

บทที่ 2

ปรีทรรศน์วรรณกรรม

2.1 น้ำมันดิบ

น้ำมันดิบ (Crude-oil) หรือ ปิโตรเลียม (Petroleum) หมายถึง ของผสมของสารพวก ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) หรืออนุพันธ์ (Derivatives) ซึ่งมีอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลว หรือ ของแข็งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะความดันและอุณหภูมิ น้ำมันดิบ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ ซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันอยู่ในทะเลหรือบริเวณที่เคยเป็นทะเลมาก่อน ถูกย่อยสลายโดย แบคทีเรียเหลือแต่ไขมัน (Fat) ไข (Waxes) และสารอื่นๆที่คงตัวซึ่งละลายอยู่ในไขมัน เช่น เรซิน (Resins) โคลเลสเตอรอล (Cholesterol) และอื่นๆจากนั้นภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงใน สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก Carboxyl group และน้ำจากกรดไขมัน และ แอลกอฮอล์หลุดออกมา เกิดการทับถมกันเป็นเวลานานหลายล้านปี จึงกลายสภาพเป็น น้ำมันดิบ (ปราโมทย์ ไชยเวช, 2533)

น้ำมันดิบ เกือบทั้งหมดเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวหรือ อัลเคน (Alkane) ซึ่งโมเลกุลที่ เล็กที่สุดได้แก่ มีเทน (Methane, CH_4) น้ำมันดิบ มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนอยู่ถึง 98 % ประกอบด้วยคาร์บอนตั้งแต่ C_1 จนถึงมากกว่า C_{35} ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนเหลว แล้วยังรวมถึงก๊าซ ที่ละลายอยู่ในไข (Waxes) และสารบิทูเมนัส (Bitumenous) สำหรับส่วนที่เป็นของแข็งและ กึ่งแข็ง (Semisolid) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักและสารบิทูเมนัส ได้แก่ บิทูเมน (Bitumen) และยางมะตอย (Asphalt)

น้ำมันดิบจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากแต่ละแหล่งมีองค์ ประกอบสารอินทรีย์ต่างกันออกไป คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบ แต่ละชนิดจึงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและขึ้นกับสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจาก การกลั่นน้ำมันดิบเพื่อแยกสารด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ในน้ำมันดิบจะมีองค์ ประกอบของ Gasoline (C_5 - C_{10}) อยู่ประมาณ 30 %, Kerosene (C_{11} - C_{15}) อยู่ประมาณ 10 % Light distilled oil (C_{20} - C_{40}) อยู่ประมาณ 20 % และ Asphaltic Bitumen (ตั้งแต่ C_{40}) ประมาณ 25% โดยเฉลี่ย (ITOPF, 2004)

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่แยกจากน้ำมันดิบ (ปราโมทย์ ไชยเวช, 2533)

จุดเดือด °ซ.	ขนาดโมเลกุล	ผลิตภัณฑ์	ประโยชน์
>30	C ₁ -C ₄	แก๊สปิโตรเลียม	เชื้อเพลิงแก๊ส
30-60	C ₅ -C ₇	ปิโตรเลียมอีเทอร์	ตัวทำละลาย
40-180	C ₅ -C ₁₀	แก๊สโซลีน, น้ำมันเบนซิน	น้ำมันรถยนต์
180-250	C ₁₀ -C ₁₅	น้ำมันก๊าด	น้ำมันเชื้อเพลิง
250-350	C ₁₃ -C ₁₈	น้ำมันดีเซลและ น้ำมันเตา	เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์, เชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า
340-500	C ₁₈ -C ₂₅	น้ำมันหล่อลื่น	ทำน้ำมันหล่อลื่น
400-500	C ₂₆ -C ₄₀	ไพราฟีน	เทียนไข, กระดาษไข
>500	C ₄₀ >	แอสฟัลต์ และบิทูเมน	เป็นยางมะตอยลาดถนน

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบเป็นของเหลวข้นหนืด (viscous liquid) มีสีตั้งแต่ขาวใสเกือบเหมือนน้ำสีเหลือง สีเขียว สีนํ้าตาลจนถึงดำ มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ประมาณ 0.80-0.97 น้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆจะมีลักษณะต่างกันออกไป บางแหล่งมีกลิ่นกำมะถัน บางแหล่งมีลักษณะขุ่นเหนียวคล้ายยางมะตอย มีความหนืดตั้งแต่ 0.7 จนถึงมากกว่า 42,000 เซนติสโตค (cSt) (ITOPF,2004)

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบ หรือ ปิโตรเลียม เป็นสารผสมที่ละลายกัน องค์ประกอบส่วนใหญ่ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนประเภทต่างๆ ตั้งแต่โมเลกุลเล็กที่สุดจนถึงพวกโมเลกุลใหญ่ ส่วนประกอบของน้ำมันดิบ ประกอบด้วย ไฮโดรเจน 11-13 % คาร์บอน 84-87 % นอกจากนี้ก็มีสารอินทรีย์ที่มีกำมะถัน 0-8 % ไนโตรเจน 0-1 % ออกซิเจน 0-0.5 % และ ก๊าซฮีเลียม

น้ำมันดิบเป็นของผสมของสารที่มีโมเลกุลละลายกันซึ่งแบ่งออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ๆ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอน และสารที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (ปราโมทย์ ไชยเวช, 2533)

2.1.2.1 สารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons)

แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามพื้นฐานโครงสร้างทางเคมีของสาร ได้แก่

1) อัลเคน (Alkanes) หรือ พาราฟิน (Paraffins)

เป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbons) มีสูตรโครงสร้าง คือ C_nH_{2n+2} ลักษณะโมเลกุลเป็นโซ่ตรง (Straight chain หรือ *n*-alkanes) หรือโซ่กิ่ง (Branched chain หรือ isoalkanes) สารกลุ่มอัลเคน ที่มีลักษณะโมเลกุลเป็นโซ่ตรงนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด มักเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันดิบ และผลิตภัณฑ์จากการกลั่นส่วนใหญ่ ยกเว้น น้ำมันหล่อลื่น ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารกลุ่มนี้ในน้ำมันดิบบางครั้งอาจสูงถึง 50-60 % แต่โดยมากจะมีค่าอยู่ประมาณ 10-20 % อัลเคนที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำจะมีมากที่สุด แต่ในน้ำมันดิบบางชนิดที่มีลักษณะคล้ายซีผึ้งจะมีสารที่มีคาร์บอนอะตอม 25-30 อะตอม อยู่มากที่สุด น้ำมันดิบจากอินโดนีเซียบางชนิดมีจุดเดือดสูงสุดประมาณเท่าสารที่มีจำนวนคาร์บอน 50-60 อะตอม (nC_{50} - nC_{60}) ส่วนสารกลุ่มไอโซอัลเคน หรือโซ่กิ่ง มักจะพบในน้ำมันที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง น้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบมาก เรียกว่า Paraffin-based crude oil ที่มีอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ มีเทน, อีเทน, โพรเพน และ บิวเทน จะมีสถานะเป็นก๊าซ ตั้งแต่ C_5H_{12} ไปจนถึง $C_{16}H_{34}$ มีสถานะเป็นของเหลว และ เฮปตะเดเคน (Heptadecane, $C_{17}H_{36}$) จะเป็นอัลเคนตัวแรกที่มีสถานะเป็นของแข็ง ในขณะที่ Paraffin wax เป็นของผสมของไฮโดรคาร์บอนที่คาร์บอน 18 ถึง 35 อะตอมต่อโมเลกุล โดยปกติในน้ำมันเบนซิน (Gasoline) จะมีพาราฟินสูงถึง 80 % ในขณะที่ส่วนใหญ่แล้วน้ำมันดิบที่ให้น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) จะไม่มีพาราฟินเลย ถ้าพบพาราฟินถึง 30 % ถือว่าสูงมาก

2. แนพทีน (Naphthenes หรือ Cycloalkanes หรือ Cycloparaffins)

เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) ที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนเป็นวงแหวน 1 วงหรือมากกว่า และแต่ละวงมี Paraffinic side-chain 1 แห่ง หรือมากกว่า มีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n} เรียก Alicyclic hydrocarbon น้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบมาก เรียกว่า Naphthene-based crude oil

3. อะโรมาติกส์ (Aromatics) สารกลุ่มอะโรมาติกส์เป็นอนุพันธ์ของเบนซีน (Benzene) โดยมีวงเบนซีน 1 วง หรือมากกว่า เป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbons) เนื่องจากคาร์บอนอะตอมเกาะกับไฮโดรเจนอะตอมเพียง 3 อะตอมเท่านั้น พันธะที่เหลือจึงเกิดเป็นพันธะคู่ สารกลุ่มอะโรมาติกส์นี้มีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n-6} ซึ่งสารตัวแรกของกลุ่มนี้คือ สารประกอบเบนซีน และอนุพันธ์ของ เบนซีน (Benzene derivative) นอกจากนี้ ยังมี สารพวกแนฟทาลีน (Naphthalene) รวมถึงสลายพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) ซึ่งเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำและระเหยลดลง น้ำมันดิบทุกชนิดมีสารประกอบอะโรมาติกส์ประมาณ 10-50 % หรือมากกว่า ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในรูปของโทลูอีน (Toluene) และไซลีน (Xylene) ในน้ำมันเบนซินจะมีสารอะโรมาติกส์ทุกชนิด ส่วนอะโรมาติกส์ที่ไม่มีวงแนฟทีน (Naphthene ring) จะพบค่อนข้างน้อย ในปิโตรเลียมส่วนหนัก เช่น น้ำมันหล่อลื่น

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญอีกประเภทหนึ่ง คือ โอลิฟิน หรือ อัลคีน (Olefins or Alkenes) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว และไม่พบว่ามีอยู่ในน้ำมันดิบเลย แต่จะเกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัว (Cracking) ต่างๆ ที่ใช้ในโรงกลั่น หรือเป็นผลิตภัณฑ์จากโรงกลั่น

2.1.2.1 สารที่ไม่ใช่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน (non-hydrocarbon) ได้แก่

- 1) สารประกอบของซัลเฟอร์ โดยมากคือ Cyclic sulfides และ Thiophenes
- 2) สารประกอบของไนโตรเจน
- 3) สารประกอบของออกซิเจน โดยมากคือ กรดแนฟทีนิก (Naphthenic acid) และฟีนอล
- 4) สารประกอบพวกโลหะอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งพบในปริมาณที่น้อยมาก ได้แก่ วานาเดียม และนิกเกิล
- 5) พอร์ไฟรินส์ (Porphyrins)
- 6) สารแอสฟัลต์ หรือ แอสฟัลทีน (Asphaltenes) และเรซิน (Resins) อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Colloidal suspension) ซึ่งจะไหลไปรวมกัน และเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุดในน้ำมันดิบ

สารประกอบ 3 ประเภทแรก จะมีการกระจายตัวตามช่วงของจุดเดือดของน้ำมันดิบแต่โดยมากจะหนาแน่นในช่วงที่มีจุดเดือดสูง ส่วนสารประกอบ 3 ประเภทหลังจะพบอยู่ในส่วนที่หลงเหลืออยู่ สารประกอบพวกโลหะอินทรีย์วานาเดียมและนิกเกิลจะพบเล็กน้อย ในสารประกอบ

ช่วงจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นหรือสูงกว่านั้น สารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนนี้ มักจะถูกมองว่าเป็นสิ่งปนเปื้อน ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่สารอื่นอยู่ด้วย สำหรับพวกสารอนินทรีย์ที่มีในน้ำมันดิบ ได้แก่ น้ำ เกลือคลอไรด์ของโซเดียม แมกนีเซียม และ แคลเซียม และสารประกอบของกำมะถันอื่นๆ ปนอยู่ จากการวิเคราะห์น้ำมันดิบอิหร่าน (Iranian crude oil) จะมีองค์ประกอบของ saturated hydrocarbon หรือ *n*-alkane (C_1 - C_{40}) 59.5 % aromatics (C_6 - C_{40}) 37.2 % asphaltene & resins ($> C_{40}$) 1.7 %

2.1.3 ประเภทของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบอาจแยกประเภทออกตามองค์ประกอบทางเคมี หรือตามความหนักเบา โดยใช้ API gravity หรือตามปริมาณของกำมะถันที่มีอยู่ (ปราโมทย์ ไชยเวช, 2533; ITOF, 2004)

2.1.1.1 ตามองค์ประกอบ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน 3 ประเภท ที่มีอยู่ในน้ำมันดิบนั้น โดยทั่วไปมักมีพาราฟินและแนฟทีน ส่วนอะโรมาติกมีอยู่ไม่ค่อนมากนัก ดังนั้นจึงมีการแยกออกเป็น 3 พวกคือ

1) น้ำมันดิบพื้นฐานพาราฟิน (Paraffinic Base Crude-oil) มีพาราฟินชนิดไซตรงมาก ดังนั้นน้ำมันเบนซินที่ได้จะมีค่าออกเทนต่ำ แต่น้ำมันก๊าดมีคุณภาพสูง ไม่มีเขม่า น้ำมันดีเซลที่ได้ก็มีค่าซีเทนสูง เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วสูง น้ำมันหล่อลื่นที่ได้ก็จะมีดัชนีความหนืด (Viscosity Index) สูง แต่ถ้ามีไซที่มีจุดละลายสูงอยู่ด้วยจะทำให้จุดไหลเท (Pour Point) สูงเกินไป ดังตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันดิบจาก Kirkuk, Minas, Murban , Tapir

2) น้ำมันดิบพื้นฐานแนฟทีน (Naphthenic Base Crude-oil) น้ำมันเบนซินที่มีแนฟทีนอยู่ด้วยจะมีค่าออกเทนสูงกว่าพวกพาราฟิน น้ำมันก๊าดที่ได้มีคุณภาพปานกลางเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จะมีดัชนีความหนืดต่ำจนถึงปานกลาง กากที่ได้จากการกลั่นภายใต้สูญญากาศนำไปทำเป็นยางมะตอยได้ เพราะมี Asphaltenes ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 50,000 เป็นองค์ประกอบอยู่มาก ดังตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันดิบจาก Tia Juana, Bachequero

3) น้ำมันดิบพื้นฐานผสม (Mixed Base Crude-oil) มีทั้งพาราฟิน แนฟทีน และอะโรมาติก คละปนอยู่ในส่วนต่างๆ ไม่เท่ากัน เช่น ส่วนเบา มีพาราฟินมาก ส่วนหนักมีอะโรมาติกมาก ดังตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันดิบจาก Kuwait, Nigeria

2.1.1.2 ตามความหนักเบาวัดด้วยความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) ซึ่งเป็นวิธีการของสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum institute; API) โดยใช้ Empirical Quantity ในการกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นเป็นองศา เริ่มต้นจาก 10° สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะ 1.000 ค่าความถ่วงเอพีไอกับค่าความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์ดังนี้

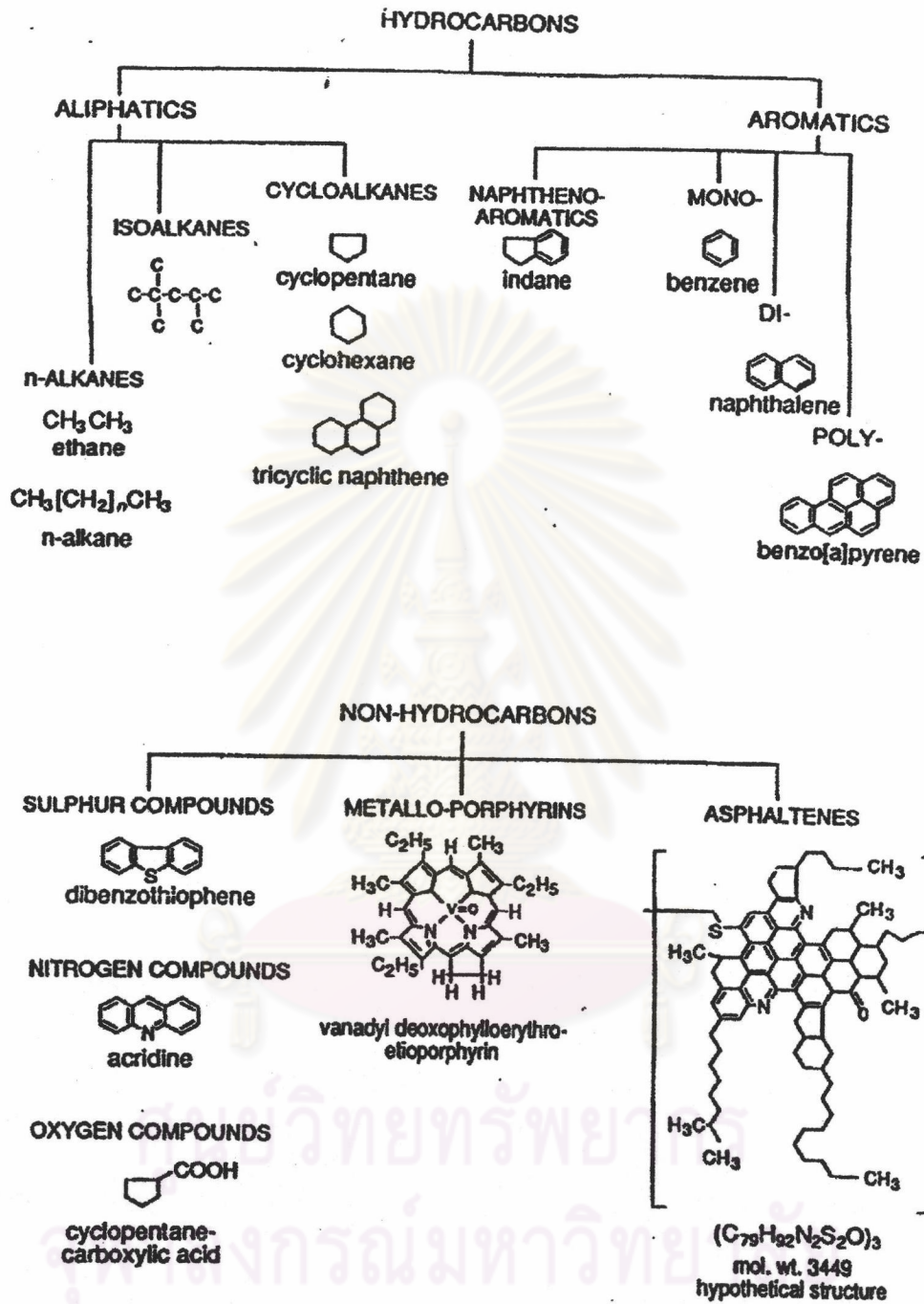
$$API = \frac{141.5}{S.G. 60/60^{\circ} F} - 131.5$$

ค่าความถ่วงเอพีไอยิ่งสูงน้ำมันดิบก็ยิ่งเบา ซึ่งหมายความว่าน้ำมันเบนซินปนอยู่ด้วยมากกว่าน้ำมันส่วนที่หนักกว่า และมีคุณค่าสูงกว่าด้วย มักจะแบ่งออกไปเป็น

- 1) น้ำมันดิบชนิดเบา (Light Crude) มีค่า API Gravity สูงกว่า 35° ขึ้นไป สารที่ได้จากการกลั่น คือเบนซิน เป็นส่วนใหญ่ เช่น Abu Dhabi, Auk, Brent Blend, Murban, Tapis
- 2) น้ำมันดิบชนิดกลางหรือ มิเดียม (Medium Crude) มีค่า API Gravity $17.5 - 35^{\circ}$ ขึ้นไป เช่น Tia Juana, Arabian Medium, Iranian, Kuwait, Maya, Nigeria, Oman
- 3) น้ำมันดิบชนิดหนัก (Heavy Crude) มีค่า API Gravity ต่ำกว่า 17.5 น้ำมันดิบประเภทนี้จะมีสารที่ได้จากการกลั่นส่วนใหญ่เป็นน้ำมันเตา เช่น Bachequero, Cinta, Duri

2.1.1.3 ตามปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ แบ่งออกเป็น 3 พวก ได้แก่ น้ำมันที่มีกำมะถันต่ำ คือ มีกำมะถันอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยน้ำหนัก น้ำมันที่มีกำมะถันปานกลางคือ มีกำมะถันอยู่ระหว่าง 0.1-2% โดยน้ำหนัก น้ำมันที่มีกำมะถันสูง คือ มีกำมะถันอยู่มากกว่า 2%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอน และไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันดิบ (ปราโมทย์ ไชยเวช, 2533)

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรโมเลกุลและชื่อของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สูตรโมเลกุล	ชื่อของสารประกอบ	จุดเดือด °ซ.	จุดหลอมเหลว °ซ.
<u>n-alkane</u>			
C_6H_{14}	Hexane	69.0	-94.3
C_7H_{16}	Heptane	98.4	-90.6
C_8H_{18}	Octane	125-126	-57
C_9H_{20}	Nonane	174	-30
$C_{11}H_{24}$	Undecane	195	-26
$C_{12}H_{26}$	Dodecane	213-216	-9.6
$C_{13}H_{28}$	Tridecane	243	-5
$C_{14}H_{30}$	Tetradecane	252	6
$C_{15}H_{32}$	Pentadecane	270	10
$C_{16}H_{34}$	Hexadecane	287	18
$C_{17}H_{36}$	Heptadecane	303	22
$C_{18}H_{38}$	Octadecane	317	26-29
$C_{19}H_{40}$	Nonadecane	329-331	29-32
$C_{20}H_{42}$	Eicosane	345	34-37
$C_{22}H_{46}$	Docosane	369	44
$C_{23}H_{48}$	Tricosane	380	48-49
$C_{24}H_{50}$	Tetracosane	391	49-51
$C_{28}H_{58}$	Octacosane	405	57
$C_{30}H_{62}$	Triacontane, Squalane	420	64-67
$C_{32}H_{66}$	Dotriacontane	441	69-71
<u>cycloalkane</u>			
C_6H_{12}	Cyclohexane	81	6
$C_{12}H_{24}$	Cyclododecane	122-125	58-61
<u>aromatics</u>			
C_6H_6	Benzene	80.1	5.5
$C_{10}H_8$	Napthalene	281	79-82
$C_{12}H_{10}$	Acenaphthene	278	90-93
$C_{14}H_{10}$	Phenanthrene	338	97-99
$C_{14}H_{10}$	Anthracene	340	251-217
$C_{16}H_{10}$	Pyrene	393	148-150
$C_{18}H_{10}$	Chrysene	448	257-258

2.2 กระบวนการแปรสภาพของน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล (weathering process)

ภายหลังจากที่น้ำมันดิบรั่วไหลลงสู่ทะเลจะมีกระบวนการต่างๆเกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ โดยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของน้ำมัน และสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ขณะเกิดการรั่วไหลซึ่งได้แก่ สภาพของทะเล ความแรงของคลื่น ความเร็วลม ความเข้มของแสงแดด อุณหภูมิของอากาศและน้ำทะเล เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ; ITOPI, 2004) โดยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น มีดังนี้

2.2.1 การแผ่กระจายตัวของน้ำมัน (Spreading)

น้ำมันที่รั่วไหลลงสู่ทะเลจะแผ่กระจายเป็นคราบน้ำมันปกคลุมผิวน้ำเรียกว่า Oil slick ซึ่งอัตราการแผ่กระจายตัวของน้ำมันนี้จะขึ้นกับปัจจัยสำคัญ คือ คลื่นลม กระแสน้ำ คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันระยะเวลา และสภาพแวดล้อม โดยน้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะแผ่กระจายไปได้เร็ว องค์ประกอบของน้ำมันก็มีผลต่อการแผ่กระจายโดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนกำมะถัน และออกซิเจนอยู่ จะเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำได้ดี เพราะมีแรงตึงผิวสูง โดยปกติน้ำมันดิบทุกชนิดจะกระจายตัวโดยมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และมีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ในเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งถ้าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องการแผ่กระจายตัวจะเกิดต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งน้ำมันมีความหนาเพียงโมเลกุลเดียว (Monomolecular thickness) หรือ 0.1 ไมโครเมตร โดยประมาณ ซึ่งจะสังเกตเห็นเพียงเป็นฟิล์มเงาสีเงินเท่านั้น

2.2.2 การระเหย (Evaporation)

การระเหยจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่มีการรั่วไหลของน้ำมัน ส่วนประกอบที่ระเหยได้ง่ายของน้ำมัน (Light ends) จะระเหยไปภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงแรก องค์ประกอบส่วนที่ระเหยได้น้อยกว่าจะยังคงเหลืออยู่และจะมีความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด จุดติดไฟ และจุด Pour point สูงขึ้น รวมถึงมีส่วนประกอบของกำมะถัน ตะกอนคาร์บอน ไช สารแอสฟัลต์ และโลหะต่างๆ มากกว่าก่อนการระเหย จากนั้นอัตราการระเหยจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) ซึ่งส่วนใหญ่ น้ำมันจะระเหยไป 1 ใน 3 ถึง 2 ใน 3 ของน้ำมันที่รั่วไหล โดยอัตราการระเหยของน้ำมัน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ น้ำทะเล สภาพทางทะเล ความเร็วลม

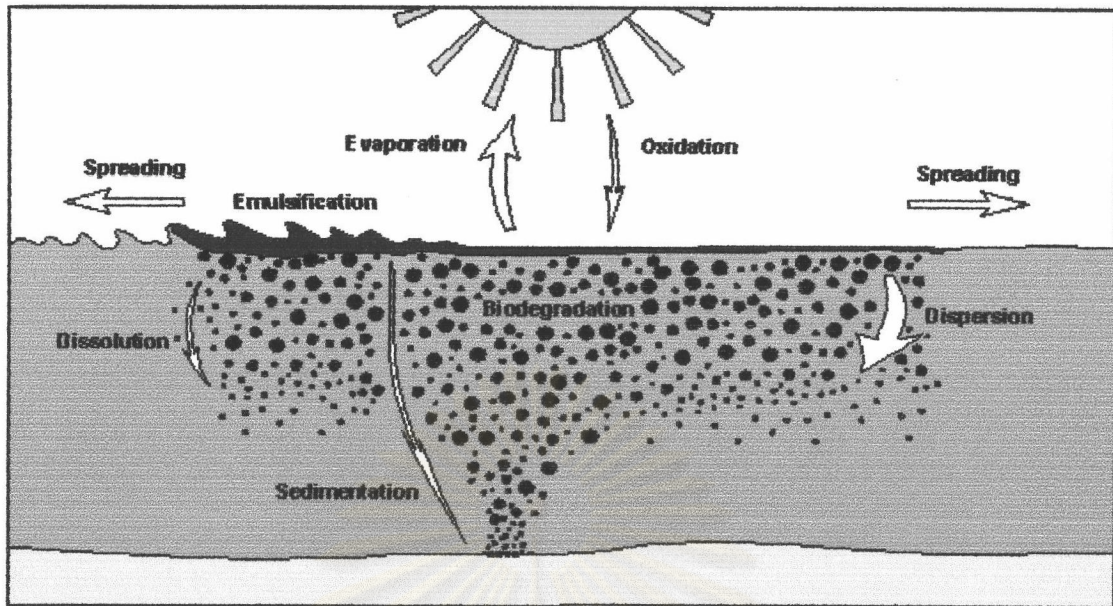
และความเข้มข้นของแสงแดด ความหนาของชั้นน้ำมัน พื้นที่ผิวของน้ำมันที่แผ่กระจาย คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน สารที่ระเหยได้ง่ายที่สุดคือ อัลเคน และสาร อะโรมาติก โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า C_{10} จะระเหยไปจากผิวน้ำมันภายใน 8 ชั่วโมง องค์ประกอบของน้ำมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า C_{15} จะระเหยไปจากผิวน้ำมันภายในระยะเวลา 2-3 วัน พวกไฮโดรคาร์บอนอะตอม C_{15} ถึง C_{25} จะระเหยเล็กน้อย ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอม C_{25} ขึ้นไปแทบจะไม่ระเหยเลย

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบการระเหยของน้ำมันชนิดต่างๆ (ITOPF, 2004)

จำนวน ชั่วโมง	% การระเหยโดยน้ำหนัก			
	น้ำมันดิบอาหรับ	น้ำมันดิบอิหร่าน	น้ำมันดีเซลเร็ว	น้ำมันเบนซิน
48	13	14	2	93
120	17	18	5	99

2.2.3 การกระจาย (Dispersion)

การกระจายของน้ำมันจะทำให้น้ำมันที่แผ่ปกคลุมเป็นฟิล์มหนาแตกกระจายไปจากผิวน้ำ กลายเป็นหยดน้ำมันเล็กๆ ลงไปในชั้นน้ำ ปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการแตกตัวของน้ำมันบนผิวน้ำ ได้แก่ ความปั่นป่วนของน้ำ (Surface turbulence) อันเป็นผลมาจากการกระทำของคลื่น การที่น้ำมันแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ นี้ จะทำให้พื้นที่ผิวมีมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ น้ำมันที่แตกตัวนี้จะกระจายออกเป็นหยดขนาดต่างๆ หยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำและอาจเกิดการรวมตัวกันกลับเป็นคราบน้ำมันใหม่หรือแผ่นฟิล์มบาง



รูปที่ 2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงสู่ทะเล (ITOPF, 2004)

2.2.4 การละลายของน้ำมัน (Dissolution)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิด มีคุณสมบัติในการละลายน้ำแตกต่างกันโดยปกติพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะละลายน้ำได้ดีกว่าพวกที่มีโมเลกุลสูงๆ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำนี้จะขึ้นอยู่กับ จำนวนอะตอมของคาร์บอน โครงสร้างโมเลกุล และธาตุที่เป็นองค์ประกอบรวมถึงอิทธิพลของกระแสน้ำ คลื่นลม นอกจากนี้การย่อยสลายทางเคมีและชีวภาพก็มีส่วนต่อการละลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นกัน ตามปกติแล้วน้ำมันมีส่วนที่ละลายในน้ำได้น้อยแต่สิ่งสำคัญของน้ำมันส่วนที่ละลายในน้ำได้ คือน้ำมันส่วนนี้เป็นสารประกอบอะโรมาติกชนิดเบาและสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆที่อยู่ในน้ำ

2.2.5 การเกิดอิมัลชัน (Emulsification)

เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการกระจายของน้ำมันในน้ำจึงเกิดในลักษณะของอิมัลชัน โดยอาศัยอิทธิพลของคลื่นลมและกระแสน้ำ โดยน้ำมันที่มีขนาดตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร ไปจนถึงหลายมิลลิเมตร สามารถแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้าง

ได้ไกลเกินกว่า 200 กิโลเมตรและเกิดเป็นอิมัลชันได้ในน้ำ โดยอาจเกิดเป็น Oil-in-water หรือ Water-in-oil โดย Oil-in-water จะประกอบไปด้วยหยดน้ำมันเล็กๆ ลอยอยู่ในมวลน้ำ

Water-in-oil Emulsification เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้น้ำมันคงตัวอยู่บนผิวน้ำและทำให้ปริมาณของสารพิษเพิ่มสูงขึ้น เป็นการรวมตัวกันของน้ำกับน้ำมัน (ซึ่งเหลือจากการระเหย) เป็นกลุ่มก้อนในน้ำซึ่งเรียกว่า Mousses จะมีความต้วงจำเพาะและความหนืดสูงกว่าน้ำมันดั้งเดิม และ ในที่สุดก็จะจมสู่ท้องน้ำ เมื่อเกิดอิมัลชันแล้วทำให้เกิดมีคราบน้ำมันลอยอยู่เป็นชั้นหนานี้เราเรียกว่า Chocolate mousses ซึ่ง Chocolate mousses จะมีลักษณะเป็นก้อนน้ำมันกึ่งแข็ง (Semi-solid lumps) มักพบเมื่อน้ำเกิดอิมัลชันกับน้ำมันที่มีสารแอสฟัลต์ผสมอยู่มากกว่า 0.5% (Clark, 1997 อ้างถึงใน ศุภสินี เนียมแสง, 2546)

2.2.6 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (Photooxidation reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่น้ำมันถูกออกซิไดซ์โดยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบในน้ำมัน สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนสภาพได้เร็วกว่าสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน และสารที่โครงสร้างโมเลกุลเป็นไซเคิล จะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพวกที่โมเลกุลเป็นโซ่ตรง ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันนี้ ช่วงความยาวคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีผลต่อการย่อยสลายน้ำมัน ปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ผิวน้ำและจะเกิดเร็วที่สุด เมื่อน้ำมันมีการแผ่กระจายตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ซึ่งกลไกการเกิดโฟโตออกซิเดชันนี้คาดกันว่าเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรของน้ำมันประมาณ 1 % ต่อวัน และผลที่เกิดตามมาของปฏิกิริยา คือการเพิ่มขึ้นของสารแอสฟัลต์ ความหนืด ความหนาแน่น รวมทั้งการลดลงของปริมาณซิลเฟออร์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้เร็วกว่าน้ำมันดิบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.2.7 การเกิดน้ำมันดิน (Tar balls formation)

น้ำมันดิน (Tar balls) เป็นส่วนที่เหลือของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดกระบวนการต่างๆไปแล้ว เป็นสารพวกที่มีจุดเดือดสูงที่ลอยตัวอยู่ในน้ำและรวมตัวกันเป็นก้อนในลักษณะของน้ำมันดิน ในบริเวณที่มีกระแสน้ำและคลื่นลมแรงจะทำให้ น้ำมันดินแตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆกระจายตัวอยู่ที่ความลึกต่างๆ แต่การละลายน้ำก็ยังค่อนข้างต่ำ กระบวนการที่สำคัญของน้ำมันดิน คือ การตกตะกอน เนื่องจาก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันดินเป็นสารที่มีน้ำหนัก โมเลกุลสูงจึงสามารถจมตัวลงสู่ท้องน้ำและทับถมในชั้นตะกอนได้ นอกจากนี้ น้ำมันดินยังสามารถถูกซัดเข้าสู่ฝั่งและขึ้น

มาบนชายหาดได้โดยคลื่นลม ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายน้ำมันดินได้น้อยลง เพราะพื้นที่ผิว
น้อยลงและออกซิเจนผ่านได้น้อย (Clark, 1997 อ้างถึงในศุภสินี เนียมแสง, 2546)

2.2.8 การจมตัวและการตกตะกอน (Sinking and sedimentation)

การจมตัวและการตกตะกอนของน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการที่น้ำมัน
มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ภายหลังจากการระเหยและการละลายขององค์ประกอบที่เบากว่ารวมถึง
การรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ การดูดซึมและดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของ
อนุภาคแขวนลอยที่อยู่ในน้ำอีกด้วย ซึ่งน้ำมันที่จมตัวลงทับถมเป็นตะกอนนี้จะสามารถคงทนอยู่ได้
เป็นเวลานาน โดยเฉพาะที่สะสมตัวอยู่ในบริเวณลึกๆ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายทาง
ชีวภาพที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก

2.2.9 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ ได้แก่ จุลินทรีย์
สาหร่ายเข้าไปย่อยสลายคราบน้ำมันที่อยู่บนผิวน้ำ ซึ่งการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการ
ที่สำคัญกระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยในการกำจัดน้ำมันออกจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะส่วนที่ไม่ระเหย
(Non-volatile) ของน้ำมัน (อรรถวุฒิ อิมพุลทรัพย์ และคณะ, 2536) อัตราการย่อยสลายทาง
ชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์
ประกอบในน้ำมัน จำนวนของจุลินทรีย์ รวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ
และความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซึ่งมีผลต่อการเจริญของ
จุลินทรีย์ (ITOPF, 2004)

อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการแผ่กระจายตัวเป็นชั้นบางๆ
ของน้ำมันและแตกตัวของน้ำมันในน้ำ (Oil-in-water Emulsification) ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ผิวสัมผัส
ในการจับกินของจุลินทรีย์ได้ ในทางกลับกันการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันเป็นอิมัลชันในน้ำมัน
(Water-in-oil Emulsification) จะทำให้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพลดลง เนื่องจากการลด
พื้นที่ผิวสัมผัส ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารและออกซิเจน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) การที่
อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น การทำงานของจุลินทรีย์
เพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การที่อุณหภูมิสูงขึ้น ยังทำให้ความ

หนักของน้ำมันลดลง ทำให้เกิดการแตกตัวได้มากขึ้น ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำมันทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดได้มากขึ้น (ITOPF, 2004)

2.2.10 การคั่งและสะสมโดยสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันสามารถเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ในลักษณะต่างๆ ทั้งในรูปของคราบน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวน้ำ น้ำมันที่ละลายอยู่ในน้ำ อิมัลชัน หรือในรูปของตะกอน โดยการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การดูดซับบนผิวอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ การได้รับสารไฮโดรคาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยตรงโดยผ่านทางเหงือกหรือกินน้ำ และอาหาร (Clark, 1997 อ้างถึงใน ศุภสินี เนียมแสง, 2546)

2.3 ผลกระทบของน้ำมันดิบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันดิบลงสู่ทะเล ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบและความเสียหายต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ซึ่งระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่

- 1) ชนิดและปริมาณของน้ำมัน น้ำมันดิบแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติต่างกันออกไป จะมีความสามารถในการแผ่กระจาย การละลาย และการคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมต่างกัน ขึ้นกับองค์ประกอบในน้ำมัน
- 2) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศและน้ำทะเล สภาพคลื่นลมในทะเล เป็นต้น
- 3) แหล่งที่เกิดการรั่วไหล ความรุนแรงของผลที่เกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันจะขึ้นกับแหล่งที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมันรวมถึงสภาพภูมิประเทศในบริเวณนั้นๆ ด้วย เช่น การเกิดการรั่วไหลของน้ำมันกลางมหาสมุทรจะก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่าใกล้ชายฝั่ง ซึ่งมีระบบนิเวศที่สำคัญหลายระบบและสามารถกำจัดได้ยากกว่า
- 4) ระยะเวลาที่น้ำมันคงอยู่ ถ้าน้ำมันที่รั่วไหลคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน ผลกระทบที่ตามมาจะเกิดความรุนแรงมากยิ่งขึ้น
- 5) ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากร ผลกระทบของน้ำมันจะรุนแรงมาก ถ้า

ในบริเวณที่เกิดรั่วไหลหรือบริเวณใกล้เคียงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยหรือเป็นระบบนิเวศที่สำคัญ เช่น แนวปะการัง แหล่งหญ้าทะเล หรือป่าชายเลน เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งผลกระทบของน้ำมันดิบได้ ดังนี้

2.3.1 ผลกระทบทางกายภาพ

คราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะมีผลในการบดบังหรือกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำที่ระดับลึก ทำให้มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และยังเป็นแผ่นกั้นระหว่างน้ำกับอากาศทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างน้ำและอากาศไม่สามารถเกิดขึ้นได้มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และจากการที่น้ำมันมีสีทึบหรือสีดำ โดยเฉพาะน้ำมันดิบจึงสามารถดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น

2.3.2 ผลกระทบทางชีวภาพ

เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเล จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล โดยเฉพาะบริเวณทรัพยากรที่มีความอ่อนไหว (Sensitive area) ได้แก่ ป่าชายเลน แนวปะการังและหญ้าทะเล และบริเวณแหล่งอาศัยของนกน้ำป่าชายเลน เป็นทรัพยากรที่สำคัญ เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและเป็นที่อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันและน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งก็จะเกิดผลกระทบต่อป่าชายเลน โดยเมื่อเกิดคราบน้ำมันไปเกาะก็จะส่งผลต่อการรับออกซิเจนของต้นไม้ และเมื่อน้ำมันซึมเข้าสู่รากจะทำให้ต้นไม้ตายได้ คราบน้ำมันที่ติดอยู่ตามพื้นดินทำให้เมล็ดพืช ที่ตกลงไปไม่สามารถงอกได้ นอกจากนี้สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยในบริเวณนั้นโดยเฉพาะสัตว์น้ำวัยอ่อน

แนวปะการังและหญ้าทะเลก็เป็นแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหวและมีความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตอีกแห่งหนึ่ง เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันบริเวณแนวปะการังหรือแหล่งหญ้าทะเล จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อแนวปะการัง เช่น มีผลต่อการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ทำให้เกิดพฤติกรรมที่ผิดปกติ หรืออาจทำให้ตายได้ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในบริเวณนั้นอีกด้วย (ITOPF, 2004)

เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยของนกน้ำ จะทำให้นกน้ำได้รับสารพิษโดยตรงจากการกินน้ำและอาหารที่มีน้ำมันปนเปื้อนเข้าไป นอกจากนี้จะทำให้มีน้ำมันติดตาม

ชนของนกทำให้ความสามารถในการกั้นน้ำลดลง ทำให้สมดุลความร้อนในร่างกายของนกเสียไป ซึ่งจะมีผลทำให้มีการวางไข่น้อย อัตราการเจริญเติบโตน้อยลง หรืออาจตายได้ (ITOPF, 2004)

ผลกระทบของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

1) การรับน้ำมันดิบเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในทะเล

สิ่งมีชีวิตในทะเลสามารถรับน้ำมันดิบเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการสัมผัสคราบน้ำมันที่ผิวน้ำโดยตรง หรือได้รับน้ำมันที่กระจายอยู่ในน้ำและตะกอนท้องทะเล โดยผ่านทางเหงือก ผิวหนัง และโดยการกิน และเนื่องจากในน้ำมันดิบประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะพวกสารไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งอัตราการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิต จะขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต โดยพวกกุ้งและปลาจะสามารถดึงดูดและสะสมสารไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะอะโรมาติกได้อย่างรวดเร็วกว่าพวกหอย และมีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ได้รับสาร เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบจะกระจายตัวไปสะสมตามอวัยวะเป้าหมาย (Target organ) ต่างๆ เช่น เหงือก ตับ ไต ผิวหนัง และอวัยวะอื่นๆ ของสิ่งมีชีวิต ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงดูดและการกำจัดสารอะโรมาติกของสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ชนิด อายุของสิ่งมีชีวิต ระยะเวลาที่ได้รับสาร กิจกรรมของเมตาบอลิซึม รวมถึงสภาวะแวดล้อมซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม (Neff and Anderson 1981 อ้างถึงในศุภสินี เนิยมแสง , 2546)

2) ความเป็นพิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

พิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในน้ำมันดิบนั้น โดยพิษส่วนใหญ่ในน้ำมันดิบจะเป็นพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งน้ำมันดิบจะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตในทะเลตายได้ โดยเฉพาะสัตว์น้ำขนาดเล็กที่เคลื่อนไหวได้ช้าซึ่งจะได้รับผลกระทบมากกว่าสัตว์น้ำขนาดใหญ่ โดยน้ำมันดิบจะไปจับที่เหงือกทำให้ระบบการหายใจของสัตว์น้ำเสียไป หรือทำให้สัตว์น้ำมีผนัง เสียการทรงตัว ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ หรือไม่สามารถหาอาหารได้นอกจากนี้บริเวณที่มีการปนเปื้อนอาจมีหยดน้ำมันเล็กๆ ผลมอยู่ในน้ำ ซึ่งสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของสัตว์เป็นสาเหตุที่ทำให้สัตว์ตายได้

องค์ประกอบในน้ำมันดิบ ที่มีผลทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลมาจากสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ โดยแนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนนั้นสูงขึ้น เนื่องจากละลายในน้ำได้น้อยลงโดยกลุ่มสารไฮโดรคาร์บอนอิมตัวที่มีจุดเดือดต่ำจะทำให้สัตว์สลบ (Anaesthesia) หรือเกิดอาการมึนงง (Narcosis) กลุ่มสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นพวกที่มีความเป็นพิษมากที่สุดและละลายน้ำได้ดีที่สุด เช่น Benzene, Toluene, Naphthalene และ Phenanthrene จะไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือดมีผลต่อระบบหายใจและกระตุ้นหรือกดระบบประสาทส่วนกลาง เป็นสารก่อกลายพันธุ์ (Mutagen) และสารที่ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีจุดเดือดสูง ไม่ค่อยเป็นพิษมากนัก แต่จะมีผลต่อพฤติกรรมบางอย่าง เช่น การรับรู้และตอบสนองต่อเพศผิปกติไป (Duffus, 1982 อ้างถึงใน ศุภสินี เนียมแสง, 2546) อาจเนื่องจากละลายน้ำได้น้อย ส่วนใหญ่จะเป็นสาเหตุให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรังได้ ความเป็นพิษของน้ำมันดิบ Arabian 1 ไมโครกรัม ต่อมล.ของน้ำทะเล สามารถทำให้ลูกปลากะพงขาวตายถึง 50 % ภายใน 96 ชม. (สุจิตรา เชาว์ปรีชา, 2530)

2.3.3 ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม

คราบน้ำมันที่ปนเปื้อนบริเวณชายฝั่งจะทำให้เกิดความเสียหาย ต่อการประมงและแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น การเลี้ยงปลาในกระชังทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำลง เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันและน้ำมันถูกคลื่นซัดลอยเข้าหาฝั่งจะก่อให้เกิดคราบน้ำมันสะสมตามชายหาด โขดหิน ทำให้ทัศนียภาพของชายหาด และสถานที่ท่องเที่ยวหมดความงดงามเป็นที่น่ารังเกียจ และซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยว

2.4 กฎหมายควบคุมภาวะมลพิษจากคราบน้ำมันในประเทศไทย

ประเทศไทยได้ออกกฎหมายขึ้นมาบังคับใช้หลายฉบับด้วยกันเพื่อดำเนินการให้สอดคล้องกับอนุสัญญาระหว่างประเทศ ในฐานะสมาชิกขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (IMO) เช่น

- 1) พระราชบัญญัติเดินเรือในน่านน้ำไทย พ.ศ. 2456 ที่มีบทบัญญัติห้ามมิให้ทิ้งน้ำมันลงในทะเล ควบคุมการเดินเรือและการขนส่งน้ำมันทางเรือให้ปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษ

2) พระราชบัญญัติปิโตรเลียม พ.ศ. 2514 มีบทบัญญัติเกี่ยวกับการขุดเจาะสำรวจน้ำมัน จะต้องไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล ผู้ที่ได้รับสัมปทานจะต้องป้องกันมิให้เกิดภาวะมลพิษจากน้ำมัน

3) พระราชบัญญัติส่งเสริมรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 เพื่อส่งเสริมรักษาป้องกันและแก้ไขสภาพแวดล้อมที่เกิดจากสาเหตุต่างๆ รวมทั้งน้ำมันให้มีประสิทธิภาพ

4) ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมัน พ.ศ. 2538 ซึ่งสอดคล้องกับอนุสัญญาระหว่างประเทศ OPRC Convention 1990 (กองทัพเรือ, 2543)

2.5 วิธีการขจัดคราบน้ำมันในทะเล (Oil-spill Remediation)

เมื่อเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำและในทะเล มลภาวะที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อมได้ แต่คราบน้ำมันบางส่วนจะหายไปจากผิวน้ำด้วยกระบวนการต่างๆ ตามธรรมชาติ อาทิ เช่น การละลาย การแพร่กระจาย การระเหย การแตกตัว การรวมตัว การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอุณหภูมิลักษณะท้องทะเลปริมาณของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันเบา (Light Oil) อาจหายไปจากผิวน้ำทะเลภายในระยะเวลา 1-2 วัน แต่น้ำมันดิบชนิดความหนืดปานกลาง (Medium oil) อาจใช้เวลา 5-10 วัน ในขณะที่น้ำมันดิบและน้ำมันเตาที่หนัก (Heavy Oil) ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบมาก อาจจะลอยอยู่บนผิวน้ำนานนับสัปดาห์ หรือมากกว่านั้น สำหรับวิธีการในการขจัดคราบน้ำมัน โดยไม่ให้มีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม นับว่าเป็นวิธีการที่ยากอย่างยิ่ง เนื่องจากแต่ละวิธีการจะมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันไป ดังนั้นการจะพิจารณาเลือกวิธีการใดในการขจัดคราบน้ำมันให้เหมาะสมกับสถานการณ์นั้น อาจจะต้องเลือกวิธีการใดวิธีการหนึ่ง หรืออาจร่วมกันหลายวิธีการก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของประเภทน้ำมัน ปริมาณน้ำมัน ลักษณะท้องทะเลและสภาพภูมิอากาศ (เถลิงศักดิ์ ศิริสวัสดิ์, 2539 ; ชำนาญ พวงเพชร, 2541) สำหรับวิธีการในการขจัดคราบน้ำมันในทะเลนั้นสามารถกระทำได้ 6 วิธี ด้วยกันคือ

2.5.1 การใช้ทุ่นกักคราบน้ำมัน (Boom)

เมื่อเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำและในทะเล วิธีการลดการแพร่กระจายของคราบน้ำมัน คือ

การใช้ท่อนักคราบน้ำมันเพื่อรวบรวมคราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำให้อยู่ในบริเวณที่จำกัด แต่วิธีการนี้จะเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติการขจัดคราบน้ำมันในบริเวณที่มีสภาพคลื่นลมสงบและความเร็วของกระแสน้ำไม่มากนัก

2.5.2 การใช้อุปกรณ์เก็บคราบน้ำมัน (Skimmer)

ภายหลังจากท่อนักคราบน้ำมันได้รวบรวมคราบน้ำมันให้อยู่ในบริเวณที่จำกัดได้แล้ว จะใช้อุปกรณ์เก็บคราบน้ำมันทำการดูดคราบน้ำมันที่รวบรวมไว้นั้นใส่ในภาชนะบรรจุชั่วคราวแล้วจึงนำไปทำการแยกน้ำออกจากน้ำมัน เพื่อทำการกลั่นหรือทำลายคราบน้ำมันอย่างถาวรต่อไป วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับใช้ในบริเวณที่มีสภาพคลื่นลมไม่มากนัก

2.5.3 การใช้วัตถุดูดซับคราบน้ำมัน (Absorbent)

เป็นวิธีการขจัดคราบน้ำมันด้วยวัตถุที่มีคุณสมบัติดูดซับคราบน้ำมันได้ดี ซึ่งประกอบด้วยวัตถุและแร่ธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น กากมะพร้าว นุ่น ฟางข้าว ขี้เลื่อย หินจากภูเขาไฟ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการคิดค้นสารสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น ซึ่งทำให้การใช้วัตถุดูดซับคราบน้ำมันทำงานได้ดีขึ้น วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับที่จะใช้บริเวณชายฝั่ง

2.5.4 การเผาคราบน้ำมัน (Burning)

เป็นวิธีการเผาคราบน้ำมันที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำหรือถูกรวบรวมอยู่ภายในท่อนักคราบน้ำมันชนิดทนไฟ ขั้นตอนการดำเนินการต้องใช้เวลาและระมัดระวังมากเป็นพิเศษและมักจะทำการเผาคราบน้ำมันในทะเลลึก เนื่องจากควันจากการเผาคราบน้ำมันทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางอากาศในบริเวณใกล้เคียงได้ วิธีการนี้ปัจจุบันยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก

2.5.5 การใช้สารเคมีฉีดพ่นคราบน้ำมัน (Dispersant)

ในกรณีที่มีคราบน้ำมันเล็ดรอดออกจากท่อนักคราบน้ำมัน หรือไม่สามารถทำการกักและเก็บคราบน้ำมันได้ การใช้สารเคมีฉีดพ่นคราบน้ำมัน จะเป็นวิธีการหนึ่งในการขจัดคราบน้ำมันที่สามารถปฏิบัติได้ เมื่อสารเคมีที่ฉีดพ่นไปสัมผัสคราบน้ำมันจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับคราบน้ำมัน

ทำให้คราบน้ำมันแตกตัวออกเป็นอนุเล็กๆ แขนวลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นการเร่งให้กระบวนการทางธรรมชาติทำการย่อยสลายคราบน้ำมันได้รวดเร็วขึ้นและหมดไปในที่สุด วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับใช้บริเวณที่มีสภาพคลื่นลมและความเร็วของกระแสลม

2.5.6 การขจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีทางชีวภาพ (Bioremediation)

เป็นวิธีที่เริ่มใช้กันมาไม่นานนัก คิดค้นโดย สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (USEPA) สาเหตุจากอุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันเอ็กซอนวัลเดซ (Exxon Valdez) เกยตื้นที่ชายฝั่งปรีนซ์วิลเลียมซาวนด์ รัฐอลาสกา มีน้ำมันดิบรั่วไหลออกจากเรือประมาณ 11 ล้านแกลลอน (ประมาณ 200 ล้านลิตร) ภายในระยะเวลาไม่ถึง 5 ชั่วโมง เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ.2532 นับว่าเป็นอุบัติเหตุการรั่วไหลของน้ำมันครั้งสำคัญของโลก คราบน้ำมันที่เกิดขึ้นได้ทำความเสียหายต่อสภาพแวดล้อมของอลาสกา ที่ซึ่งมีเกาะแก่งและน่านน้ำเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ กวาง หมี สิงโตทะเล แมวน้ำ ปลาวาฬ นก และปลานานาชนิด ยังส่งผลกระทบต่อชาวอลาสกาที่มีอาชีพทางการประมงเป็นหลัก และผลกระทบระยะยาวที่จะเกิดขึ้น เช่น ความสมดุลของระบบนิเวศ วงจรลูกโซ่อาหาร การลดปริมาณและการแพร่พันธุ์ของสัตว์ที่ได้รับการปนเปื้อนน้ำมัน ในเบื้องต้นได้มีการใช้กำลังคนมากกว่าหมื่นคน ในการกำจัดคราบน้ำมันตามชายฝั่ง ใช้ทุ่นกักน้ำมัน เครื่องดูดคราบน้ำมัน เครื่องฉีดน้ำความดันสูงและต่ำ ไปจนถึงการใช้แบคทีเรียตามก้อนหิน แต่ไม่สามารถที่จะกำจัดคราบน้ำมันได้จนหมดสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคราบน้ำมันที่เกาะอยู่ตามซอกหินและที่ฝังอยู่ใต้พื้นกรวดพื้นทรายตามชายหาด ดังนั้นจึงได้ค้นคว้าวิธีการใหม่ โดยอาศัยได้ขบวนการย่อยสลายคราบน้ำมันทางชีวภาพ (Biodegradation) โดยจุลินทรีย์ ซึ่งมีทั้ง แบคทีเรีย ยีสต์ และ ราต่างๆ ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมัน ปิโตรเลียม สารที่ได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดไขมัน แต่ขบวนการย่อยสลายตามธรรมชาตินี้ค่อนข้างจะช้า เนื่องจากขาดอาหารที่สำคัญ เช่น ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ไม่เพียงพอที่จะทำให้การเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์มีจำนวนมากพอ ที่จะย่อยสลายคราบน้ำมันได้ในเวลาอันรวดเร็ว จึงได้เกิดการศึกษาการเติมธาตุอาหารเพื่อเร่งขบวนการย่อยสลายคราบน้ำมัน โดยการกระตุ้นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติให้เพิ่มปริมาณขึ้น วิธีขจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีทางชีวภาพ (Bioremediation) ปัจจุบันมีการใช้กันมาก 2 วิธี คือ วิธีการเติมธาตุอาหาร หรือ ปุ๋ย เพื่อกระตุ้นการเจริญจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ (Biostimulation) และวิธีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารไฮโดรคาร์บอนลงไป (Bioaugmentation)

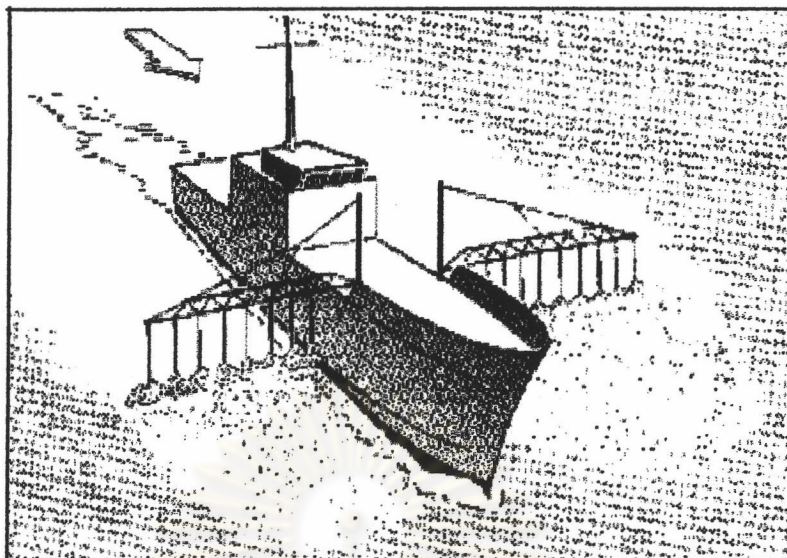
2.6 หลักการขจัดคราบน้ำมัน

เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แหล่งน้ำและทะเล มลภาวะที่เกิดขึ้นอาจมีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้ ทั้งนี้ความเสียหายขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของน้ำมัน ตลอดจนลักษณะของสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ซึ่งจะต้องมีการสำรวจตรวจสอบ เพื่อประเมินสถานการณ์ทันทีที่ได้รับแจ้งเหตุและดำเนินการตามยุทธวิธีที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่จะมีต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะต้องมีการรวบรวมพิจารณาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น ชนิดของน้ำมัน ปริมาณการรั่วไหลทิศทาง ความเร็วของกระแสน้ำ กระแสนลม สภาพอากาศ ตลอดจนพื้นที่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

2.6.1 ยุทธวิธีในการขจัดคราบน้ำมัน

อาจจะประกอบด้วยวิธีต่อไปนี้ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ โดยอาจเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใด หรืออาจใช้ร่วมกันหลายวิธีก็ได้ ซึ่งได้แก่

- 1) หยุดระงับการรั่วไหลโดยเร็วที่สุด เพื่อลดความรุนแรงของปัญหา
- 2) กักด้วยทุ่นกักน้ำมันและดูดเก็บคราบน้ำมันจากผิวน้ำโดยเร็วที่สุดเท่าที่สามารถกระทำได้ ณ จุดเกิดเหตุ เพื่อลดการแพร่กระจายของคราบน้ำมันออกเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งจะทำให้ยากต่อการกักและเก็บขึ้นจากผิวน้ำ
- 3) ปกป้องบริเวณที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมด้วยทุ่นกักน้ำมัน เพื่อป้องกันมิให้คราบน้ำมันเข้าไปทำความเสียหายต่อบริเวณดังกล่าว
- 4) ฉีดพ่นด้วยสารเคมี เพื่อให้คราบน้ำมันแตกเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งจะช่วยให้คราบน้ำมันถูกย่อยสลายไปโดยเร็วด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ การใช้สารเคมีนี้ควรกระทำในกรณีที่ปฏิบัติการใช้ทุ่นกักน้ำมันไม่ได้ผลหรือไม่ทันการ
- 5) ทำความสะอาดชายฝั่ง โดยใช้กำลังคนหรือเครื่องกลหรือเครื่องกลหรือวิธีการอื่นที่เหมาะสมเมื่อคราบน้ำมันเข้าไปทำความเปราะเปื้อนตามบริเวณชายฝั่ง
- 6) ติดตามความเคลื่อนที่ของคราบน้ำมัน หากทิศทางการเคลื่อนที่ของคราบน้ำมันมีแนวโน้มว่าจะไม่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่ง หรือบริเวณที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าคราบน้ำมันจะถูกกระบวนการทางธรรมชาติทำให้ย่อยสลายไปในกลางทะเล (เสน่ห์ ฉายโหมเลิศ, 2538)



รูปที่ 2.3 การฉีดพ่นสารเคมีจัดคราบน้ำมันจากเรือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.6.2 การแบ่งระดับการรั่วไหลของน้ำมัน

การปฏิบัติการขจัดครบน้ำมันอาจแบ่งตามระดับการรั่วไหลของน้ำมัน ดังนี้

1) น้ำมันรั่วไหลขนาดเล็ก เช่น จากกิจกรรมขนถ่ายน้ำมันบริเวณท่าเทียบเรือ การดำเนินการขจัดครบน้ำมันระดับนี้เป็นความรับผิดชอบของหน่วยงาน ที่ก่อให้เกิดการรั่วไหล หรือ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องแจ้งให้กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวีทราบในโอกาสแรก ปริมาณการรั่วไหลของน้ำมันในระดับที่ 1 นี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของหน่วยปฏิบัติการ โดยทั่วไปอาจมีได้ถึง 10 - 20 ตัน (10,000-20,000 ลิตร)

2) น้ำมันรั่วไหลขนาดกลางประมาณไม่เกิน 500 ตัน (5 แสนลิตร) ซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุ เช่น เรือชนกันในท่าเรือหรือบริเวณใกล้เคียง การดำเนินการขจัดครบน้ำมันในระดับนี้จะต้องมีการร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนภายในประเทศ

3) น้ำมันรั่วไหลขนาดใหญ่ เป็นการรั่วไหลของน้ำมันอาจมีปริมาณสูงกว่า 5,000 ตัน (5 ล้านลิตร) ซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุที่รุนแรง และห่างจากสถานประกอบการ การดำเนินการขจัดครบน้ำมันในระดับนี้อาจต้องขอรับการสนับสนุนเพิ่มเติมจากต่างประเทศในภูมิภาคนี้ด้วย

อุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลลงสู่ผืนน้ำทะเลที่สำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ดังแสดงในตาราง

ที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 อุบัติเหตุน้ำมันรั่วไหลลงสู่น่านน้ำทะเลที่สำคัญในประเทศไทย

ว.ด.ป.	สาเหตุ	ชนิดของน้ำมัน	จำนวนน้ำมันที่รั่วไหล	สถานที่เกิดเหตุ
10 เม.ย.2516	เรือบรรทุกน้ำมัน วิสาหกิจ ขนกับเรือสินค้า Toluca	น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา	2,226,000 ลิตร	บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา
19 พ.ค.2520	เรือบรรทุกน้ำมัน วชิร ขนกับเรือสินค้าญี่ปุ่น	มิได้ระบุ	3,000,000 ลิตร	บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา
- พ.ค.2521	ไฟไหม้เรือบรรทุกน้ำมัน Sunflower	น้ำมันเตา	3,000,000 ลิตร	บริเวณใกล้เกาะสีชัง จ.ชลบุรี
6 มี.ค. 2537	เรือสินค้า Bowen King ขนกับเรือบรรทุกน้ำมัน วิสาหกิจของบริษัทเอสโซ่	น้ำมันดีเซล	450,000 ลิตร	บริเวณด้านใต้เกาะค้างคาว อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
30 ต.ค.2539	เกิดการรั่วไหลจากเรือบรรทุกน้ำมัน MT. ONCE	น้ำมันดิบ	160,000 ลิตร	บริเวณด้านใต้บ้านมาบตาพุด จ.ระยอง
6 พ.ค. 2540	เรือท่องเที่ยว Kings Cruiser ขนหินโสโครก	น้ำมันเตา น้ำมัน ซีดี	7,000 ลิตร 4,000 ลิตร	บริเวณเกาะพีพี จ.กระบี่
26 มี.ค.2542	เรือยอร์ช Catharina เกิดเพลิงไหม้ และจมลง	น้ำมันดีเซล	2,000 ลิตร	ท่าเรืออ่าวฉลอง จ.ภูเก็ต ห่างจากชายฝั่ง 1 ไมล์
1 เม.ย. 2542	ลักลอบปล่อยทิ้งจากเรือสัญชาติเวียดนามชื่อ SONG THONG	น้ำมันเตา	1,000 ลิตร	บริเวณจุดจอดเรือทางตอนเหนือของ เกาะสีชัง จ.ชลบุรี
14 ก.ย.2543	เรือบรรทุกสินค้าชื่อ Heron ขนเรือบรรทุกน้ำมัน Play Boy3	น้ำมันดีเซล	200,000 ลิตร	บริเวณนอกฝั่ง จ.ชลบุรี
27 มี.ค. 2544	ถ่ายน้ำมันดิบ จากเรือบรรทุกน้ำมันสัญชาติ Malts ชื่อ Ninemia เนื่องจากข้อบกพร่องของตัวเรือบริเวณวาล์วลิ้น	น้ำมันดิบ	5,000 ลิตร	กระจายทั่วไป บริเวณหาดแสงจันทร์ หาดแม่รำพึง จนสุดบ้านก้นอ่าว
15 ม.ค.2545	เรือ Eastern Fortitude ขนหินฉลาม	น้ำมันเตา	243,000ลิตร	นอกฝั่ง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี
17 ธ.ค. 2545	เรือ KOTA WIJAYA โดนกับเรือ Sky Ace	น้ำมันใช้การในเครื่องจักร	20,000 ลิตร	ใกล้บริเวณทางเข้าท่าเรือแหลมฉบังด้านใต้ เกาะสีชัง จ. ชลบุรี

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2547

2.7 สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (Dispersant)

สารเคมีขจัดคราบมีองค์ประกอบหลัก 2 อย่าง คือ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารตัวทำละลาย (Polar Organic Solvent) โดยมีอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวสูงสุดถึงร้อยละ 60 และตัวทำละลาย Polar Organic Solvent หรือผสมกับตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.7.1 สารลดแรงตึงผิว

เป็นสารขจัดคราบที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีทั้ง Hydrophilic Groups และ Hydrophobic (Oleophilic Groups) หากเป็นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่มี Oleophilic Groups เป็นองค์ประกอบหลัก ก็จะมีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำซึ่งรวมตัวกับน้ำมันเป็นอิมัลชัน (Water-in-oil Emulsion) คงตัวอยู่ได้ สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ Anionic, Cationic, Non-ionic และ Amphoteric มีเพียงกลุ่ม Anionic และ Non-ionic เท่านั้นที่ใช้ผสมในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในปัจจุบัน

สารลดแรงตึงผิวประเภท Non-ionic เช่น Sorbitan Esters ของกรด Oleic หรือ กรด Lauric Acid, Ethoxylated Sorbitan Esters ของกรด Oleic หรือ กรด Lauric Acid, Polyethylene Glycol Esters ของกรด Oleic Acid, Ahoxylated และ Propoxylated Fatty Alcohols, Ethoxylated Oetylphenol ที่รู้จักกัน ได้แก่ TritonX, Tween, Span, Brij, Corexit

สารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic เช่น Sodium Dioctyl Sulfosuccinate (SDSS), Sodium Ditridecanoyl Sulfosuccinate

ทั้งนี้อาจใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิดหรือมากกว่านั้นผสมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพขจัดคราบน้ำมัน

2.7.2 สารตัวทำละลาย

แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ (1) น้ำ (2) สารประกอบของ Water-miscible Hydroxy และ (3) ไฮโดรคาร์บอน สารประกอบ Hydroxy ที่ใช้ในสูตรของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ได้แก่ Ethylene Glycol Monobutyl Ether, Diethylene Glycol Monomethyl Ether และ Diethylene Glycol Monobutyl Ether สำหรับสารตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในสาร

เคมีกำจัดคราบน้ำมันในปัจจุบันได้แก่ Kerosene ที่มีปริมาณอะโรมาติกต่ำและไม่มีกลิ่น และสารตัวทำละลาย High-boiling ซึ่งมี Branched Saturated Hydrocarbons

สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันที่ใช้ในปัจจุบันหลายตัวเป็นประเภทที่ย่อยสลายทางชีวภาพด้วย ทั้งนี้มีการเติมธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เข้าไปเพื่อให้จุลินทรีย์ในน้ำทะเลย่อยสลายน้ำได้ดีขึ้น เช่น Finasol OSR-5, Inipol EAP22

สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันจะมีคุณสมบัติปลดแรงตึงผิวของคราบน้ำมัน ทำให้คราบน้ำมันแตกตัวออกเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในมวลของน้ำและมองไม่เห็นคราบน้ำมันที่ผิวหน้าได้อีก หยดน้ำมันเหล่านี้จะถูกเจือจางอย่างรวดเร็วโดยน้ำทะเลและลดโอกาสที่จะผสมรวมตัวกับน้ำซึ่งจะก่อให้เกิดสารประกอบที่คงตัวและกำจัดได้ยาก การแตกตัวของหยดน้ำมันออกเป็นหยดเล็กๆ ทำให้จุลินทรีย์ในทะเลสามารถย่อยสลายหยดน้ำมันเหล่านั้นได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่หยดน้ำมันนั้นก็ยังคงสภาพอยู่ และต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งจึงถูกย่อยสลายไปด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ดังนั้นการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันจึง อาจเป็นเพียงกระบวนการที่ทำให้คราบน้ำมันบนผิวหน้าเคลื่อนย้ายลงไปอยู่ในมวลน้ำเท่านั้น ไม่ใช่การกำจัดคราบน้ำมันอย่างสมบูรณ์ แต่กระบวนการนี้สามารถปกป้องพื้นที่ชายฝั่งมิให้ได้รับความเสียหายได้ (NRC, 1989 อ้างถึงในศุภสินี เนียมแสง, 2546)

2.7.3 ชนิดของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน

สามารถแบ่งตามลักษณะของตัวทำละลายได้ 3 ประเภท (AMSA, 2001 อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ, 2544) ได้แก่

1) Conventional Hydrocarbon Based

เป็นสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันที่มีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวทำละลาย ร้อยละ 15-25 มักจะนำไปใช้งานโดยไม่ต้องผสมน้ำ อัตราส่วนที่ใช้ของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันต่อน้ำมันคือ 1:3-1:5 สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันชนิดนี้ใช้กับคราบน้ำมันในทะเลหรือตามชายฝั่งทั่วไป และใช้งานได้ดีกับคราบน้ำมันที่มีความหนืดสูงเนื่องจากตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจะมีส่วนช่วยลดความหนืดของคราบน้ำมันลง

2) Water diluted concentrate

สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันชนิดนี้จะไม่เข้มข้นสามารถนำไปใช้ได้ทันที หรือ จะผสมกับน้ำก่อนนำไปใช้ก็ได้ สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน

ชนิดนี้มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดจึงไม่เป็นที่นิยม แต่ใช้ได้ดีสำหรับป้องกันขायหัดและการทำความสะอาด
 สะอาดคราบน้ำมันหลังจากการขจัดคราบน้ำมันโดยวิธีอื่น

3) Concentrate

สารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่สามารถกระจายตัวได้ในน้ำซึ่งตัวทำละลายจะเป็นสาร
 ประกอบไฮดรอกซี (Hydroxy compound) เช่น ไกลคอลอีเทอร์ (Glycoether) และจะมีสารลด
 แรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นสูงประกอบอยู่ด้วย สารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดนี้สามารถใช้งานได้โดย
 ไม่ต้องผสม หรือจะนำมาผสมกับน้ำก่อนใช้งานก็ได้โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลงไป เป็นสารเคมี
 ขจัดคราบน้ำมันชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยอัตราส่วนที่ใช้ของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันคือ
 1: 5-1: 30

2.7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

- 1) ความหนืดของน้ำมัน สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีประสิทธิภาพดีก็ต่อเมื่อใช้กับน้ำมัน
 ที่มีค่าความหนืดไม่เกิน 2,000 เซนติสโตค (Centistokes, cSt)
- 2) จุดไหลเทของน้ำมัน (Pour point) สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีขีดจำกัด เมื่อใช้กับ
 น้ำมันที่มีจุดไหลเทใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ
- 3) สารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิด จะมีความเหมาะสมในการขจัดคราบน้ำมันแต่ละ
 ชนิด รวมถึงประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน
- 4) ประสิทธิภาพของการขจัดคราบน้ำมันจะลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างสารเคมีขจัดคราบ
 น้ำมันกับน้ำมันลดลง สารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ฉีดลงบนผิวของคราบน้ำมันควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง
 กลางของหยดประมาณ 500-700 ไมโครเมตร
- 5) พลังงานจากคลื่น ลม และกระแสน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบ
 น้ำมัน เนื่องจากคลื่นลมจะช่วยให้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมัน
 ได้ดีขึ้น ดังนั้นสภาพผิวหน้าควรจะมีคลื่นพอสมควรและความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 10 น็อต (5 เมตรต่อ
 วินาที)
- 6) อุณหภูมิ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะ
 ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันสูงขึ้น เนื่องจากจะทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงจึงมี
 ผลให้ประสิทธิภาพในการแทรกซึมของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันดีขึ้น
- 7) ความเค็มของน้ำ สารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการขจัด
 คราบน้ำมันที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน

2.7.5 เขตการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน

การเลือกใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันจะมีความเหมาะสมเมื่อใช้ในสภาพการณดังต่อไปนี้

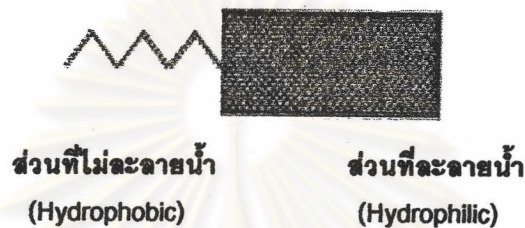
- 1) เมื่อน้ำมันที่รั่วไหลมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่ง มีแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหว (Sensitive area) และเป็นแหล่งอาศัยและเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ
- 2) เมื่อการกำจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีอื่นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
- 3) เมื่อสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีอื่น
- 4) เมื่อการกระจายตัวตามธรรมชาติของน้ำมันไม่เพียงพอ

แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในมวลน้ำ และยังเป็น การเพิ่มสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันในสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงต้องมีการแบ่งเขตการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันโดยพิจารณาตามความสำคัญของทรัพยากร ซึ่งพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมันได้นั้นจะต้องเป็นแหล่งทรัพยากรที่ไม่มีความอ่อนไหวสูงต่อน้ำมันที่กระจายตัว และจะต้องมีความลึกของน้ำไม่น้อยกว่า 10 เมตร ซึ่งช่วยให้เกิด การเจือจางได้อย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ,2544) ในบางพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหวต่อน้ำมันที่กระจายตัวจึงไม่ควรใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน เพราะจะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก พื้นที่บริเวณนี้ ได้แก่ บริเวณชายฝั่งที่มีน้ำตื้นและการไหลเวียนของมวลน้ำต่ำ แหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค แหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ พื้นที่อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน แนวปะการัง แหล่งหญ้าทะเล พื้นที่ป่าชายเลน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

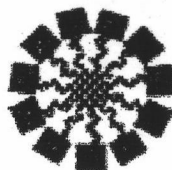
2.8 สารลดแรงตึงผิว (Sufactant)

สารลดแรงตึงผิว หมายถึง สารที่มีสมบัติลดแรงตึงผิว (surface active substance) มีลักษณะโมเลกุลหลักที่มีโครงสร้างเป็น amphipathic คือ มีส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic) และ มีส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic) ดังรูปที่ 2.4 โดยส่วนที่ละลายน้ำจับกับกลุ่มที่มีขั้ว (polar group) เช่น น้ำ (Fiechter,1992 ; Kosaric,1993)



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

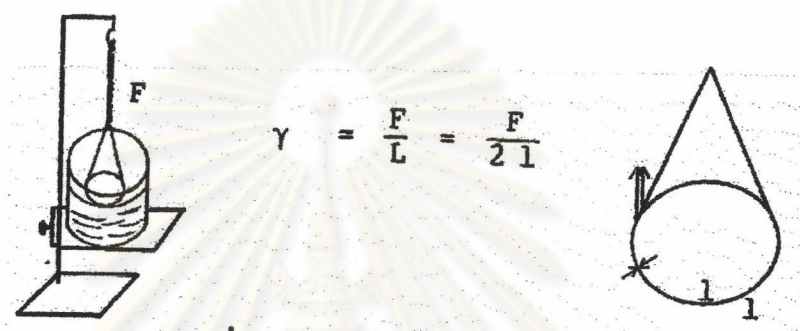
จากสมบัติพิเศษของสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างเป็น amphipathic ทำให้เมื่ออยู่ในตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิวจะมาสะสมกันอยู่บริเวณผิว (surface) ของตัวทำละลายและทำให้เกิดการลดค่าแรงตึงผิวของตัวทำละลาย โดยเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงในตัวทำละลาย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันแอสวนละลายน้ำออกสู่ด้านนอก และส่วนไม่ละลายน้ำเข้าหากัน เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelles) ดังรูปที่ 2.5 และสามารถเปลี่ยนกลับจากไมเซลล์เป็นโมเลกุลเดี่ยวๆได้เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในตัวทำละลายลดลง โดยทั่วไป สารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างสองพื้นที่ประจันกันได้ เช่น ลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำอากาศกับน้ำ และน้ำกับดิน เป็นต้น ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกันนี้ เรียกว่า ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกัน (interfacial tension)



รูปที่ 2.5 ลักษณะไมเซลล์ (micelles) ของสารลดแรงตึงผิว

2.8.1 แรงตึงผิว (surface tension)

แรงตึงผิว (surface tension) หมายถึง อัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกแรงกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงด้วย มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m) หรือ ดายน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm)



รูปที่ 2.6 แสดงการหาค่าแรงตึงผิวของของเหลว

กำหนดให้ L = ความยาวของเส้นลวด เนื่องจากผิวฟิล์มทั้งสองผิว ดังนั้นความยาวของผิวที่ถูกแรงกระทำ จึงเป็น 2 เท่าของความยาวลวดคือ $2L$

ถ้า γ = แรงตึงผิวของเยื่อสปู ตามนิยามของแรงตึงผิว จะได้ $\gamma = \frac{F}{2L}$

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับแรงตึงผิวของของเหลวที่พบเป็นประจำในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การเกิดฟองสบู่ การเกิดแผ่นฟิล์ม การเกิดหยดของของเหลว

แรงตึงผิวของของเหลวเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิของของเหลวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าแรงตึงผิวจะลดลง เช่น ถ้าเราต้มน้ำในน้ำเดือดก็สามารถทำความสะอาดเสื้อผ้าได้ดีขึ้นเพราะน้ำมีแรงตึงผิวลดลง

ตารางที่ 2.5 ค่าแรงตึงผิวของของเหลวชนิดต่างๆ

ชนิดของเหลว ที่สัมผัสอากาศ	อุณหภูมิ (°ซ.)	ความตึงผิว (mN/m)
น้ำ	0	75.6
น้ำ	20	72.8
น้ำ	60	66.2
น้ำ	100	58.9
น้ำสบู่	20	25.0
เอทิลแอลกอฮอล์	20	22.3
กลีเซอริน	20	63.1
เบนซีน	20	28.9
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	20	26.8
ปรอท	20	46.5

2.8.2 การตรวจวัดกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิว

กิจกรรมของสารลดแรงตึงผิว (surfactant activity) สามารถตรวจวัดได้หลายวิธีได้แก่ การวัดค่าแรงตึงผิว (surface tension) ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกัน (interfacial surface) ค่าการกระจายตัวของน้ำมัน (oil displacement activity) และดัชนีการก่อเกิดอิมัลชัน (emulsification index) (Morikawa และคณะ, 1993)

2.8.2.1 การวัดค่าแรงตึงผิว(Surface Tension)

การวัดค่าแรงตึงผิวที่อยู่ระหว่างผิวน้ำและอากาศ และการวัดค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะวัดค่าแรงตึงผิวระหว่างสารลดแรงตึงผิวกัน เอกซเซเดกเคน โดยใช้ Ring Tensiometer ค่าแรงตึงผิวที่ได้ มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อเมตร(mN/m) หรือ ดายน์ต่อเซนติเมตร (dyne/cm) ซึ่งค่าแรงตึงผิวของน้ำกลั่นมีค่าเท่ากับ 72 mN/m แต่เติมสารลดแรงตึงผิวลงไปจะทำให้ลดค่าแรงตึงผิวของน้ำลดลงต่ำกว่า 30 mN/m และเมื่อเพิ่มความเข้มข้น

คงที่ แม้ว่า จะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวลงไปอีกเท่าใดก็ตาม สารลดแรงตึงผิวจะมีบทบาทไปลดค่าแรงตึงผิวของน้ำกับอากาศได้โดยดูจากค่าแรงตึงผิวที่ลดลง

2.8.2.2 การหาค่าความเข้มข้นของจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC)

เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นค่าแรงตึงผิวก็ลดลงเรื่อยๆ จนถึงระดับหนึ่งและมีค่าคงที่ ตรงจุด CMC ซึ่งจุดนี้เป็นจุดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ต่ำที่สุดที่ก่อเกิดไมเซลล์นี้เรียกว่า จุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC) และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ก็ไม่สามารถลดแรงตึงผิวของสารละลายได้อีก เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวก่อตัวเป็นไมเซลล์แล้ว ค่า CMC เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว มีหน่วยเป็น ความเข้มข้นของสาร เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) โมลาร์ (M) และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (%v/v) ซึ่งถ้าสารลดแรงตึงผิวใดมีค่า CMC ต่ำๆ แสดงว่า นำสารไปใช้เพียงเล็กน้อยก็สามารถลดแรงตึงผิว ของสารละลายได้ต่ำสุด แต่ถ้าสารใดมีค่า CMC สูง แสดงว่า จะต้องใช้สารปริมาณมากในการลดแรงตึงผิวของสารละลาย

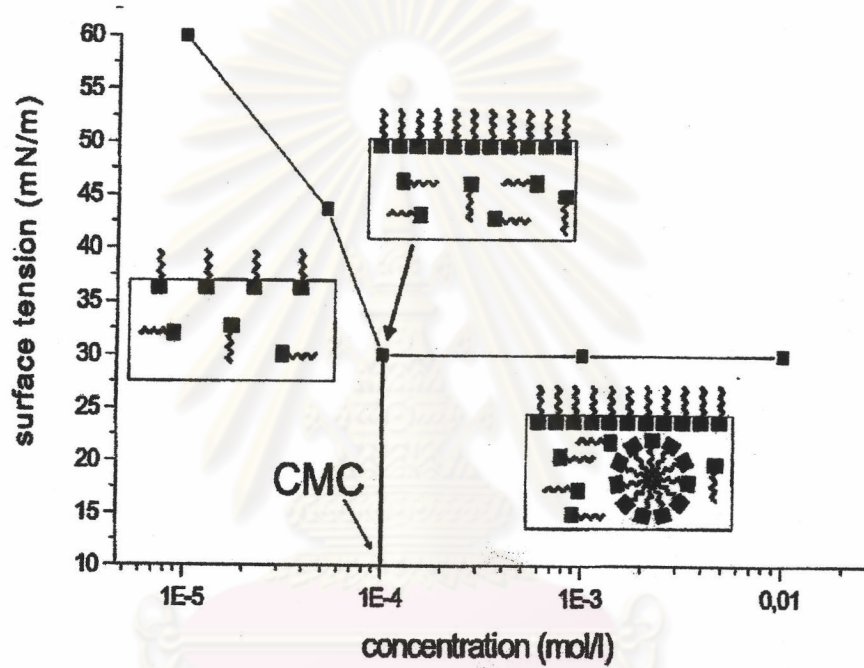
ปัจจัยที่มีผลต่อค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิว (Clint, 1992)

ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- 1.ขนาดของความเป็นขั้วหรือขนาดของส่วนที่ละลายน้ำ เช่น ถ้าโมเลกุลของสารมีหมู่ฟอสเฟตจะมีค่า CMC สูง ถ้ามีกลุ่ม non-ionic จะทำให้มีค่า CMC ต่ำ
- 2.อิทธิพลของ counterions ถ้ามีสารที่มีประจุตรงข้ามในสารละลายมาก ค่า CMC จะลดลง เช่น เกลือแคลเซียมของสารซัลโฟเนต (sulphonate) จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเป็นเกลือโซเดียม
- 3.การเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ โปแตสเซียมคลอไรด์ ลงในสารลดแรงตึงผิว จะทำให้ค่า CMC ที่ได้ต่ำลง
- 4.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย จะมีผลต่อสารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ที่มีขั้วในโมเลกุล เช่น -NH_2 และ -COOH ค่า CMC จะมีค่าสูง เมื่อในสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ตรงกับหมู่ที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำๆ สารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ -NH_2 จะมีค่า CMC สูง และ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงๆ สารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ -COOH มีค่า CMC สูง เป็นต้น และค่า CMC จะต่ำเมื่ออยู่ในสารละลายเป็นกลาง
- 5.ความยาวโซ่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ความยาวของโซ่กิ่งหรือหมู่อัลคิล

ในโมเลกุลส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ถ้ามีจำนวนหมู่ฮัลคิล (-CH₂) หรือจำนวนคาร์บอนอะตอมมากจะมีผลทำให้มีค่า CMC ต่ำ

6. ผลของอุณหภูมิต่อสารลดแรงตึงผิวจากพวก non-ionic ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวของพวก non-ionic จะลดลง



รูปที่ 2.7 การหาค่าความเข้มข้นของจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC)

2.8.2.3 การวัดค่าการกระจายตัวของน้ำมัน (Oil displacement)

ค่าการกระจายตัวของน้ำมัน (Morikawa และคณะ, 1993) เป็นการวัดความสามารถของสารลดแรงตึงผิวในการทำให้แผ่นฟิล์มของน้ำมันบนผิวน้ำเป็นวงใส (clear zone) โดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่วงใส คำนวณหาพื้นที่ตามสูตร πr^2 มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรโดยกำหนด 1 ตารางเซนติเมตรของการกระจายตัวของน้ำมันดิบเท่ากับ 1 หน่วย นอกจากการวัดค่าการกระจายตัวของน้ำมันจะใช้วัดส่วนน้ำใสที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อแล้ว ยังเป็นวิธีที่เหมาะสมในการวัดกิจกรรมของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ โดยวิธีนี้จะใช้สารในการวิเคราะห์เพียง 10 ไมโครลิตร จึงเหมาะกับสารที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ซึ่งปกติแล้วจะมีปริมาณน้อยมาก

2.8.2.4 ดรรชนีการก่อเกิดอิมัลชัน (Emulsification index)

ดรรชนีการก่อเกิดอิมัลชัน คือ ค่าที่บอกถึงความเสถียรของอิมัลชัน ซึ่งอิมัลชันเกิดจากการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายเข้ากันเช่น น้ำกับน้ำมัน เมื่อผสมกันอยู่โมเลกุลของน้ำมันจะแตกเป็นหยดเล็กๆกระจายอยู่ในน้ำ ลักษณะปรากฏดังกล่าวจะเรียกว่า อิมัลชัน ที่เสถียรหรือไม่เสถียรก็ได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของสารลดแรงตึงผิวนั้นๆในการทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดที่มีโครงสร้างต่างกันเป็นหยดเล็กๆกระจายในน้ำได้ ซึ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างทั้งที่เป็นโซ่ตรงหรือโซ่กิ่งและมีจำนวนคาร์บอนต่างกัน ทำให้มีความเป็นขั้วของสารต่างกัน ดังนั้นจึงมีผลต่อการก่อเกิดอิมัลชันของสารลดแรงตึงผิว การวัดความสามารถของสารลดแรงตึงผิวในการก่อเกิดอิมัลชัน ทำได้โดยการนำสารลดแรงตึงผิวมาผสมกับสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน เช่น hexadecane-2-methylnaphthalene mixture (Clint, 1992) หรือ คีโรซีน ตั้งทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงหรือ 1 เดือน จึงวัดความยาวของส่วนที่เป็นอิมัลชันที่มีลักษณะสีขาวเป็นครีมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความยาวของของเหลวทั้งหมด ถ้าเปอร์เซ็นต์ของอิมัลชันมีค่าสูงและความเสถียรอยู่ได้นาน 24 ชั่วโมง และ 1 เดือน แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดนั้น เป็นการก่อเกิดอิมัลชันที่ดี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผสมสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับน้ำหรือสารประกอบที่มีขั้วต่างกันได้อย่างดี

2.8.3 ชนิดสารลดแรงตึงผิว

2.8.3.1 สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Synthetic Surfactants)

การดำเนินกิจกรรมและกระบวนการต่างๆ ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือนต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากปิโตรเลียม เช่น แอกอฮอล์ อัลคิลเบนซีน อัลคิลฟีนอล หรือผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติเช่น ได้จากน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และไขมัน กรดไขมัน และแอลกอฮอล์ คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ดีที่สุดคือ ดีเทอร์เจนท์ (detergent) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทำมาสะอาด โดยมีส่วนประกอบหลักเป็นสารลดแรงตึงผิว สบู่เป็นดีเทอร์เจนท์ที่มีมาตั้งแต่สมัยโรมัน ในตอนแรกสบู่ถูกผลิตขึ้นภายในครัวเรือนต่อมาเมื่ออุตสาหกรรมขนสัตว์ ได้เติบโตขึ้นเป็นผลให้มีโรงงานผลิตสบู่เพื่อเป็นการค้าขึ้นในศตวรรษที่ 13 แม้ว่าสบู่ยังคงมีมูลค่ามากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น แต่ก็มีภาระแนะนำสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ขึ้น ในปี 1940 เป็นการเริ่มต้นของวิวัฒนาการของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ทั้งในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันทั่วโลกได้มีการใช้ผลิตภัณฑ์สารลดแรงตึงผิวประมาณ 1,000,000 ตันต่อปี ซึ่งนอกจากใช้ในบ้านเรือนแล้วในอุตสาหกรรมใหญ่ๆ ก็มีการใช้สารลดแรงตึงผิว เช่น อุตสาหกรรมฟอกย้อม อุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมถลุงแร่ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง และอุตสาหกรรมยา ซึ่งแต่ละชนิดเป็นอุตสาหกรรมหลัก และทั้งหมดต่างใช้สารลดแรงตึงผิวจึงจัดได้ว่าสารลดแรงตึงผิวมีบทบาทที่สำคัญยิ่งในทางเศรษฐกิจ (Clint, 1992)

ชนิดของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Clint, 1992) สามารถจำแนกชนิดของสารลดแรงตึงผิว โดยอาศัยความแตกต่างในโครงสร้างของโมเลกุล ได้ดังนี้

1. กลุ่มละลายน้ำ (hydrophilic)

สามารถแบ่งกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ตามโครงสร้างของโมเลกุลความแรงของขั้วและประจุของกลุ่มที่ละลายน้ำหรือกลุ่มหัว (head group)

1.1 Anionic surfactants (สารลดแรงตึงผิวประจุลบ) ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มนี้ประกอบด้วยสบู่ และสารดีเทอร์เจนท์สังเคราะห์ในยุคต้นๆ ซึ่งประกอบด้วยซัลโฟเนต (Sulphonates (-SO₃)) และซัลเฟต (Sulphates (-SO₄)) ทั้งหมดยังคงเป็นสารลดแรงตึงผิวที่นิยม

ใช้ในงานทำความสะอาด โดยที่ซัลโฟเนต และซัลเฟต มีคุณสมบัติเหนือกว่าคาร์บอกซิเลต (Carboxylates) โดยสามารถทนต่ออิออนของโลหะในน้ำกระด้างได้ดีมาก

1.2 Cationic surfactants (สารลดแรงตึงผิวประจุบวก) มักจะเป็นพวกควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium) อิมิดาโซลิเนียม (imidazolinium) หรือสารประกอบอัลคิลไพริดีเนียม (alkyl pyridinium) ในทางปฏิบัติประจุบวกที่กลุ่มหัว (head group) ของมันจะทำให้สามารถจับกับประจุลบบนเส้นใย เช่น ฝ้าย และ ผสม ได้แน่นมาก จึงนิยมใช้ในงานเกี่ยวกับผ้า และในครีมขูดผม

1.3 Zwitterionic surfactants หรือ Amphoteric surfactants เป็นสารลดแรงตึงผิวที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยทั้งประจุลบและประจุบวก มีโครงสร้างของบีเทน (betaines $(-N^+(CH_3)_2 CH_2 SO_3^-)$) หรือ ซัลโฟบีเทน (sulphobetaines $(-N^+(CH_3)_2 CH_2 SO_3^-)$) สารประกอบกลุ่มนี้ให้ความละมุนต่อผิวหนังมากกว่า Anionic surfactants และระคายเคืองตาน้อยมาก จึงนิยมใช้กับแชมพูเด็ก

1.4 Non-ionic surfactants เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไร้ประจุ ตัวอย่างที่สำคัญได้แก่ เอทอกซิเลต (ethoxylate $(-(OCH_2CH_2)_n OH)$) ที่ใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับการชะล้างโดยสามารถทำให้เกิดอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำ สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มนี้ เรียกว่า สารประกอบเซมิโพลาร์ (semi-polar) เช่น amine oxides, sulphoxide และ phosphine oxides โครงสร้างของโมเลกุลส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide chain) ซึ่งเป็นส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic part) ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือ ไม่เป็นพิษสามารถใช้ได้กับค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงกว้าง

1.5 Combination surfactants คือสารลดแรงตึงผิวที่รวมเอากลุ่มหัว (head group) ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในข้อ 1.1, 1.2, 1.3 และ 1.4 ไว้ในสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวโดยทั่วไปจะรวมกลุ่ม non-ionic และกลุ่ม anionic เข้าไว้เช่น alkyl ethoxy sulphate $(-(OCH_2CH_2)_n OSO_3^-)$ สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มนี้มีความละมุนต่อผิวหนังจึงมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ผิวหนังมักสัมผัสด้วย เช่น น้ำยาล้างจาน และแชมพู

2. กลุ่มไม่ละลายน้ำ (Hydrophobic group)

ส่วนนี้ของสารลดแรงตึงผิวจะเป็นส่วนหาง (tail group) และโดยทั่วไปเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวประเภทสบู่ มักจะเป็นกลุ่มอัลคิล (alkyl group) ที่อยู่ในรูปกรดไขมันที่ได้จากการย่อยไขมันและน้ำมัน ในยุคต้นๆ สบู่ประกอบด้วยอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (alkyl benzene sulphonate) ซึ่งเป็นกลุ่มอัลคิลที่มักจะมีกิ่งบนสายโซ่ สายอัลคิลที่มีกิ่งนี้จะย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จึงยังคงค้างอยู่ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วเป็นเหตุให้เกิดฟองในแม่น้ำ

ถ้าหาร ปัจจุบันมีการใช้อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงแทน ซึ่งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และเพื่อช่วยลดภัยต่อสภาวะแวดล้อมยิ่งขึ้น ได้มีการทำให้กลุ่มหาง (tail group) ของสบู่ปราศจากสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก

2.8.3.2 สารลดแรงตึงผิวธรรมชาติ (Natural Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวสามารถพบได้ในธรรมชาติ ในสิ่งมีชีวิตทั่วไป และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ในเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ฟอสโฟลิพิดนี้จะทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวในเยื่อเซลล์ ในน้ำมันไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ แต่มีจำนวนน้อยที่อยู่ในรูปฟอสโฟลิพิด และ ไดกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ช่วยให้ไขมันชั้นในนมเสถียร ในระหว่างกระบวนการย่อยอาหารจำพวกไขมันจะถูกทำให้เป็นอิมัลชัน โดยฟอสโฟลิพิด หรือไมโนกลีเซอไรด์ จากนั้นเอนไซม์ไลเปส (lipase) จากตับอ่อนจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ ที่อยู่ในรูปของอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (oil/water) อิมัลชันนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไขมันอิสระและไมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งทั้งสองเป็นสารลดแรงตึงผิวที่แรง และสามารถเกิดไมเซลล์ร่วมกับเกลือน้ำดี ได้เป็นไขมันละลายง่าย (solubilised fat) ที่จำเป็นซึ่งสามารถผ่านผนังลำไส้ได้ เกลือน้ำดี ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวนี้จะผลิตขึ้นในตับและนำไปเก็บไว้ในถุงน้ำดี สารลดแรงตึงผิวที่พบในระบบเลือด ได้แก่ ซีรัมอัลบูมินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่ออิมัลชันที่ดี สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติอื่นๆ เช่น อคาเซีย (Acacia) เจลาติน (Gelatin) ลานอลิน (Lanolin) ขี้ผึ้ง (Beewax) เลซิธิน (Lecithin) ไซโคลเดกซ์ตริน (Cyclodextrin) และ แซปโปนิน (Saponin) เป็นต้น (Clint, 1992)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.3.3 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant)

สารลดแรงตึงผิวที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ มักจะเป็นพวกไขมัน (lipids) คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ เป็นผลมาจากการรวมกันของควมมีขั้วไว้ในโมเลกุลเดียวกับควมไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั่วไปตัวอย่างเช่น สายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน ควมมีขั้วหรือกลุ่มที่ละลายน้ำ เช่น กลุ่มที่ทำหน้าที่เอสเทอร์และแอลกอฮอล์ของไขมัน ฟอสเฟตที่ส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด และน้ำตาลของไกลโคลิพิด (Cooper และคณะ, 1980)

สารลดแรงตึงผิวชีวภาพจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมีและชนิดของจุลินทรีย์ที่สร้างสารลดแรงตึงผิวนั้นๆ ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพประกอบด้วยส่วนที่ละลายน้ำ (hydrophilic moiety) อันได้แก่ กรดอะมิโนหรือเพปไทด์ที่เป็นประจุบวกหรือลบ น้ำตาล โมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่หรือเป็นสายยาว และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic moiety) ได้แก่ สารประกอบของไขมันทั้งไขมันอิ่มตัวและไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถจัดจำแนกสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้เป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้ (Banat, 1995 ; Catherine, 2005)

1. ไกลโคลิพิด (Glycolipids) เป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลเชื่อมต่อกับไขมัน เช่น

Rhamnolipids ผลิตจาก *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas* sp.

Sophorolipids ผลิตจาก *Torulopsis* sp., *T. apicola*, *T. bombicola*

Trehalolipids ผลิตจาก *Rhodococcus erythropolis*, *Arthrobacter paraffineus*

Glycolipids ผลิตจาก *Alcanivorax borkumensis*, *Corynebacterium* sp.

2. ลิโปเพปไทด์และ ลิโปโปรตีน (Lipopeptides & Lipoproteins) ประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกับไขมัน เช่น

Lichenysin ผลิตจาก *Bacillus licheniformis*

Surfactin ผลิตจาก *B. subtilis*

Subtilisin ผลิตจาก *B. subtilis*

Serrawettin ผลิตจาก *Serratia marcescens*

Arthrofactin ผลิตจาก *Arthrobacter* sp.

Streptofactin ผลิตจาก *Streptomyces tendae*

3. กรดไขมันและไขมัน (Fatty acids & Neutral lipids) เช่น

Rubiwettin R1 ผลิตจาก *Serratia rubidaea*

Omithinelipids ผลิตจาก *Pseudomonas rubescens*

4. ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ประกอบด้วยฟอสเฟต เชื่อมต่อกับกรดไขมัน และกลีเซอรอล เช่น

Phosphatidylglycerol ผลิตจาก *Thiobacillus thiooxidans*

Phosphatidylinositol ผลิตจาก *T. thiooxidans*

Phosphatidic acid ผลิตจาก *T. thiooxidans*

5. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ (Polymeric biosurfactants) เป็นสารประกอบโปรตีนของโพลีแซ็กคาไรด์อื่น ๆ (polysaccharide -protein complexes) เช่น

Emulsan ผลิตจาก *Acinetobacter calcoaceticus*

Alasan ผลิตจาก *A. radioresistaens*

Biodispersan ผลิตจาก *A. calcoaceticus*

Liposan ผลิตจาก *Candida lipolytica*

6. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่มีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate biosurfactants) ประกอบด้วยโปรตีน ฟอสโฟลิพิด และ โลโพลีแซ็กคาไรด์ ที่สะสมอยู่บนเซลล์ของจุลินทรีย์ (extracellular membrane vesicles) แล้วเปลี่ยนรูปเป็น microemulsion มีส่วนช่วยในการนำสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนเข้าสู่เซลล์ เช่น Vesicle และ Fimbriae ที่ผลิตจาก *A. calcoaceticus*

ประโยชน์และการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ

- 1) สารก่อเกิดอิมัลชัน (emulsifier) เป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดอิมัลชันหรือทำให้สารที่มีขั้วต่างกันผสมกันได้ดีขึ้น
- 2) สารแยกเฟส (phase separation) เป็นสารที่ช่วยแยกเฟสของเฟสที่ต่างกันแยกออกจากกัน
- 3) สารเปียก (wetting agent) ที่เป็นสารที่ช่วยทำให้มีความเปียกชื้นอยู่เสมอ
- 4) สารช่วยเพิ่มการละลาย (solubilisation) เป็นสารที่ช่วยทำให้สารบางชนิดเกิดการ

ละลายได้ดีขึ้น

- 5) สารก่อฟอง (foaming agent) เป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดฟองในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์
- 6) สารลดการเกิดสนิม (corrosion-inhibition) เป็นสารที่ช่วยยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดจาก

สนิม

- 7) สารลดความหนืด (viscosity-reduction) เป็นสารที่ช่วยลดความหนืดของสาร

ข้อดีการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีหลายประการ ได้แก่

- 1) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผลิตโดยจุลินทรีย์มีโครงสร้างหลากหลายสามารถเลือกนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงาน
- 2) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพสามารถผลิตจากสารตั้งต้นที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (renewable substrate)
- 3) สามารถปรับปรุงสายพันธุ์ของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมศาสตร์ (genetic engineering) หรือเทคนิคทางเคมี เพื่อให้เชื่อมีความสามารถในการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
- 4) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพสลายตัวได้ง่ายไม่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม และมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่ำ และผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งถ้าเป็นสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์นี้จะสลายตัวยากจึงอาจเกิดปัญหาเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Kosaric, 1993)

ชนิดของสารลดแรงตึงผิว	จุลินทรีย์	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)	ค่าCMC (มก.ต่อลิตร)
Rhamnolipids	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	29	50-240
Trehalolipids	<i>Rhodococcus erythropolis</i>	30	20
	<i>Nocardia erythropolis</i>	30	20
	<i>Mycobacterium sp.</i>	38	0.3
Sophorolipids	<i>Torulopsis bombicola</i>	33	ND
	<i>T. apiculata</i>	30	ND
Glycolipids	<i>Rhodococcus ruber</i>	26.8	54
Peptide lipid	<i>Bacillus licheniformis</i>	27	12-20
Serrawettin	<i>Serratia marcescens</i>	28-33	ND
Vicosin	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	26.5	150
Surfactin	<i>Bacillus subtilis</i>	27-32	23-160
Arthofactin	<i>Arthrobacter sp.</i>	24	ND
Sodium dodecyl sulfate (SDS)		37	2,120
Cetyltrimethyl ammonium Bromide (CTAB)		30	1,300
Tween 20		30	600
Linear alkylbenzene sulfonate		47	590
Triton X-100		31	120

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบความเป็นพิษ (Toxicity) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Ivshina และคณะ 1998)

ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	ค่าความเป็นพิษ IC ₅₀ of <i>Vibrio fischeri</i> (mg/l)
<i>Rhodococcus ruber</i> Glycolipid complex	650
<i>Rhodococcus erythropolis</i> Trehalose tetraester	286
Nonylphenol- (ethylenoxide) ₉ - acetate (EQ 9)	78
Sucrose stearate (DK50)	67
Finasol OSR-5	7
Corexit 9597	5
Inipol EAP 22	0.4

รายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารลดแรงตึงผิวในส่งเสริมการย่อยสลายคราบน้ำมัน ดังนี้

Olivera และคณะ (2000) พบว่า การบำบัดน้ำทิ้งท้องเรือซึ่งมีน้ำมันปนเปื้อนโดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์ดั้งเดิมในน้ำทิ้งท้องเรือ และ เติมน surfactin 4000 มก. ต่อลิตร ในน้ำทิ้ง 20 ลิตร พบว่า วัน จะสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนชนิด aliphathics และ aromatics ได้ 92 และ 93% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งใช้เวลานาน 20 วัน แต่ไม่สามารถเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายอัลเคนที่มีเป็นโซ่กิ่งชนิด C₁₇ pristane และ C₁₈ phytane ได้

Rahman และ คณะ (2003) รายงานว่าการเติม *Pseudomonas* Rhamonolipid เข้มข้น 4% (กรัม/กรัม) ในดินปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ ผสมกับตะกอนน้ำมันดิบ 10 % โดยเติมหัวเชื้อผสม (Consortium) ของแบคทีเรีย 5 ชนิด และเติมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม เข้มข้น 0.1 % พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลาย *n*-alkane จาก 20 เป็น 40 %

Van Hamme และ Ward (2001) ศึกษาการย่อยสลายน้ำมันดิบ โดยใช้เชื้อผสมของ *Pseudomonas* sp. A5-B45 และ *Rhodococcus* sp. F9-D75 โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว

สังเคราะห์ Igepal CO-630 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับค่า CMC 54 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายโดยเชื้อผสม จาก 13 เป็น 40 % ที่เวลา 10 วัน

Noordman และคณะ (2002) ได้รายงานการย่อยสลายเฮกซะเดคเคน โดย *Pseudomonas aeruginosa* สายพันธุ์ UG2 เมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิว 14 ชนิด rhamnolipid ซึ่งผลิตโดย Triton X-100 , Brij30, Tween 80 และอื่นๆ ที่ความเข้มข้น 100 มก.ต่อลิตร ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเฮกซะเดคเคน 0.05 % ที่เวลา 51 ชั่วโมง พบว่า แรมนโนลิพิดส่งเสริมการย่อยสลายเฮกซะเดคเคนได้ดีที่สุด และเมื่อใช้แรมนโนลิพิดที่ความเข้มข้น 500 มก.ต่อลิตร (สูงกว่าค่า CMC) พบว่าเชื้อสามารถย่อยสลายเฮกซะเดคเคนได้อย่างสมบูรณ์

Bruheim และคณะ (1997) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวหลายชนิด ต่อการส่งเสริมการย่อยสลายน้ำมันดิบโดยเชื้อ *Rhodococcus* sp. 094 พบว่า Tergitol 15-S-7, rhamnolipid และ trehalose triester มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการย่อยสลายใกล้เคียงกัน

Suchanek และคณะ 2000 ได้ศึกษาการเติม SDS ลงไปเพื่อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี Decane ($C_{10}H_{22}$) 1% เพื่อส่งเสริมของการเจริญเติบโตของ *Pseudomonas* sp. C12B พบว่าที่ความเข้มข้น 0.003-0.01% จะไม่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ

Van Hamme และ Ward (2001) ได้ศึกษาