแสนลม กระแสน้ำ หรือคลื่นพัดพาให้แพร่กระจายสู่บริเวณใกล้เคียง ทั้งนี้เพราะน้ำมันมีแรงตึงผิวมากกว่าน้ำ จึงกลายเป็นคราบน้ำมันที่ผิวน้ำ

(ข) ไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้จะเริ่มระเหยทันทีที่รั่วไหล โดยน้ำมันเบา (Light oil) จะระเหยได้เร็วกว่าน้ำมันหนัก (Heavy oil) เช่น ที่อุณหภูมิ 20 °ซ ในเวลา 7 – 8 นาที น้ำมันเบนซินจะระเหยได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำมันดิบ ภายในเวลา 12 ชั่วโมง จะระเหยได้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล

(ค) เกิดการละลายและกระจายตัวของน้ำมันเข้ากับน้ำ จากการศึกษาความสามารถในการละลายพบว่า น้ำมันละลายในน้ำจืดได้ดีกว่าน้ำทะเล อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง ความสามารถในการละลายของไฮโดรคาร์บอนแสดง ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งความสามารถในการละลายนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล และความดันไอ (Vapour Pressure) ของไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไปจะมีการละลายลดลง

(ง) เกิดการผสมของน้ำมันและน้ำ (Emulsification) ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ น้ำมันในน้ำ (Oil in Water) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำ มีน้ำมันกระจายอยู่ในลักษณะเป็นหยด มีอนุภาคตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร จนถึงหลายมิลลิเมตร และน้ำในน้ำมัน (Water in Oil) ประกอบด้วยน้ำประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำมัน

(จ) น้ำมันที่มีความหนาแน่นสูงบางส่วนจะเป็นตะกอนคินน้ำมัน (Tar Ballor Oil Ball) พัดเข้าสู่ฝั่งทำให้ชายฝั่งสกปรก และบางส่วนจะตกตะกอน น้ำมันดิบที่ไม่มีไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ หรือมีเพียงเล็กน้อยจะไม่เกิดตะกอนคินน้ำมัน แต่โดยทั่วไปปริมาณตะกอนคินน้ำมันจะเกิดขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล

(ข) เมื่อน้ำมันมีความหนาแน่นมากขึ้น อันเนื่องมาจากการระเหย การละลาย การรวมกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ การดูดซึมและดูดซับไฮโดรคาร์บอนของอนุภาคแขวนลอย สารที่เหลือจะมีลักษณะเป็นของแข็งหรือเป็นตะกอนคินน้ำมันลอยอยู่ที่ผิวน้ำ และแตกตัวจมลงสู่ท้องน้ำ

(ข) เกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) ที่ผิวของน้ำมัน ทันทีที่น้ำมันแพร่กระจายบนผิวน้ำ น้ำมันจะทำปฏิกิริยากับอากาศโดยมีเกลือแร่ (Mineral Salt) ในน้ำทะเล และรังสีอุตราไวโอเลตในแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสารพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยแสงอาทิตย์ได้เร็วกว่าพวกอะลิฟาติก นอกจากนั้นสารประกอบที่มีกำมะถัน หรือฟีนอลเป็นองค์ประกอบจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขณะที่สารประกอบเมธาริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

(ข) เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของไฮโดรคาร์บอน เช่น การย่อยสลายอะโรมาติกและอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ในระยะแรกอะโรมาติกจะถูกเปลี่ยนเป็นไดออล จากนั้นจะมีการแตกของวงแหวนได้เป็นกรดและอัลดีไฮด์ ส่วนอัลเคนจะถูกออกซิไดซ์ ได้แอลกอฮอล์และกรดไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ให้ผลสุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์เหล่านี้ ได้แก่ Pseudomonas , Mycobacter , และ Norcadia เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายน้ำของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและอะโรมาติกที่อุณหภูมิห้อง  
(McAuliffe ,1963)

ไฮโดรคาร์บอน	ความสามารถในการละลาย (กรัมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ 10 <sup>4</sup> กรัม)
Methane	24.4 ± 1.0
Ethane	60.4 ± 1.3
Propane	62.4 ± 2.1
n – Butane	61.4 ± 2.6
Isobutane	48.9 ± 2.1
n – Pentane	38.5 ± 2.0
Isopentane	47.8 ± 1.6
n – Hexane	9.5 ± 1.3
2 – Methylpentane	13.8 ± 0.9
2, 2 – Dimethylbutane	18.4 ± 1.3
n – Heptane	2.93 ± 0.20
2, 4 – Dimethylpentane	3.62 ± 0.10
n – octane	0.66 ± 0.06
2, 2, 4 – Trimethylpentane	2.44 ± 0.12
Cyclopentane	156.0 ± 9
Cyclohexane	55.0 ± 2.3
Methylcyclopentane	42.6 ± 1.6
Methylcyclohexane	14.0 ± 1.2
Benzene	1,780.0 ± 45
Toluene	538.0 ± 17
O – Xylene	175.0 ± 8
Ethylbenzene	159.0 ± 8
Isopropylbenzene	53.0 ± 5

## 2.4 สถิติน้ำมันรั่วไหลในประเทศไทย (ขณะชัย เลิศสุชาตวนิช ,2542)

จากสถิติขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization หรือ IMO) ในปี พ.ศ. 2536 พบว่า มีน้ำมันประมาณ 2.35 ล้านตัน ที่ถูกปล่อยลงสู่ธรรมชาติ และจากการรวบรวมข้อมูลของ International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) พบว่า ในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2519 - 2538 มีอุบัติเหตุการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณตั้งแต่ 7 ตัน ถึง 1,269 ครั้ง โดยเหตุการณ์สำคัญที่ได้รับความสนใจจากบุคคลทั่วไปมี 3 ครั้ง คือ

1. การรั่วไหลของน้ำมันดิบประมาณ 119,000 ตัน จากเรือ Terry Canyon บริเวณช่องแคบอังกฤษ ในปี พ.ศ. 2510
2. การรั่วไหลของน้ำมันดิบประมาณ 227,000 ตัน จากเรือ Amoco Cadiz ใกล้ชายฝั่งบริติชของประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ. 2521
3. การรั่วไหลของน้ำมันดิบประมาณ 37,000 ตัน จากเรือ Exxon Valdez ที่รัฐอลาสกาของสหรัฐอเมริกา เมื่อปี พ.ศ. 2532

ตารางที่ 2.4 แสดงสาเหตุของการรั่วไหลของน้ำมันทั่วโลก ในช่วง พ.ศ. 2519 - 2538 (ขณะชัย เลิศสุชาตวนิช ,2542)

สาเหตุ	< 7 ตัน	7 - 700 ตัน	> 700 ตัน	รวม
<b>การปฏิบัติการทางเรือ</b>				
- สูบถายน้ำมัน	2,753	275	15	3,043
- เติมน้ำมันเรือ	541	24	-	565
- การปฏิบัติการอื่น	1,145	45	-	1,190
<b>อุบัติเหตุของเรือ</b>				
- เรือชนกัน	143	221	83	447
- เรือเกยตื้น	216	179	95	490
- ความเสียหายของตัวเรือ	541	68	36	645
ไฟไหม้และระเบิด	147	14	20	181
อื่นๆ	2,227	158	36	2,421
<b>รวม</b>	<b>7,713</b>	<b>984</b>	<b>285</b>	<b>8,982</b>

จากสาเหตุของการเกิดน้ำมันรั่วไหลทั่วโลก ในช่วงปี พ.ศ. 2519 - 2538 พบว่าการรั่วไหลของน้ำมันที่มีปริมาณต่ำกว่า 7 ตันนั้น ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระหว่างการสูบน้ำมัน ในขณะที่การรั่วไหลของน้ำมันที่มีปริมาณระหว่าง 7 ตัน จนถึง 700 ตัน มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากทั้งในระหว่างการสูบน้ำมันและอุบัติเหตุเรือโค่นกัน ส่วนสาเหตุการรั่วไหลของน้ำมันปริมาณสูงกว่า 700 ตันนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากเรือเกยตื้น ดังตารางที่ 2.4 แสดงสาเหตุของการรั่วไหลของน้ำมันทั่วโลก ในช่วง พ.ศ. 2519 - 2538

สำหรับประเทศไทย พบว่า ในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 ถึง 2541 มีสถิติการรั่วไหลของคราบน้ำมันรวมทั้งสิ้น จำนวน 87 ครั้ง โดยในปี พ.ศ. 2538 เกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลมากที่สุด จำนวน 17 ครั้ง รองลงมาได้แก่ พ.ศ. 2540 เกิดขึ้น 13 ครั้ง และ พ.ศ. 2537 เกิดขึ้น 12 ครั้ง ดังตารางที่ 2.5 แสดงการเกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทยในแต่ละปี และถ้าแยกสาเหตุของการเกิดตามขนาดของน้ำมันที่รั่วไหล พบว่าการรั่วไหลของน้ำมันที่มีขนาดต่ำกว่า 7 ตันนั้นส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมบนบก และโรงงานอุตสาหกรรม เช่น จากอุบัติเหตุของถังน้ำมันเตาที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ในขณะที่การรั่วไหลของน้ำมันที่มีปริมาณ 7 ถึง 700 ตัน มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากเรือโค่นกันและการรั่วไหลของน้ำมันปริมาณที่สูงกว่า 700 ตันที่มีอยู่เพียงครั้งเดียวนั้น เกิดจากเรือโค่นกัน ดังตารางที่ 2.6 แสดงสาเหตุการเกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทยแยกตามขนาดในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541 ซึ่งประเภทของน้ำมันที่รั่วไหลส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปิโตรเลียมชนิดสลายตัวยาก โดยแยกออกเป็นน้ำมันเตามากที่สุด ร้อยละ 50.57 น้ำมันหล่อลื่นร้อยละ 10.35 น้ำมันดิบ ร้อยละ 9.20 ส่วนน้ำมันชนิดสลายตัวง่ายแยกเป็นน้ำมันดีเซลร้อยละ 12.64 เจ็ท 4 ร้อยละ 2.30 และประเภทอื่น ๆ อีกร้อยละ 14.94 ดังตารางที่ 2.7 แสดงประเภทของน้ำมันที่รั่วไหลของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541 โดยพื้นที่ที่เกิดน้ำมันรั่วไหล ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่แม่น้ำ โดยเฉพาะแม่น้ำเจ้าพระยามากที่สุด จำนวน 52 ครั้ง แม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำน่าน พื้นที่ละ 1 ครั้ง สำหรับในพื้นที่ทะเล ส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่ทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน จำนวน 28 ครั้ง พื้นที่ทะเลอันดามัน จำนวน 4 ครั้ง และพื้นที่ทะเลอ่าวไทยตอนล่างจำนวน 1 ครั้ง โดยพื้นที่ที่เป็นแม่น้ำให้รวมถึงคลองต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณแม่น้ำนั้น ๆ ด้วย สำหรับพื้นที่อ่าวไทยตอนบน หมายถึง พื้นที่ทะเลอ่าวไทยเริ่มตั้งแต่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาครอบคลุมทะเลด้านทิศตะวันออก และทะเลด้านทิศตะวันตกถึงจังหวัดเพชรบุรี ส่วนพื้นที่อ่าวไทยตอนล่าง หมายถึง พื้นที่ทะเลอ่าวไทยเริ่มตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไป ดังตารางที่ 2.8 แสดงพื้นที่ที่เกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541

ตารางที่ 2.5 แสดงการเกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทยในแต่ละปี (หน่วย เลิศสุชาตวนิช ,2542)

ปี พ.ศ.	จำนวนครั้ง	ปี พ.ศ.	จำนวนครั้ง
2516	2	2534	2
2520	1	2535	6
2521	1	2536	7
2522	1	2537	12
2528	1	2538	17
2529	3	2539	6
2530	2	2540	13
2531	1	2541	10
2533	2	รวม	87

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 แสดงสาเหตุการเกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทยแยกตามขนาด ในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541 (ชนะเลิศ เลิศสุชาตวนิช ,2542)

สาเหตุ	< 7 ตัน	7-700 ตัน	> 700 ตัน	ไม่ทราบ	รวม
อุบัติเหตุของเรือ					
- เรือโคลนกัน	-	4	1	2	7
- เรือจม	1	1	-	2	4
- เรือเกยตื้น	2	-	-	1	3
- ไฟไหม้เรือ	2	1	-	1	4
การปฏิบัติการของเรือ					
- เติมน้ำมันเรือ	4	-	-	-	4
- สูบถ่ายน้ำมัน	5	1	-	6	12
ลักลอบปล่อยทิ้งจากเรือ	4	-	-	15	19
กิจกรรมบนบกและ โรงงานอุตสาหกรรม	9	-	-	3	12
อื่น ๆ	1	1	-	20	22
รวม	28	8	1	50	87



ตารางที่ 2.7 แสดงประเภทของน้ำมันที่รั่วไหลของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541  
(ชนะชัย เลิศสุชาตวนิช ,2542)

ประเภท	ร้อยละ
1. น้ำมันปิโตรเลียมชนิดสลายตัวยาก	
1.1 น้ำมันดิบ	9.20
1.2 น้ำมันเตา	50.57
1.3 น้ำมันหล่อลื่น	10.35
2. น้ำมันปิโตรเลียมชนิดสลายตัวง่าย	
2.1 น้ำมันดีเซล	12.64
2.2 เจพี 4	2.30
3. อื่นๆ	14.94
รวม	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 แสดงพื้นที่ที่เกิดน้ำมันรั่วไหลของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2516 - 2541(ชนะเลิศเลิศสุชาตวนิช ,2542)

พื้นที่ที่เกิด	จำนวนครั้ง
<b>1. แม่น้ำ</b>	
1.1 แม่น้ำเจ้าพระยา	52
1.2 แม่น้ำบางปะกง	1
1.3 แม่น้ำน่าน	1
<b>2. ทะเล</b>	
2.1 อ่าวไทยตอนบน	28
2.2 อ่าวไทยตอนล่าง	1
2.3 ทะเลอันดามัน	4
<b>รวม</b>	<b>87</b>

### 2.5 ผลกระทบของน้ำมันต่องิ่งแวดล้อม

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำย่อมก่อให้เกิดผลกระทบหรือก่อให้เกิดผลเสียหาแก่ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดลอมด้านต่าง ๆ โดยระดับความรุนแรงของผลกระทบจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายด้าน เช่น ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหลออกมา ชนิดของน้ำมัน ระยะเวลาที่น้ำมันอยู่ในน้ำหรือสิ่งแวดลอม ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสิ่งแวดลอม สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ สภาพทางอุคณิยมิวิทยา สภาพทางอุทกวิทยา เป็นต้น ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นพอสรุปได้ดังนี้

### 2.5.1 ผลกระทบทางด้านชีวภาพ

ไฮโดรคาร์บอนชนิดที่มีอันตรายค่อนข้างสูง เมื่อละลายอยู่ในน้ำจะสามารถทำให้สิ่งมีชีวิตหลายชนิดตายได้ ซึ่งชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิตที่ได้รับผลกระทบจากน้ำมันจะมีอัตราการตายสูง และจะส่งผลกระทบต่อความสมดุลของระบบนิเวศได้ ในกรณีที่สิ่งมีชีวิตได้รับไฮโดรคาร์บอนเข้าไปในปริมาณน้อยจะเกิดการสะสมในร่างกายและถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร ดังนี้



ไฮโดรคาร์บอนอาจเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงในเมตาโบลิซึม มีการศึกษาพบว่า กระบวนการเมตาโบลิซึมของไฮโดรคาร์บอนทำให้เกิดสารพิษเพิ่มมากขึ้น เช่น สารพวกนอร์มลัทราฟีน โดยปกติเป็นสารที่แทบจะไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ แต่เมื่อผ่านไปตามห่วงโซ่อาหารหลายๆ ชั้นแล้วอาจเกิดอนุพันธ์ที่เป็นอันตรายได้ (เชาวน์ นกอยู่,2538)

ผลกระทบของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิต (Duffus,1982) ได้แบ่งผลกระทบของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิต เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.1.1 ผลกระทบทางด้านกายภาพ ได้แก่ การที่คราบน้ำมันจับติดบนขนนกทะเล ทำให้หมดสภาพที่ดีในการบิน การพักผ่อน การดำน้ำ และนกจะพยายามใช้ความสกปรกออก ทำให้กลิ่นสารพิษเข้าไปส่วนหนึ่งเป็นเหตุให้ตายได้ คราบน้ำมันที่เคลือบเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวหนังทำให้สัตว์สำลัก (Asphyxia) ตาย นอกจากนี้ยังเป็นตัวทำให้ปริมาณแสงที่ต้องผ่านลงน้ำลดลงมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ เป็นเหตุให้ปริมาณออกซิเจนต่ำลงทำให้เกิดการตายในสัตว์หลายชนิด เนื่องจากเมื่อเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ จะมีผลกระทบต่อแพลงค์ตอนพืชและสาหร่ายทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยเฉพาะแพลงค์ตอนพืชมีความสำคัญในการตรึงพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้น ดังนั้นเมื่อมีคราบน้ำมันบริเวณผิวหนังของแหล่งน้ำ น้ำมันจะไปบดบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำมันจะดูดซับแสงอาทิตย์เอาไว้ จึงทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงโดยแพลงค์ตอนพืชลดลงและความเป็นพิษของน้ำมันก็จะส่งผลกระทบต่อการผลิตของประชากรแพลงค์ตอนพืช

#### 2.5.1.2 ผลกระทบทางด้านเคมี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในน้ำมันนั้น ๆ คือ

- (ก) พวกไฮโดรคาร์บอนที่อึดตัวที่มีจุดเดือดต่ำ ๆ ทำให้สัตว์สลบ (Anaesthesia) หรือเกิดอาการมึนงง (Narcosis)
- (ข) พวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ ๆ เป็นพวกที่มีความเป็นพิษ

มากที่สุดและละลายน้ำได้ดีที่สุด เช่น เบนซิน โทลูอิน แนฟทาลิน พีแนนทริน จะไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด มีผลต่อระบบหายใจ และกระตุ้นหรือกดระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ยังมีสารพวก Mutagen และ Carcinogen ทำให้เกิดการกลายพันธุ์และเนื้องอกด้วย

(ค) พวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวที่มีจุดเดือดสูงไม่ค่อยเป็นพิษมากนัก แต่อาจมีผลต่อพฤติกรรมบางอย่าง เช่น การรับรู้และการตอบสนองต่อเพศผิดปกติไป

(ง) โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น 3,4 benzopyrene และ 1,2-benzanthrazene พบว่าในพวกนี้มี สารก่อมะเร็ง (Carcinogen) แบบเดียวกับในบุหรี่ และมี Mutagen เป็นผลให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutation)

จากการศึกษาพิษของน้ำมันดิบที่มีผลต่อไข่ของปลาแฮร์ริง พบว่า ตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ จะมีการเคลื่อนไหวมากและมีอัตราการเดินของหัวใจค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำธรรมดาจะมีการเคลื่อนไหวน้อยกว่าตัวอ่อนในน้ำมัน แต่มีอัตราการเดินของหัวใจเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไข่ฟักตัว ซึ่งสามารถฟักได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไข่ปลาที่อยู่ในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ 0.1 มิลลิลิตร/ลิตร ฟักตัวได้ 91 เปอร์เซ็นต์ และตัวอ่อนจะตายประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ผิดปกติ 77 เปอร์เซ็นต์ เป็นปกติเพียง 11 เปอร์เซ็นต์ (Linden, 1975) นอกจากนั้นน้ำมันที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 มิลลิลิตร/ลิตร ยังทำให้ลูกปลาแฮร์ริงในทะเลตายภายในเวลา 48 ชั่วโมง (Linden, 1976) ไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้มาก จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ Cellular membrane สูญเสียธาตุโปแตสเซียมและแมกนีเซียม แพลงตอนพืชและสัตว์รวมไปถึงแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนอาจกินหยดน้ำมันที่ปะปนอยู่กับอาหารและดูดซึมเข้าไปสะสมอยู่ในเซลล์ เนื้อเยื่อ และอวัยวะต่างๆ และถ่ายทอดเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร องค์ประกอบของคาร์บอนในแพลงตอนพืช จะประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ 0.1 ppm. จนถึงมากกว่าร้อยละ 1 ดังนั้นถ้ามีผลผลิตจากแพลงตอน  $3 \times 10^{10}$  เมตริกตัน/ปี จะมีไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร 3 ล้านตัน / ปี (ยูเวเรสน์ เอ็มแย้ม, 2537)

## 2.5.2 ผลกระทบทางด้านกายภาพ

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ น้ำมันจะลอยอยู่บนผิวน้ำ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของน้ำมันต่ำกว่าของน้ำ ดังนั้นผลกระทบทางด้านกายภาพที่จะเกิดขึ้น (ซรัตัน รุ่งเรืองศิลป์, 2533) ได้แก่

2.5.2.1 แสงส่องผ่านสู่ท้องน้ำไม่ได้ น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำได้สะดวก น้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำของแหล่งน้ำจะทำให้เกิดผลกระทบต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช โดยบริเวณที่มีน้ำมันปกคลุมหนาเกิน 1 มิลลิเมตร จะมีการ

สังเคราะห์แสงของพืชลดลง 1 – 0 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง 27 เปอร์เซ็นต์ (Smith, 1973)

2.5.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงเนื่องจากน้ำมันจะทำหน้าที่คล้ายแผ่นหรือเกาะกำบัง (Physical barrier) ระหว่างน้ำกับอากาศซึ่งจะมีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงสู่แหล่งน้ำได้

2.5.2.3 ความร้อนของน้ำสูงขึ้น น้ำมันชนิดที่มีสีทึบ เช่น น้ำมันเตา เป็นต้น จะสามารถดูดซับความร้อน (Heat absorption) จากแสงอาทิตย์ได้ดีทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการส่งผ่านความร้อน (Heat transfer) ของน้ำมันสู่มวลของน้ำ

น้ำมันที่มีสีทึบ เช่น น้ำมันดิบ จะทำให้อุณหภูมิในแหล่งน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากการเปรียบเทียบเมื่อใส่น้ำมันดิบและน้ำมันเบนซินลงในบ่อทดลองภายในสภาวะเดียวกัน พบว่า ในบ่อที่มีน้ำมันดิบ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 37 °ซ เป็น 45 °ซ ภายในเวลา 4 ชั่วโมง แต่ในบ่อที่มีน้ำมันเบนซินอุณหภูมิไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก (ชรัศน์ รุ่งเรืองศิลป์, 2533)

2.5.3 ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม (ชรัศน์ รุ่งเรืองศิลป์, 2533)

เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเนื่องมาจากผลกระทบทางกายภาพและทางชีวภาพ คือ ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ได้แก่

2.5.3.1 น้ำมันที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้คุณภาพน้ำในบริเวณนั้นต่ำลงจนทำให้สัตว์น้ำในแหล่งเพาะเลี้ยง เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ไม่สามารถดำรงชีวิตและให้ผลผลิตได้อีกต่อไป หรือให้ผลผลิตลดลง กรณีที่น้ำมันถูกพัดพาเข้าสู่แหล่งท่องเที่ยว เช่น ชายหาด จะทำให้อุณหภูมิและความงามของแหล่งท่องเที่ยวนั้นลดลง สำหรับป่าชายเลนซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัย รวมไปถึงเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ที่สำคัญยิ่งของสัตว์น้ำนานาชนิด น้ำมันจะแทรกซึมเข้าสู่รากของต้นไม้ในป่าชายเลน เช่น ต้นโกงกาง โดยเฉพาะ Lenticle ซึ่งเป็นเซลล์หายใจของพืชได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ต้นโกงกางตาย และตะกอนดินที่มีน้ำมันตกค้างอยู่ก็จะทำให้เมล็ดของต้นโกงกางไม่เจริญเติบโตเป็นต้นโกงกาง

2.5.3.2 ผลกระทบเกี่ยวกับความเดือดร้อนรำคาญจากคราบสกปรกของน้ำมันที่ลอยไปติดและก่อความเสียหายต่อทรัพย์สินของมนุษย์

2.5.3.3 ผลกระทบด้านสุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยว เช่น ชายหาด ปะการัง ป่าชายเลน เป็นต้น โดยเกิดจากคราบน้ำมันและก้อนน้ำมันดิน ถูกพัดพาเข้าสู่แหล่งท่องเที่ยวเหล่านั้น ทำให้สุนทรียภาพและความงามของแหล่งท่องเที่ยวในบริเวณนั้นลดลง จนไม่

เหมาะสมต่อการท่องเที่ยวหรือพักผ่อน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะมีผลเสียต่อระบบเศรษฐกิจและรายได้ของประชาชนในท้องถิ่นนั้น และโดยส่วนรวมของประเทศ ที่จะ ได้จากการท่องเที่ยว

## 2.6 การกำจัดคราบน้ำมัน

### 2.6.1 วิธีทางกายภาพ

2.6.1.1 ทูนกักน้ำมัน เป็นอุปกรณ์ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้เพื่อจำกัดบริเวณของน้ำมันไม่ให้แพร่กระจายออกไป ทูนกักน้ำมันแบ่งตามประเภทการใช้งานเป็น 3 ประเภท คือ ใช้ในแม่น้ำ(Inshore Boom หรือ River Boom) มีขนาดค่อนข้างเล็ก ใช้งานง่าย ใช้ในบริเวณชายฝั่ง (Harbor Boom) และใช้กลางทะเล (Offshore Boom) ซึ่งต้องแข็งแรงทนทานต่อสภาพคลื่นสูงได้

2.6.1.2 เครื่องเก็บกวาดน้ำมัน (Oil Spill Recovery Skimmers) มักใช้เก็บความน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวหน้าหลังจากล้อมด้วยทูนแล้ว มีหลักการทำงานที่อาศัยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะระหว่างน้ำมันกับน้ำ โดยเครื่องจะแยกน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บน้ำมันและแยกน้ำให้ไหลออกไป

2.6.1.3 วัสดุดูดซับ (Sorbents) อาจเป็นสารสังเคราะห์หรือเส้นใยพืช เช่น ฟางข้าว หญ้าแห้ง เศษผ้า มีหลักการทำงาน คือ จุ่มวัสดุดูดซับลงในน้ำที่มีน้ำมัน น้ำมันจะแทรกซึมและดูดซับติดกับวัสดุแล้วจึงนำวัสดุนั้นไปกำจัดอีกครั้งหนึ่ง

2.6.1.4 วัสดุทำให้จมลง (Sinking) โดยการฉีดพ่นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เช่น ทรายละเอียด ยิบซัม ให้น้ำมันเกาะตัวและจมลงสู่ท้องน้ำ

2.6.1.5 วัสดุคักจับ (Netting) เช่น ตาข่าย คักจับคราบน้ำมันที่ลอยอยู่ในน้ำมักใช้ได้ดีกับน้ำมันที่มีความหนืดสูง

### 2.6.2 วิธีทางเคมี

2.6.2.1 การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันแตกตัว (Chemical Dispersant) หรือเรียกว่า Dispersant ซึ่งเมื่อฉีดลงไปในคราบน้ำมันแล้ว จะทำให้แรงตึงผิวของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ และคราบน้ำมันจะถูกคลื่นตีแตกกระจายจนเป็นหยดเล็ก ๆ แยกออกจากกัน นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันการรวมตัวของหยดน้ำมันที่แตกกระจายออกไปแล้ว ไม่ให้รวมตัวขึ้นมาได้อีก

2.6.2.2 การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันรวมตัวกัน (Chemical Solidifier) หรือที่เรียก

ว่า Solidifier ซึ่งเมื่อฉีดลงไปบนคราบน้ำมันแล้ว จะทำให้น้ำมันเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นก้อน และจมลงสู่ท้องน้ำ

2.6.2.3 การเผา (Burning) เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และถ้าจำกัดบริเวณไม่ได้จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน นอกจากนี้ยังทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอีกด้วย

### 2.6.3 วิธีทางชีวภาพ

2.6.3.1 การย่อยสลายโดยธรรมชาติ (Biodegradation) เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น ยีสต์ รา แพลงตอน ย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนและนำไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของตัวเอง น้ำมันที่ปนเปื้อนจะทำหน้าที่เป็นสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ โดยที่สารประกอบเหล่านั้นจะไม่เหลืออยู่อีกต่อไป หรืออาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นพิษ (Cookson , 1995) ซึ่งขบวนการนี้จะเป็นอย่างช้า ๆ และใช้เวลานานกว่าจะกำจัดคราบน้ำมันได้หมด แต่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยหรือแทบไม่เกิดเลย

การย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นประเด็นที่มีผู้ให้ความสนใจศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากสารประเภทนี้ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ล้วนแต่เป็นสารมลพิษและก่อให้เกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมปัจจุบันเป็นอย่างมาก (Yerushalmi และ Guiot ,1998) หลักการย่อยสลายทางชีวภาพในการบำบัดพื้นที่บริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้ได้มีการทำกันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีกว่าวิธีการทางกายภาพและวิธีการทางเคมี (Selano และคณะ , 1999)

2.6.3.2 การเร่งธรรมชาติ (Bioremediation) เป็นเทคนิคหนึ่งสำหรับการกำจัดคราบน้ำมัน โดยการเพิ่มและปรับปรุงประสิทธิภาพของการย่อยสลายทางชีวภาพตามธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

(ก) การเติมธาตุอาหาร (Nutrient Enrichment หรือ Fertilization) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลงไปในน้ำที่มีคราบน้ำมัน เพื่อให้เชื้อตามธรรมชาติเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

Atlas (1981) พบว่าการเพิ่มสารอาหารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ช่วยเพิ่มการย่อยสลายของไฮโดรคาร์บอนอิมัลชันมากกว่าอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งสอดคล้องกับ Cooney และคณะ (1985) พบว่า ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จำกัดในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอน

ในทะเลสาบน้ำจืดโอไฮโอ การเพิ่มโปแตสเซียมไนเตรต ( $KNO_3$ ) 0.3 กรัมต่อลิตร และ ไคโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $K_2HPO_4$ ) 0.1 กรัมต่อลิตร ในน้ำทะเลสาบตัวอย่าง ช่วยเพิ่ม การย่อยสลายเฮกซะเดคเคน และ mineral oil หลังจาก 21 วัน

เกลืออนินทรีย์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีประสิทธิภาพในระบบเปิด(Atlas และ Bartha,1973 ; Busdosh และ Atlas , 1977 ; Horowitz และ Atlas, 1980)

(จ) การเติมเชื้อจุลินทรีย์ (Seeding) ที่สามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนลงไป ในน้ำที่ปนเปื้อนคราบน้ำมัน ช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มี อยู่ตามธรรมชาติหรือจุลินทรีย์ที่ผ่านการตัดต่อยีน (Genetically engineered microorganisms : GEMs) แต่การเติมเชื้อจุลินทรีย์ด้วย GEMs ยังไม่มีรายงานว่ากำจัดคราบน้ำมันหกได้ เกณฑ์บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงไป คือ ความสามารถในการย่อยสลายองค์ประกอบ ส่วนใหญ่ของปิโตรเลียม เสถียรภาพของพันธุศาสตร์ของจุลินทรีย์ ความสามารถในการมีชีวิตอยู่ ของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา การเติบโตอย่างรวดเร็วและมีกิจกรรมของเอนไซม์ขั้นสูงใน สิ่งแวดล้อม ความสามารถที่สมบูรณ์กับจุลินทรีย์ท้องถิ่น และเป็นเชื้อไม่ก่อโรค อีกทั้งจะต้องไม่ ผลิตสารที่เป็นพิษหลังเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพแล้ว (Atlas, 1977)

ตารางที่ 2.9 สรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีในการกำจัดคราบน้ำมันออกจากสิ่งแวดล้อม (Nitas , 1998)

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
วิธีการทางกายภาพ (Physical method)	ราคาถูก เป็นวิธีการขั้นต้นใน การกำจัดคราบน้ำมันและใช้กับ คราบน้ำมันที่มีจำนวนน้อย	ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการ กำจัดคราบน้ำมันที่มีจำนวน มากหรือในสถานการณ์ที่จำกัด
วิธีการทางเคมี	สามารถกำจัดคราบน้ำมันออก จากสิ่งแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว และเหมาะกับการกำจัดคราบน้ำ มันที่มีจำนวนมาก	ราคาแพง ไม่สามารถย่อยสลาย ทางชีวภาพได้ และอาจเป็น สาเหตุให้เกิดผลกระทบอย่าง อื่นตามมา
วิธีการเผา	เป็นวิธีที่มีราคาถูกมาก	ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ซึ่ง มี สาร ป ระ ก อบ พ ว ก Carcinogenic เป็นอันตรายต่อ สุขภาพ
วิธีการทางชีวภาพ	ราคาถูกและมีความปลอดภัย และไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวด ล้อม	ใช้ระยะเวลาในการกำจัด คราบน้ำมันออกจากสิ่งแวดล้อม



## 2.7 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไฮโดรคาร์บอน (Petroleum Hydrocarbon Degrading Microorganisms) สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.10

การย่อยสลายคราบน้ำมันหรือปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนโดยจุลินทรีย์เป็นขบวนการที่ต้องใช้เวลานาน แต่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งความสามารถในการย่อยสลายนี้ไม่จำกัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียเท่านั้น แต่ยังรวมถึงพวกรา ยีสต์และสาหร่ายด้วย มีแบคทีเรีย 28 ชนิด รา 30 ชนิด และยีสต์ 12 ชนิด ที่สามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอน (Bearstecher, 1954 อ้างถึงใน ยูเวเรสน์ เอ็มแฮม, 2537) จากการศึกษาของ Bartha และ Atlas (1977) พบว่ามีแบคทีเรีย 22 genera เช่น *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium* ฯลฯ สาหร่าย 1 genus และรา 14 genera เช่น *Candida*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* ฯลฯ ที่แยกได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ปนเปื้อนน้ำมัน ซึ่งเป็นชนิดที่พบบ่อย นอกจากนี้ Walker และ Colwell (1976) ยังศึกษาน้ำตัวอย่างและตะกอนดินที่ปนเปื้อนน้ำมันบริเวณ Colgate Creek และ Eastern Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา พบแบคทีเรียจีสต์ *Acinetobacter*, *Actinomycete*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillus*, *Lucibacterium*, *Moraxella*, *Cytophage*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, และอื่น ๆ ซึ่งในจำนวนนี้ *Pseudomonas* จัดว่าเด่นที่สุด นอกจากนั้นยังมีการทดลองแยกเชื้ออีกจำนวนมากที่พบจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติสามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนได้ (Jones และ Eddington, 1968; Davies และ Westlake, 1979) ส่วน Kampfer และคณะ (1993) ทำการจัดจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากตัวอย่างน้ำบริเวณโรงกลั่นน้ำมันของเยอรมัน พบว่าจุลินทรีย์ที่แยกได้ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์แกรมลบ ตัวอย่างเช่น *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Comamonas*, *Hydrogenophaga*, *Pseudomonas*, และ *Flavobacterium* ส่วนจุลินทรีย์แกรมบวกที่พบส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่ม *Bacillus*, *Coryneforms* และ *Nocardioform* สำหรับการศึกษาในประเทศไทย โดยศิริพร เหลืองนฤทัย (2535) ศึกษาการย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล โดยใช้ *Flavobacterium meningosepticum* และ *Pseudomonas fluorescens* พบว่า สามารถลดปริมาณอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้ 5-11 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก/น้ำหนัก) เป็นต้น

ส่วนใหญ่จุลินทรีย์ที่มาจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันดิบเป็นเวลานานจะมีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีกว่า (Braddock และคณะ, 1995) เนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดการปรับตัวเพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนน้ำมันดิบได้ ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องมีกลไกในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานและคาร์บอนสำหรับการเจริญ (Sexstone และ Atlas, 1977) การย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนในธรรมชาติเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์หลายชนิด (Jones และ Edington, 1968) ซึ่งการใช้กลุ่มจุลินทรีย์หรือจุลินทรีย์ผสมจะมี

ประสิทธิภาพสูงกว่าจุลินทรีย์บริสุทธิ์เพียงชนิดเดียว (Walker และ Colwell , 1975 ; Atlas , 1981 ; Leathy และ Colwell , 1990 ; Venkateswaran และคณะ , 1995) เนื่องจากน้ำมันดิบมีองค์ประกอบที่มีความซับซ้อนสูง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ El และ Moursy (1962) แสดงให้เห็นว่า *Faecal Streptococci* มีความสำคัญต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรคาร์บอนและพบว่า *Streptococcus faecalis* และ *Escherichia Coli* สามารถมีชีวิตรอดได้ในน้ำทะเลเขตร้อนที่ปนเปื้อนด้วยปิโตรเลียม และเชื้อผสมจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเชื้อบริสุทธิ์ ในการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียที่มีปิโตรเลียมปนเปื้อน สามารถจะชี้บ่งถึงความแตกต่างของสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบพวกอนินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจะพบว่าชนิดของแบคทีเรียมีความต้องการที่ต่างกันในการที่จะย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้สารประกอบอินทรีย์และสารประกอบพวกอนินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานสำหรับพวกมัน

โดยจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันได้จำเป็นจะต้องมีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการ คือ จะต้องมีเซลล์เมมเบรน (Membrane bound) และมีระบบเอนไซม์ออกซิจีเนส (Oxygenase) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้เป็นกลไกเหมาะสมสำหรับการสัมผัสระหว่างจุลินทรีย์กับไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ชอบน้ำ (Water – insoluble hydrocarbon) และได้ศึกษาพบว่า *Acinetobacter calcoaceticus* RAG – 1 มีกลไกในการดูดซับและนำไปใช้โดยการจับตัวกับหยคน้ำมัน เมื่อเซลล์เข้าไปสัมผัสกับหยคน้ำมันหรือก่อนน้ำมันก็จะปล่อยแคปซูล (Capsules) ซึ่งเป็นสารพวกอิมัลชัน (Emulsan) โดยสารเหล่านี้จะเข้าไปจับกับพื้นผิวระหว่างน้ำกับไฮโดรคาร์บอน ทำให้เซลล์ของแบคทีเรียสามารถเข้าไปเกาะผิวด้านนอกของหยคน้ำมันโดยรอบ ๆ ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้หยคน้ำมันหลุดออกไป (Rosenberg และคณะ ,1992)

ตารางที่ 2.10 จุลินทรีย์ที่พบมากในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันและสามารถย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน (Petroleum hydrocarbon) และ/หรือสารอนุพันธ์ของไฮโดรคาร์บอน (Derivatives) (Jordan และ Payne ,1980 ; Cookson ,1995 อ้างถึงใน มณี พลิตผลการพิมพ์ 2538 ;Cookson ,1995 ; Atlas,1981 ;Atlas,1984 อ้างถึงใน Ampai ,1999 ; Bitton และ Gibsn ,1984 อ้างถึงใน Cookson , 1995)

Bacteriam	Yeast	Filamentous fungi	Cyanobacteria and Algae
<i>Achrombacter spp.</i>		<i>Acremonium spp.</i>	<i>Agmenellum spp.</i>
<i>Achromobacter xylooxidans</i>		<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Amphoro spp.</i>
<i>Achromobacter cycloclastes</i>		<i>Allescheria spp.</i>	<i>Anabaena spp.</i>
<i>Acinetobacter spp.</i>		<i>Aureobasidium spp.</i>	<i>Aphanocapsa spp.</i>
<i>Actinimycetes spp.</i>		<i>Beauveria spp.</i>	<i>Chlamydomonas spp.</i>
<i>Aeromonas spp.</i>		<i>Botrytis spp.</i>	<i>Chlorella spp.</i>
<i>Alcaligenes spp.</i>		<i>Cephalosporium acremonium</i>	<i>Coccochloris spp.</i>
<i>Alcaligenese denitrificans</i>		<i>Chrysosporium spp.</i>	<i>Dunaliella spp.</i>
<i>Alcaligenese eutrophus</i>		<i>Cladosporium resinae</i>	<i>Microcoleus spp.</i>
<i>Arthrobacter spp.</i>		<i>Cochliobolus spp.</i>	<i>Nostoc spp.</i>
<i>Bacillus naphthalenicum</i>		<i>Cunningham elegans</i>	<i>Oscillatoria spp.</i>
<i>Beijerinckia spp.</i>		<i>Cylindrocarpum spp.</i>	<i>Prothotheca zophi</i>
<i>Beneckea spp.</i>		<i>Fusarium spp.</i>	<i>Petalonia spp.</i>
<i>Brevibacterium</i>		<i>Geotrichum spp.</i>	<i>Porphyridium spp.</i>
<i>Brevibacterium healii</i>		<i>Gliocladium spp..</i>	

## ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

Bacteriam	Yeast	Filamentous fungi	Cyanobacteria and Algae
<i>Cellulomonas galba</i>	<i>Sporoboromyces spp.</i>	<i>Graphium spp.</i>	<i>Scenedesmus</i>
<i>Corynebacterium spp.</i>	<i>Sporidiobolus spp.</i>	<i>Helminthosporium spp.</i>	<i>spp.</i>
<i>Cytophaga spp.</i>	<i>Torulopsis spp.</i>	<i>Humicola spp.</i>	<i>Ulva spp.</i>
<i>Desulfomonile tiedjei</i>	<i>Trichoderma spp.</i>	<i>Monilia spp.</i>	
<i>Erwinia spp.</i>	<i>Trichosporon spp</i>	<i>Mortierella spp.</i>	
<i>Flavobacterium spp</i>	<i>Yarrowia spp.</i>	<i>Paecilomyces spp.</i>	
<i>Hyphomicrobium spp.</i>		<i>Penicillium zonatum</i>	
<i>Inonotus circinatus.</i>		<i>Penicillium ochro-chlorens</i>	
<i>Methylobacter spp.*</i>		<i>Phoma spp.</i>	
<i>Methylobacterium spp.*</i>		<i>Scolecobasidium spp.</i>	
<i>Methylococcus spp.*</i>		<i>Sphaerosidales spp.</i>	
<i>Methylocystic spp.*</i>		<i>Sprotrichum spp.</i>	
<i>Methylomonas spp.*</i>		<i>Spicaria spp.</i>	
<i>Methylosinus spp.*</i>		<i>Tolypocladium spp.</i>	
<i>Methanosarcina mazei</i>		<i>Trichoderma spp.</i>	
<i>Methanosarcina spp.</i>		<i>Verticillium spp.</i>	
<i>Micrococcus cerificans</i>			
<i>Micromonospora spp.</i>			

ตาราง 2.10 (ต่อ)

Bacteriam	Yeast	Filamentous fungi	Cyanobacteria and Algae
<i>Mycobacterium spp.</i>			
<i>Mycobacterium vaccae</i>			
<i>M.rhodochrou</i>			
<i>Nitrosomonas eurupaca</i>			
<i>Nocardia spp.</i>			
<i>Nocardia coeliaca</i>			
<i>Nocardia coralina</i>			
<i>Nocardia minima</i>			
<i>Nocardia opaca</i>			
<i>Nocardia salmonicolor</i>			
<i>Phanerochaete laevis</i>			
<i>Phanerochaete sanguinea</i>			
<i>Phanerochaete filamentosa</i>			
<i>Phanerochaete chrysorhiza</i>			
<i>Pseudomonas spp.</i>			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			
<i>Pseudomonas desmolyticum</i>			

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

Bacteriam	Yeast	Filamentous fungi	Cyanobacteria and Algae
<i>Pseudomonas fluorescens</i>			
<i>Pseudomonas ligustri</i>			
<i>Pseudomonas mendocina</i>			
<i>Pseudomonas methanica</i>			
<i>Pseudomonas oleovorans</i>			
<i>Pseudomonas orvilla</i>			
<i>Pseudomonas paucimobilis</i>			
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>			
<i>Pseudomonas putida</i>			
<i>Pseudomonas stutzeri</i>			
<i>Pseudomonas testosterni</i>			
<i>Pseudomonas vesicularis</i>			
<i>Proteus spp.</i>			
<i>Sarcina spp.</i>			
<i>Serratia marioruba</i>			
<i>Serratia marcescens</i>			
<i>Sphaerotilus spp.</i>			
<i>Streptomyces spp.</i>			

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

Bacteriam	Yeast	Filamentous fungi	Cyanobacteria and Algae
<i>Thermomicrobium spp.</i>			
<i>Trametes hirsuta</i>			
<i>Vibrio spp.</i>			
<i>Xanthobacter autotrophicus</i>			

\* ใช้มีเทนเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว

## 2.8 การแพร่กระจายของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอน

จุลินทรีย์ย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนสามารถแพร่กระจายอยู่ทั่วไป ไม่ว่าจะในน้ำทะเลน้ำจืด หรือในดิน ในน้ำทะเลจะพบจุลินทรีย์อยู่บนผิวหน้าของน้ำมากกว่าอยู่ใต้น้ำที่ความลึก 10 เซนติเมตร 10 – 100 เท่า และพบได้แม้แต่ในน้ำทะเลที่เย็นจัด ในช่วงฤดูหนาวจะพบจำนวนน้อยกว่าในฤดูร้อน แสดงว่าฤดูกาลมีผลต่อการเพิ่มจำนวนและพบว่าในบริเวณที่มีการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบ่อยครั้งหรือเป็นเวลานานจะมีจุลินทรีย์ย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนอยู่เป็นจำนวนมาก

จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นภายในเวลาเล็กน้อยหลังจากมีการรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และจะคงจำนวนนั้นไว้เป็นเวลากว่า 1 ปี (Tagger และคณะ , 1976) พบว่า จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นมากไม่ว่าจะในน้ำทะเล น้ำจืด หรือในดิน เมื่อปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Atlas และ Bartha ,1972 ; Walker และ Colwell ,1976 ) และเมื่อเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงไปในผิวหน้าของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนพบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและในปริมาณที่สูงมากเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Calomiris และคณะ ,1976) แต่จุลินทรีย์เองก็มีศัตรูตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นโปรโตซัวหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังต่างๆที่เป็นตัวจำกัดจำนวนของจุลินทรีย์ แบคทีเรียย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนหลาย ๆ สปีชีส์ และยีสต์จะเป็นอาหารของพวก ciliate หรือสัตว์ที่อยู่บริเวณนั้น ศัตรูของจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถทำให้จำนวนของจุลินทรีย์ลดลงจาก  $10^7$  หรือ  $10^8$  /มล. เหลือเพียง  $10^2$  หรือ  $10^3$  /มล. เท่านั้น (ยูเรสส์ เอ็มเอ็ม, 2537)

## 2.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนของจุลินทรีย์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และกิจกรรมของเอนไซม์ (enzymatic activities) ที่มีผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของไฮโดรคาร์บอน มีดังนี้

2.9.1 ประเภทและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน (Type and physical state of oil) อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำมันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันดิบ จากรายงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าอัตราการย่อยสลายของอัลเคนสายตรงจะมีค่าสูงกว่าอัตราการย่อยสลายของอัลเคนสายกิ่ง อะโรมาติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และไซโคลอัลเคน และจากรายงานของ Sugiura และคณะ (1997) แสดงให้เห็นว่า น้ำมันที่มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กันจะมีองค์ประกอบต่างกันด้วย จึงเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันแต่ละแหล่งไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ไม่เท่ากันด้วย นอกจากนี้พื้นที่ผิวของน้ำมันดิบมีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยจุลินทรีย์ เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันดิบในน้ำจะเกิดการแพร่กระจายและจับตัวกันเป็นก้อนโดยลมและคลื่นและ Fought และคณะ (1989) กล่าวว่า เมื่อเกิดอิมัลชันของน้ำมันจะช่วยลดความหนืดและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น และสอดคล้องกับ Singer และ Finnerty (1984) กล่าวว่า การเกิดอิมัลชันโดยการสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพของจุลินทรีย์เป็นกระบวนการที่สำคัญที่จะช่วยในการนำไฮโดรคาร์บอนไปใช้ของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและรา แต่ Colwell และคณะ (1978) และ Davis และ Gibbs (1975) กล่าวว่า ก้อนน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยซึ่งเป็นผลให้เกิดการยับยั้งการย่อยสลายทางชีวภาพ

### 2.9.2 ความเข้มข้นของน้ำมัน (Concentration of oil)

ปัญญาพล ชีโนคม (2543) กล่าวว่า อัตราการนำเข้าและการใช้ไฮโดรคาร์บอนของจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมทางน้ำจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของน้ำมันดิบคือในกรณีที่น้ำมันดิบมีความเข้มข้นสูงจะทำให้มีน้ำหนักรวมมากและไม่เกิดการแตกตัว ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไปยับยั้งการย่อยสลาย เนื่องจากปริมาณออกซิเจนและสารอาหารถูกจำกัด รวมทั้งความเป็นพิษขององค์ประกอบในน้ำมันดิบ และนอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการย่อยสลายยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของน้ำมันดิบ

ที่ความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่ำ ๆ จะเกิดการละลายน้ำได้หมดและจุลินทรีย์จะย่อยสลายได้ทั้งหมด แต่ที่ความเข้มข้นสูงจุลินทรีย์จะเลือกย่อยองค์ประกอบที่สามารถย่อยได้เท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้จุลินทรีย์ย่อยได้ช้าลง



จุลินทรีย์จะย่อยสลายอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว (Liquid Aromatic Hydrocarbons) แต่จะไม่ย่อยสลายอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของแข็ง (Solid Aromatic Hydrocarbons) เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 30 °ซ ซึ่ง diphenylmethane เป็นของเหลวและสามารถถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ แต่ที่อุณหภูมิ 20 °ซ diphenylmethane เป็นของแข็งและจะไม่ถูกย่อยสลาย จุลินทรีย์จะไม่ย่อย naphthalene ที่เป็นของแข็ง แต่จะย่อยเมื่อนำไปละลายในตัวทำละลาย (Atlas, Schofield, Morelli และ Camerron, 1976)

ไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในรูป Tar ball จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของ Tar ball ซับซ้อนและจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้เอนไซม์เข้าสลายพันธะและที่ผิวหน้าของ Tar ball เองมีจุลินทรีย์อยู่น้อย เพราะ Tar ball มักถูกพัดพามาติดชายหาด ซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำท่วมไม่ถึง ทำให้จุลินทรีย์ขาดสารอาหารและแร่ธาตุที่จะช่วยในการเจริญเติบโต

### 2.9.3 ความเป็นกรด - ค่าง

Song และ Bartha (1990) กล่าวว่า โดยทั่วไปพบช่วงความเป็นกรด - ค่างที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 แต่จุลินทรีย์จะไม่สามารถอยู่รอดได้เมื่อค่าความเป็นกรด - ค่างมีค่าสูงกว่า 9.5 หรือมีค่าต่ำกว่า 4.0 ซึ่งสอดคล้องกับ Dibble และ Bartha (1979) และ Atlas (1975) พบว่า ช่วงความเป็นกรด - ค่าง ซึ่งสามารถย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนได้อย่างรวดเร็วมากอยู่ในช่วง 6.0 และ 8.0 เช่น การปรับค่าความเป็นกรด - ค่าง ในดินในช่วง 6.0 และ 8.0 จะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลาย อีกทั้ง Zobbel (1969) พบว่า ระบบทางชีวภาพส่วนใหญ่จะมีความไวต่อค่าความเป็นกรด - ค่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด - ค่าง ให้อยู่ในช่วง 6.5 - 8.0 นอกจากนี้ Fan และ Tafuri (1994) ยังพบว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพทั้งหมดภายใต้สภาพความเป็นค่างเล็กน้อยจะมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าในสภาวะที่มีสภาพความเป็นกรด

### 2.9.4 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิในช่วงกว้างๆ โดยปกติกระบวนการทางชีวภาพ (Biological processes) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอัตราการย่อยสลายจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง หรืออาจกล่าวได้ว่า กระบวนการทางชีวภาพจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ ซึ่งในประเด็นดังกล่าวเชื่อว่าเป็นผลมาจากอัตราการทำงานของเอนไซม์ในชั้นดิน (Leahy และ Colwell, 1990) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรคาร์บอนถูกพบว่าจะอยู่ที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic temperature) (Rainwater และ Scholze, 1991; Dibble และ Bartha, 1979) ดังนั้น Dibble และ Bartha จึงได้สรุปว่าอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะเกิดได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิมากกว่า 20 °ซ และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะดีที่สุดเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่น้ำใน

ทะเลมักมีอุณหภูมิประมาณ  $4^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่านั้น (90 เปอร์เซ็นต์ ของประเทศในเขตหนาว) แม้ว่าจะมีจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญในอุณหภูมิเข้าใกล้  $0^{\circ}\text{C}$  ได้ แต่ในสภาวะเช่นนั้นกิจกรรมการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนก็จะต่ำลงด้วย เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิประมาณ  $0 - 30^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิค่าประมาณ  $-1 - 10^{\circ}\text{C}$  การย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นได้ช้ามาก และจะย่อยสลายได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ  $25 - 37^{\circ}\text{C}$  (Horowitz และ Atlas, 1979 อ้างถึงใน ยูเวเรสน์ เอ็มแย้ม, 2537) ซึ่งสอดคล้องกับ Margesin และ Schinner (1997) ได้สรุปว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง  $20 - 40^{\circ}\text{C}$  อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Morjan และ Watkinson (1989) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพของปิโตรเลียมโดยทั่วไปอยู่ในช่วง  $30 - 40^{\circ}\text{C}$  และนอกจากนี้ Hoff (1993) พบว่า อัตราการย่อยสลายปิโตรเลียมที่เหมาะสมโดยจุลินทรีย์ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน อยู่ในช่วง  $15 - 30^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสอดคล้องกับ Sono และ Futaka (1966) พบว่า จำนวนหรือปริมาณของของเสียปิโตรเลียมซึ่งมีมากเกินไปจะทำให้เป็นพิษต่อระบบทางชีวภาพ อุณหภูมิที่สูงอาจทำอันตรายต่อแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตในน้ำ แต่ในขณะที่อุณหภูมิต่ำจะลดกิจกรรมกลไกการย่อยสลายไป และผลการทดลองของ Zobbel (1969) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว เมื่อโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนผสมกันอย่างสมบูรณ์กับน้ำในช่วงอุณหภูมิ  $15^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้ Bossert และ Bartha (1984) ; Rosenberg และคณะ (1992) ; Margesin และ Schinner (1997) รายงานว่าช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายน้ำมันดิบของจุลินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง  $20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $40^{\circ}\text{C}$  แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำมัน และจากการทดลองของ Mulkins และ Steward (1974) พบว่าน้ำมันเครื่อง (Motor Oil) มีการย่อยสลายได้  $20 - 30$  เปอร์เซ็นต์,  $30 - 50$  เปอร์เซ็นต์ และ  $50 - 80$  เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  มีการย่อยสลายน้อยมากจนวัดไม่ได้

### 2.9.5 สารอาหาร (Nutrient)

คราบน้ำมันที่ลอยอยู่ในน้ำสามารถเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ แต่เป็นแหล่งที่จำกัด เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโตด้วย ซึ่ง Atlas และ Bartha (1972) พบว่าไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 0.07 มิลลิกรัม/ลิตร มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบ Sweden ที่มีความเข้มข้น 8 กรัม/ลิตร ในปีเดียวกัน Reisfeld และคณะ (1972) รายงานค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส คือ 11 และ 2 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับย่อยสลายน้ำมันดิบ Iranian I กรัม/ลิตร ในน้ำทะเล Mediteranean

สารอาหารที่ความเข้มข้นพอเหมาะจะช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีขึ้นและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปก็จะทำให้การย่อยสลายเกิดได้ช้าลง ซึ่งสามารถจะวัดการย่อยสลายได้ทั้งจากปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen

Uptake) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น (CO<sub>2</sub> Production) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หรือ การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด – ค่าง

### 2.9.6 ออกซิเจน (Oxygen)

ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการวัดอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษ ซึ่งในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนเพื่อให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ จุลินทรีย์ต้องใช้ใช้ออกซิเจนอิสระหรือออกซิเจนละลายน้ำ (Free or Dissolved Oxygen) 3 – 4 มิลลิกรัม /มิลลิกรัม ของไฮโดรคาร์บอน ซึ่ง Bossert (1995) กล่าวว่า ในสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic condition) จะมีอัตราการย่อยสลายที่สูงขึ้น โดยออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ แต่มีแบคทีเรียไม่มากนักที่สามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งพลังงาน และพบค่าแบคทีเรียเหล่านี้มีอัตราย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนต่ำ ตรงข้ามกับแบคทีเรียที่ใช้ไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงานแบคทีเรียเหล่านี้จะมีอัตราการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้นเมื่อเติมออกซิเจน

การย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดขึ้นได้ในภาวะขาดออกซิเจนหรือโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน แต่ประสิทธิภาพจะไม่ดี การเติมสารอาหารอย่างเดียวยังไม่ได้เติมออกซิเจนไม่ทำให้การย่อยสลายเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเติมทั้งสารอาหารและออกซิเจน คาดว่าสามารถกำจัดน้ำมันเบนซินได้ถึง 1,000 บาร์เรล (Jamison, Taymand และ Hudson, 1975) แต่บางครั้งการเติมออกซิเจนก็ทำได้ยากถ้าเป็นพื้นที่เปิด ซึ่งมีกระแสน้ำไหลและลมพัดตลอดเวลา เนื่องจากจะทำให้ออกซิเจนกระจายออกไปหมด

นอกจากนี้ Li และคณะ (1994) ได้กล่าวว่า การเติมอากาศ (Air was supplied) หรือ การเติมออกซิเจน มีความสำคัญ 2 ประการ คือ

- (ก) เพื่อช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
- (ข) การให้อากาศช่วยสร้างกระแสปั่นป่วน (Turbulence) ที่จำเป็นต่อการผสมอย่างสมบูรณ์ของสารอาหาร

ซึ่งสอดคล้องกับ Jobson และคณะ (1972) และ Wilson และ Bradley (1996) ได้รายงานว่าการให้อากาศ (Aeration) และคุณภาพของน้ำมัน มีผลต่อการเกิดอิมัลชันของน้ำมันและการย่อยสลายอัลเคน และ Floodgate (1984) ; Robson และคณะ (1972) พบว่าการเพิ่มอัตราการให้อากาศจะช่วยกระตุ้นอัตราการเจริญและประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันให้สูงขึ้น อีกทั้ง Davies และ Hughes (1968) พบว่า ทั้งการเกิดการปั่นป่วนและการเติมอากาศให้แก่ระบบ จะช่วยเพิ่มการย่อยสลายน้ำมัน เพราะการเกิดการปั่นป่วนจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของหยดน้ำมันและ

เกิดการละลายของออกซิเจน เพราะ โมเลกุลของออกซิเจนมีส่วนสำคัญและจำเป็นสำหรับกระบวนการแรกในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนโดยเอ็นไซม์ออกซิจีเนส (Oxygenase enzymes)

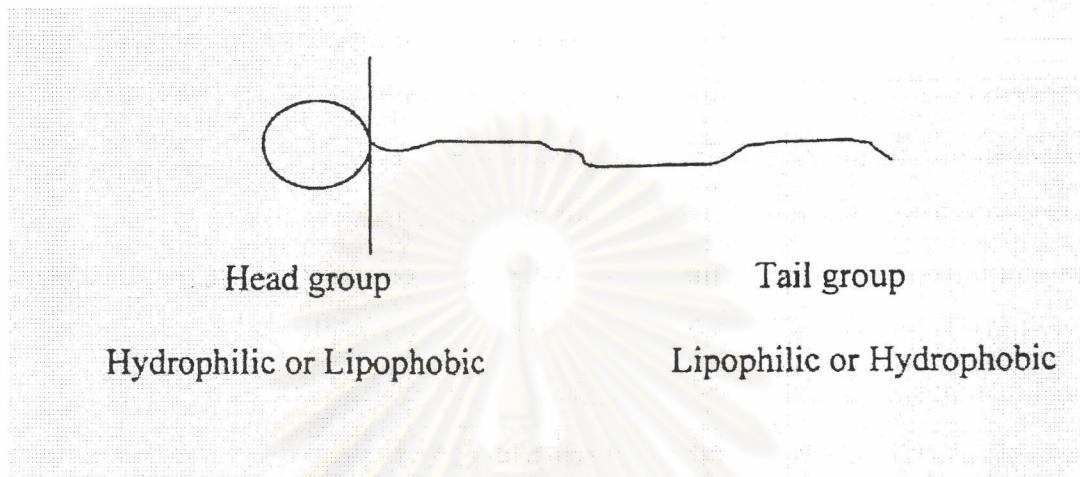
### 2.9.7 ความเค็มและความดัน (Salinity and pressure)

นอกจากปัจจัยดังกล่าวมาแล้ว ความเค็มของน้ำหรือความลึก (ความดัน hydrasttic) มีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันด้วย ในน้ำตัวอย่างที่เป็น Hypersaline มีความเค็มตั้งแต่ 3.3 – 28.4 เพลอร์เซ็นต์ เมื่อเติมไฮโดรคาร์บอนลงไป พบว่าอัตราการเมตาบอลิซึมจะลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น (Ward และ Brock ,1978) จุลินทรีย์ในน้ำทะเลส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อมีความเค็มระหว่าง 2.5 – 3.5 เพลอร์เซ็นต์ และเจริญได้น้อยหรือแทบจะไม่เจริญเลยในที่มีความเค็มต่ำกว่า 1.5 – 2.0 เพลอร์เซ็นต์

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ความดันบรรยากาศและความดันใต้ทะเล จะพบการย่อยสลายแตกต่างกัน คือ ที่ความดัน 1 บาร์ เฮกซะเดเคน จะถูกย่อยสลายไป 94 เพลอร์เซ็นต์ ภายใน 8 สัปดาห์ แต่ที่ความดัน 500 บาร์ ต้องใช้เวลาถึง 10 สัปดาห์ ในการย่อยสลายและสรุปได้ว่าไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในทะเลลึกจะอยู่นานและย่อยสลายได้อย่างช้า

2.9.8 สารลดแรงตึงผิวจากธรรมชาติ (Biological surfactants) หรือ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactants) หรือสารอิมัลซิ - ไฟเออร์จากชีวภาพ (Bioemulsifiers) เป็นสารประกอบประเภทชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นโมเลกุลแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic) ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างพื้นผิวของสารสองชนิดที่มีขั้วต่างกัน เช่น น้ำกับน้ำมัน หรือ อากาศกับน้ำ เป็นต้น กลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวจากธรรมชาติ ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน แต่สารประเภทนี้ช่วยในการลำเลียงสารอาหารในจุลินทรีย์ให้ดีขึ้น (Jennings และ Tanner ,2001) ซึ่งสอดคล้องกับ Crathrone และ Dobbs (1990) กล่าวว่า สารลดแรงตึงผิวทั้งกายภาพและชีวภาพ ซึ่งรู้จักกันในฐานะที่เป็นสารสำหรับช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากกรปนเปื้อนของน้ำมัน โดยการลดแรงตึงผิวและทำให้อนุภาคของน้ำมันมีขนาดเล็กลง ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการละลาย สารเหล่านี้ถูกสร้างโดยจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ เช่น *Bacillus sp.* , *Pseudomonas sp.* เป็นต้น (Lepo และ Cripe ,1999) จากการศึกษาของ Cassidy (2001) ได้รายงาน ว่า ความเข้มข้นของไบโอเซอร์แฟกแทนต์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราความเข้มข้นของสารตั้งต้น และนอกจากนี้ Rosenberg และ Rosenberg (1981) ; Rosenberg และ Rosenberg (1985) ยังพบว่า *Acinetobacter calcoaceticus* RAG – 1 สามารถเจริญและผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเมื่อเลี้ยงในภาวะที่มีเฮกซะเดเคนและน้ำมันดิบเป็นแหล่งคาร์บอนทำให้เกิดอิมัลชันและการจับตัวกันระหว่างเชื้อกับน้ำมันมากขึ้น และ Mattei และ Bertrand (1985) ; Mattei และคณะ (1986) ; Foght และ

คณะ (1989) ; Bruheim และคณะ (1999) ทำการศึกษาพบว่า กลุ่มประชากรจุลินทรีย์สามารถผลิตสารลดแรงดึงผิวชีวภาพได้เมื่อทำการเลี้ยงเชื้อในน้ำมันดิบและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายองค์ประกอบบางชนิดของน้ำมันได้มากกว่าเชื้อเพียงชนิดเดียว



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารลดแรงดึงผิว

ที่มา : Ampai (1999)

## 2.10 หลักเกณฑ์ที่บ่งชี้ถึงการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนของจุลินทรีย์

เกณฑ์ที่ใช้ในการบ่งชี้การย่อยสลายของจุลินทรีย์ หรือไฮโดรคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายมีความแตกต่างกันไป เกณฑ์ส่วนใหญ่ไม่สามารถบอกปริมาณ ขั้นตอน หรือองค์ประกอบที่ถูกย่อยสลายได้ เกณฑ์บางอย่างถ้าอุณหภูมิหรือปัจจัยสำคัญทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ คงที่เท่ากันวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน การเจริญเติบโต หรือปริมาณเกลือแร่ แต่ไม่สามารถวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่จุลินทรีย์ใช้ ผลที่ได้จากแต่ละวิธีจะแตกต่างกันในเชิงปริมาณน้อยมาก

การหายไปของน้ำมัน คือ การหายไปของน้ำมันที่ผิวหน้าอันเนื่องมาจากการเกิดอิมัลชันหรือการย่อยสลายสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ไม่สามารถวัดออกมาเป็นปริมาณที่แน่นอนจากการดูด้วยตาได้ การวัดมักจะดูจากน้ำหนักของน้ำมันที่หายไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุม เครื่องมือที่ใช้วัดคือเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ซึ่งสามารถใช้วัดปริมาณของไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดที่หายไป ในการทดลองแต่ละครั้งควรมีชุดควบคุมเพื่อใช้ศึกษาการระเหย การเกิดออกซิเดชัน (Autoxidation) และการดูดซับ (Adsorption) โดยจุลินทรีย์หรือของแข็งอื่น ๆ ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม

ออกซิเดชัน (Autoxidation) และการดูดซับ (Adsorption) โดยจุลินทรีย์หรือของแข็งอื่น ๆ ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม

อุณหภูมิ แสงแดด และการเร่งการเกิดปฏิกิริยาของสารอนินทรีย์ล้วนมีอิทธิพลต่อการเกิดออกไซด์ออกซิเดชัน น้ำมันที่เกิดอิมัลชันหรือฟิล์มน้ำมันที่ลอยอยู่เป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวน้ำสามารถเกิดออกไซด์ออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันที่เกาะกันเป็นก้อนใหญ่ที่จริงแล้วองค์ประกอบของน้ำมันเองเป็นอุปสรรคต่อการเกิดออกไซด์ออกซิเดชัน (Schwarz, Waler และ Colwell, 1975) ซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) กรดอินทรีย์ อัลกอฮอล์ เอสเตอร์ คีโตน และอื่น ๆ ในแหล่งน้ำแบบปิด ออกไซด์ออกซิเดชันของน้ำมันดิบสามารถเกิดได้เร็วประมาณ 10 - 50% ใกล้เคียงกับอัตราการเกิดไบโอเคมีคัลออกซิเดชัน (Biochemical Oxidation Rate) (Frank, 1950) อัตราการเกิดออกไซด์ออกซิเดชันคล้ายกับการระเหย คือ ปริมาณจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ขบวนการทั้งสองชนิดจะเริ่มขึ้นทันทีเมื่อน้ำมันดิบหรือน้ำมันกลั่นสัมผัสกับอากาศและจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุด (ยูเวเรสน์ เอ็มแซม, 2537)

การใช้ออกซิเจน (Oxygen Uptake) ถ้าแหล่งน้ำไม่มีการละลายของออกซิเจนที่อิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (Supersaturated) ละลายในน้ำ น้ำมันจะไม่มีออกซิเจนเพียงพอที่จะใช้ย่อยจุลินทรีย์จะย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนได้เล็กน้อย อัตราการใช้ออกซิเจนจะเป็นตัวชี้ถึงความเร็วในการออกซิไดซ์น้ำมัน ไม่สามารถบอกหรือบอกได้เพียงเล็กน้อยเกี่ยวกับการออกซิไดซ์ที่ตัวอย่างเช่น ไม่สามารถบอกได้ว่าออกซิเจน 14 โมเลกุล (28 อะตอม) จะเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอน 28 โมเลกุลให้เป็นสารประกอบโมโนไฮดรอกซี หรือออกซิเจนจำนวนเดียวกันนี้จะออกซิไดซ์โนแนน 1 โมเลกุลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

การเกิดอิมัลชัน คือ การเกิดอิมัลชันของน้ำมันในตัวกลางที่เป็นของเหลวและการลดลงของแรงดึงดูดของพื้นผิว เป็นสัญญาณแรกและสำคัญที่สุดที่บอถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ แต่มีจุลินทรีย์บางชนิดที่ไม่ทำให้เกิดอิมัลชัน และน้ำมันบางชนิดไม่มีการเกิดอิมัลชันนอกจากนั้นเวลาในการเกิดอิมัลชันก็เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ด้วย

การวัดปริมาณผลผลิตที่เกิดจากการออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์โดยวัดจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ อัลดีไฮด์ สารประกอบไฮดรอกซี เอสเตอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอื่นๆ แต่การวัดปริมาณผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าน้ำมันหรือไฮโดรคาร์บอนถูกออกซิไดซ์ไปเท่าไร เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ จุลินทรีย์จะทำให้ ค่าความเป็นกรด - ค่า ลดลง ซึ่งสามารถบอกได้แต่เพียงว่ามีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นเท่านั้น

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Atlas และ Bartha (1972) ศึกษาการย่อยสลาย (Degradation) ของน้ำมันปิโตรเลียมโดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิดที่แยกได้จากน้ำทะเล คือ *Flavobacterium sp.* และ *Brevibacterium sp.* น้ำมันดิบที่นำมาศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและองค์ประกอบหลัก รวมถึงวัดอัตราการลดลงของไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (Total Hydrocarbon) โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี ร่วมกับแมสสเปกโตรเมตรี และวัดอัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$  Evaluation) ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรคาร์บอนเริ่มลดลงในช่วง 2-4 วัน และถึงจุดสูงสุดภายใน 2 สัปดาห์ โดยน้ำมันดิบมีการลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรคาร์บอนผสม (Model Hydrocarbon Mixture) ลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ ในการเปรียบเทียบการลดลงของพาราฟินโซ่ตรงและโซ่กิ่ง พบว่าพาราฟินโซ่ตรง ซึ่งมี  $n\text{-C}_{12}$  ถึง  $n\text{-C}_{20}$  จะลดลงได้มากกว่า

นอกจากนั้น Atlas และ Bartha ยังได้ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันปิโตรเลียมในน้ำทะเลที่อุณหภูมิต่ำ โดยการเติมน้ำมันปิโตรเลียมในน้ำทะเลแล้วนำมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิ  $5^{\circ}\text{C}$  ถึง  $20^{\circ}\text{C}$  วัดอัตราการย่อยสลายโดยวิธีการประเมินค่าจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนโดยใช้วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี ได้ผลสรุปว่าที่อุณหภูมิต่ำไม่เพียงแต่จะทำให้อัตราการย่อยสลายช้าลงเท่านั้น แต่ยังทำให้ lag phase ของแบคทีเรียมีช่วงเวลายาวขึ้นด้วย

Soil และ Bens (1972) ศึกษาแบคทีเรียที่ย่อยสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล โดยใช้ *Corynebacterium*, *Arthobacter* และ *Archomobacter* ซึ่งแยกได้จากบริเวณชายฝั่งทะเลแถบแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา แบคทีเรียเหล่านี้สามารถออกซิไดซ์พาราฟินโซ่ตรง พาราฟินโซ่กิ่ง และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลสังเคราะห์ได้ ซึ่งความสามารถนี้ดูได้จากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดที่ถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียได้โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

Zajic และ Supplisson (1972) ศึกษาการย่อยสลายและการเกิดอิมัลชันของน้ำมันเชื้อเพลิง Bunker C โดยใช้แบคทีเรียที่แยกเชื้อได้จากน้ำมันชนิดนี้โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเมื่อนำเชื้อไปบ่มใน Mineral Salt Aqueous Medium ที่ผสมน้ำมัน เชื้อที่ผสมกันอยู่นั้นจะทำให้เกิดอิมัลชัน ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ภายในเวลา 24 – 48 ชั่วโมง และปรากฏว่าทั้งแบคทีเรียและฟังกัใจที่แยกได้มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชันได้ทั้งสิ้น แม้ว่าจะถูกนำไปทำให้แห้งและแช่แข็งไว้ และจากการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีวิเคราะห์การย่อยสลายน้ำมัน แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียเลือกที่จะย่อยนอร์มัลพาราฟินก่อนเป็นอันดับแรก

Jobson, Cook และ Westlake (1972) ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบของแบคทีเรียโดยใช้น้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน 2 ชนิด ศึกษาที่อุณหภูมิ 4 °ซ และ 30 °ซ และมีการเติมสารอาหาร (Enrichment) วัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การเกิดอิมัลชัน และอัตราการย่อยสลายในอุณหภูมิทั้งสอง ผลจากการแยกเชื้อแบคทีเรียในน้ำมันที่อุณหภูมิปานกลาง พบว่าแบคทีเรียชนิด *Pseudomonas (nonpigmented)*, *Flavobacterium* และ *Archromobacter* ส่วนอีกชนิดที่พบคือ *Bacillus* ซึ่งเข้าใจว่าน่าจะมาจากการปนเปื้อนในธาตุอาหารมากกว่า ส่วนแบคทีเรียที่แยกได้จากน้ำมันในอุณหภูมิต่ำคือ พวก *Pseudomonas* และพวกแกรมบวก รูปแท่งลักษณะคล้าย *Bacillus* ซึ่งไม่สามารถระบุชนิดได้ จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการย่อยสลายนอร์มอล-อัลเคนนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย กล่าวคือ แบคทีเรียที่พบในอุณหภูมิต่ำจะย่อยสลายได้จนถึง  $n-C_{31}$  ในขณะที่แบคทีเรียที่พบในอุณหภูมิปานกลางจะย่อยได้ตั้งแต่  $n-C_{16}$  ขึ้นไป ส่วนน้ำมันดิบที่เหลือจากการย่อยสลายจะมีความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เพิ่มขึ้นและมีการตกตะกอนแตกตัวออกมาจากสารละลาย ในการศึกษาคูสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบ ใช้วิธีลิควิด - แก๊สโครมาโทกราฟีวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อนและหลังการเจริญเติบโตของแบคทีเรียซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวจะถูกย่อยสลายก่อนอะโรมาติก แต่มีบางส่วนของอะโรมาติกถูกใช้ไป ส่วนสารอาหารที่เติมลงไปในการศึกษาที่มีคุณภาพจะไม่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียเท่ากับที่เติมลงไปในการศึกษาคุณภาพต่ำ

Mechalas และคณะ (1972) ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบของเชื้อแบคทีเรียผสม วัดปริมาณนอร์มัล - อัลเคน โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าพาราฟินไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลต่ำจะถูกย่อยสลายก่อน ตามด้วยพวกโมเลกุลสูงและไอโซพรีนอยด์

Westlake และคณะ (1974) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันดิบของแบคทีเรีย โดยใช้ น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน 4 ชนิด ภายใต้อุณหภูมิปานกลาง (30 °ซ) และอุณหภูมิ (4 °ซ) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนแบคทีเรียด้วยวิธี plate count และศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ผลการทดลองพบว่า จำนวนแบคทีเรียภายใต้สภาวะทั้งสองมีจำนวนใกล้เคียงกัน แต่แบคทีเรียที่อยู่ในอุณหภูมิปานกลางแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดในการย่อยสลายน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ และจากการแยกชนิดของแบคทีเรียพบว่ากลุ่มที่พบบ่อย ได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง สำหรับความสามารถในการใช้น้ำมันดิบเป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียแบบผสมหลายสายพันธุ์นี้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหรือจำนวนของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวในน้ำมันเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับแอสฟัลทีนส์ (Asphaltenes) และ N, S, O ด้วย ในการเจริญเติบโตในน้ำมันที่มีนอร์มอล-อัลเคนน้อย แบคทีเรียสามารถใช้อะโรมาติกทดแทนได้ คุณภาพของน้ำมันและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อจำนวน



แบคทีเรีย ที่อุณหภูมิต่ำ ไอโซพรีนอยส์ (Isophenois) ไฟเทน (Phythane) และพริสเทน จะถูกใช้ได้ น้อย แต่ในขณะที่ภายใต้อุณหภูมิปานกลางจะถูกใช้ได้มากกว่า

Horwith และคณะ (1975) ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบในน้ำทะเล โดย ใช้แบคทีเรียบริสุทธิ์ (Pure Culture) 3 สายพันธุ์ คือ UP - 2 , UP - 3 , UP - 4 ผลการทดลองพบว่า UP - 2 มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอีก 2 ชนิด เมื่อวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเจริญเติบโต เปรียบเทียบปริมาณการย่อยสลาย และการเกิดอิมัลชันของน้ำมันในระหว่างที่มันอยู่ในช่วงคงที่ (Exponential Phase) และมีจำนวนเซลล์  $1.6 \times 10^8$  เซลล์/มิลลิลิตร หลังจาก UP - 2 เจริญเต็มที่แล้ว น้ำมันที่เหลือ (Residual Oil) จะเป็นสารอาหารให้ UP - 3 และ UP - 4 แต่ก่อนหน้านั้นได้มีการ แยกเชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายน้ำมันได้อีกชนิดหนึ่ง คือ RAG - 1 ซึ่ง UP - 2 , UP - 3 , และ UP - 4 เองก็สามารถเจริญได้ในน้ำมันที่ถูกย่อยสลายแล้วโดย RAG - 1 (ไม่มีนอร์มอล - อัลเคนเหลืออยู่ เลย) ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบพาราฟินชนิดใหม่ ซึ่งตรวจพบโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และเมื่อนำแบคทีเรียทั้ง 4 สายพันธุ์มารวมกัน พบว่าสามารถลดน้ำมันได้มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

Walker และ Colwell (1975) ศึกษาโดยประเมินการย่อยสลายน้ำมันดิบ South Louisiana โดยแบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณปากแม่น้ำ วิเคราะห์ชนิดและปริมาณไฮโดรคาร์บอนโดยวิธีแมสสเปกโตรเมตรี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลทีนส์และเรซินมีการลดลงในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ในเวลาต่อมา ส่วนพวกอะลิฟาติกและอะโรมาติกมีการลดลง 83.4 และ 70.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอร์มอล-อัลเคนและอัลเคนไซกิงมีการลดลง 76.4 เปอร์เซ็นต์ แต่พวกอัลเคนไซยาว ( $n - C_{28}$  ถึง  $n - C_{32}$ ) กลับเพิ่มขึ้นหลังจากลดลงในช่วงแรก ๆ ที่ทำการวัดโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ลำดับในการถูกย่อยสลายของไฮโดรอัลเคน เป็นดังนี้  $6 \text{ วง} > 1 \text{ วง} > 2 \text{ วง} > 3 \text{ วง} > 5 \text{ วง} > 4 \text{ วง}$  ส่วนลำดับในการถูกย่อยสลายของอะโรมาติกจะเป็นไปตามจำนวนวงแหวน คือ  $5 > 4 > 3 > 2 > 1$  และถ้าเป็นอะโรมาติกที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ก็ยังต้องใช้เวลาเป็น 2 เท่า ในการย่อยสลายเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดียวกันที่ไม่มีซัลเฟอร์

Walker และ Colwell (1975) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการย่อยสลายองค์ประกอบของปิโตรเลียม โดยใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์แมสสเปกโตรเมตรี ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันทั้งหมดที่ลดลงจะแปรผันตรงกับเวลาในช่วง Logarithmic Phase ของแบคทีเรีย ซึ่งปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะลดลงมากที่สุด ขณะที่แอสฟัลทีนส์และเรซินมีปริมาณเพิ่มขึ้น พวกอิมัลชันจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

Walker และคณะ (1975) พบว่า น้ำมันที่มีองค์ประกอบต่างกันจะถูกย่อยสลายได้แตกต่างกัน เช่น น้ำมันดิบ กับน้ำมันเชื้อเพลิง อีกทั้งอุณหภูมิและสารอาหารมีผลต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์และองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ (Atlas และ Bartha , 1972 ;Mulkins และ Stewart , 1974) ซึ่งสอดคล้องกับ Dibble และ Bartha (1979) พบว่าค่าของความชื้นในดิน ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณสารอาหาร และอุณหภูมิ มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของสัดค้ำน้ำมัน

Walker และคณะ (1976) ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบและน้ำมันเชื้อเพลิงของแบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณปากแม่น้ำ น้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันดิบ 2 ชนิด และน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด ผลสรุปว่า น้ำมันแต่ละชนิดจะเหมาะสมกับแบคทีเรียและยีสต์แตกต่างกันไป น้ำมันดิบจาก South Louisiana ซึ่งมีซัลเฟอร์ต่ำ ความอิมตัวสูง จะถูกลดได้มาก ในทางกลับกันน้ำมันเชื้อเพลิง Bunker C ซึ่งมีซัลเฟอร์สูง จะมีพวอะโรมาติกมาก จะถูกลดโดยแบคทีเรียได้ช้ากว่า

Ward และBrock (1976) พบว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพในทะเลสาบ Wisconsin อยู่ในช่วง 20 – 25 °ซ โดยอัตราการเกิดออกซิเดชันของเฮกซะเดเคนในทะเลสาบเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและการละลายของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดู และช่วงที่เกิดอัตราการย่อยสลายสูงสุดคือช่วงฤดูร้อน

Morozov และ Nikolaev (1978) ได้ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยแบคทีเรีย คือ *Pseudomonas liquida*, *Pseudomonas Minuscula*, *Pseudomonas Nebulomum*, *Bacterium aliphaticum* และ *Bacterium formosum* พบว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะที่เหมาะสมโดยมีค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 5 – 9 และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 – 28 °ซ ซึ่งช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์

Bertrand และคณะ (1983) กล่าวถึงกระบวนการของการย่อยสลายน้ำมันดิบ โดยเชื้อผสม (Mixed population) ในระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous culture) และต่อมาได้ปรับปรุงวิธีการ โดย Dumenil และคณะ ในปี 1988

Pareilleux (1979) ; Roy และคณะ (1979) ทำการคัดแยกยีสต์ *Yarrowia lipolytica* ซึ่งสามารถใช้แอมอล - เตตระเดเคน , โทเดเคนและน้ำมันในการเจริญเติบโตได้ และสามารถผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพเพื่อช่วยในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนได้ด้วย

อรรถวุฒิ อิ่มพูลทรัพย์ (2537) ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งแยกได้จากสิ่งแวดล้อม จำนวน 127 ชนิด โดยคัดเลือกในอาหาร Bushnell and Haas (BH) ที่มีน้ำมันดิบ Tapis ร้อยละ 1 และตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ โดยใช้ Capillary Gas Chromatography และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยวิธี Plate count พบว่า *Acinetobacter baumannii* และ *Pseudomonas aeruginosa* มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีตามลำดับ และในการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันดิบของจุลินทรีย์กลุ่มต่าง ๆ คือ (1) *Acinetobacter baumannii* และ *Pseudomonas aeruginosa* ที่ใช้เลี้ยงร่วมกัน (2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีในบ่อบำบัดน้ำของโรงกลั่นน้ำมันบางจาก (3) ยีสต์ MU15Y ซึ่งยีสต์ MU15Y นั้นเป็นสายพันธุ์ที่แยกได้ในประเทศไทยและมีรายงานว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดี พบว่า ผลการย่อยสลายน้ำมันดิบของกลุ่มจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันระดับความเข้มข้นร้อยละ 95

มณี ผลิตผลการพิมพ์ (2538) ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยจุลินทรีย์จากดินที่ปนเปื้อนน้ำมันในกรุงเทพฯ โดยทำการใส่ดินลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mineral Salt Medium (MSM) ที่มี 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่อปริมาตร Tapis crude oil เป็นสารอาหารที่ให้คาร์บอนเพียงอย่างเดียว พบเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายน้ำมันได้ 5 ชนิด โดย 3 ชนิดเป็นแบคทีเรีย คือ MU8B, MU11B, MU14B และอีก 2 ชนิดเป็นยีสต์ คือ MU7Y และ MU15Y ซึ่งเชื้อแต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันได้แตกต่างกัน เชื้อที่ย่อยสลายน้ำมันได้ดีที่สุดคือยีสต์ MU15Y ซึ่งสามารถย่อยสลายน้ำมันได้ดีที่ pH 4.0 – 8.0 แต่ย่อยสลายน้ำมันได้น้อยลงที่ pH 3.0 และ MU15Y สามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี NaCl สูงถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่พบได้ในน้ำทะเลทั่วไป แต่ MU15Y ไม่สามารถย่อยสลายน้ำมันในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ (มีแอมโมเนียมไนเตรดน้อยกว่า 0.25 กรัม/ลิตร) หรือมีฟอสฟอรัสต่ำ (มีไดโบแคสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตน้อยกว่า 1 กรัม/ลิตร) อีกทั้งยังพบว่า แอมโมเนียมไนเตรดปริมาณสูง (32 กรัม/ลิตร) จะลดการย่อยสลายน้ำมันของ MU15Y แต่ไดโบแคสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตปริมาณสูง (32 กรัม/ลิตร) กลับไม่มีผลในการลดการย่อยสลายน้ำมันของ MU15Y และเมื่อวิเคราะห์หาสปอร์ของ MU15Y โดยวิธีการทางชีวเคมีพบว่า เป็น *Candida parapsilosis* ซึ่งไม่ก่อโรคในคน

Nitas (1998) ศึกษาคุณสมบัติการกำจัดคราบน้ำมันดิบของแบคทีเรียสายพันธุ์ที่แยกได้ในประเทศไทย โดยการตรวจหาเชื้อสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีความสามารถในการกำจัดคราบน้ำมันดิบ พบเชื้อหลายสายพันธุ์มีคุณสมบัติการกำจัดคราบน้ำมันดิบ แต่สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจัดอยู่ในกลุ่ม *Pseudomonas* โดยกำหนดสายพันธุ์เป็น JM-5 ซึ่งพบว่าเชื้อดังกล่าวสามารถเจริญและกำจัดคราบน้ำมันดิบได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทั้งในน้ำจืดและ

ในน้ำเค็ม ในช่วง pH ตั้งแต่ 6.0 – 8.0 ในอุณหภูมิตั้งแต่ช่วง 25 – 37 °ซ ซึ่งเป็นภูมิอากาศพื้นเมือง แต่ไม่เจริญในอุณหภูมิต่ำ ประมาณ 4 °ซ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและความสามารถในการกำจัด คราบไขมัน ได้แก่ ความเร็วในการเขย่า และปริมาณของไนโตรเจน – ฟอสเฟต ซึ่งจะไม่พบการ เจริญของเชื้อเมื่อทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ไม่มีการเขย่าหรือในอาหารที่ไม่มีไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัส ส่วนแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำทะเลและมีผลต่อการเจริญของเชื้อ คือ แมกนีเซียม ส่วนแร่ธาตุที่สำคัญอีก 2 ชนิด คือ โซเดียมและโปแตสเซียม ไม่มีผลต่อการเจริญของ เชื้อดังกล่าว ส่วนความสามารถในการกำจัดคราบไขมันคิบของเชื้อ *Pseudomonas JM-5* เป็นผลมา จากการสร้างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ ซึ่งจัดจำแนกอยู่ในกลุ่ม กลัยโคลิปิด โดยจะมีความสามารถ ในการกำจัดองค์ประกอบแต่ละส่วนของน้ำมันคิบได้แตกต่างกันโดยกำจัดได้ดีในส่วน ไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว ตามด้วยชนิดไม่อิ่มตัว และพวกที่เป็นอะโรมาติก ตามลำดับ

ปัญญาพล จิโนคม (2543) ทำการศึกษาจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย ไฮโดรคาร์บอนบางชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันคิบ ซึ่งคัดแยกได้จากตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนน้ำมันและ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันคิบได้ดีของสายพันธุ์คัดแยก ได้จากดินที่ปนเปื้อน คือ *Bacillus sp.* B 3 – 1 และ *Pseudomonas sp.* C 1 – 2 ส่วนอีกหนึ่ง สายพันธุ์แยกได้จากกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียของ โรงกลั่นน้ำมันบางจาก คือ *Yarrowia sp.* D 2 – 1 โดยพบว่าทั้ง 3 สายพันธุ์ดังกล่าวมีความสามารถย่อยส่วนประกอบของน้ำมันคิบได้ต่างกัน ดังนี้คือ *Bacillus sp.* B 3 – 1 สามารถย่อยสลายพริสเทนได้ดีที่สุด คิดเป็น 66 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน *Pseudomonas sp.* C 1 – 2 สามารถย่อยสลาย n – Tetradecane ได้ดีที่สุดใน มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 89 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ส่วน *Yarrowia sp.* D 2 – 1 สามารถย่อยสลายพีแนนทรินได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย 90 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาต่อไปว่า เมื่อนำทั้ง 3 สายพันธุ์มาเลี้ยงรวมกัน ในอัตราส่วน 1:1:1 ตามความขุ่นที่ 600 นาโนเมตร พบว่า มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันคิบ ได้ 85 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน ซึ่งดีกว่าใช้เชื้อแต่ละตัว และสารที่เหลือส่วนใหญ่ คือ พริสเทน และเมื่อมีการปรับสภาวะให้เหมาะสม คือ ที่ความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 8.0 อุณหภูมิ 20 °ซ และใช้ความเร็วในการเขย่า 250 รอบต่อนาที พบว่า เชื้อสามารถย่อยสลายน้ำมันคิบได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 7 วัน

Sirawaris (2000) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันคิบ โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตจากแบคทีเรียสายพันธุ์ *Pseudomonas J-45* และศึกษาคุณสมบัติ ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตได้ โดยการแยกการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่ง *Pseudomonas J-45* เป็น แบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณที่มีการปนเปื้อนน้ำมันในประเทศไทย พบว่าแบคทีเรียชนิดนี้สามารถ สามารถเจริญและย่อยสลายน้ำมันคิบได้ดีในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่นที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25 – 37 °ซ

อัตราเติมอากาศ 0.25 – 1.0 v.v.m และใช้น้ำทะเลเป็นแหล่งแร่ธาตุ ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันดิบ (1% ในอาหารเหลว 8 ลิตร ในถังหมักขนาด 10 ลิตร) ได้ดีที่สุดคือ 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °ซ และการเติมอากาศ 1 v.v.m และที่สภาวะนี้แรงดึงผิวจะมีค่าต่ำสุด และพบว่าปริมาณสารลดแรงดึงผิวมีอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำใสมากกว่าในส่วนที่เป็นเซลล์ประมาณ 10 เท่า ซึ่งสารลดแรงดึงผิวชีวภาพนี้จัดอยู่ในกลุ่มของกลัยโคลิปิด พบว่า มีน้ำตาลแรมโนส เป็นส่วนประกอบ และสารลดแรงดึงผิวชีวภาพนี้สามารถคงตัวได้ดีในช่วง ความเป็นกรด - ด่าง กว้าง ตั้งแต่ pH 6.0 – 12.0 โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ pH 8.0 และมีความคงตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 55 – 80 °ซ ได้ 3 ชั่วโมง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย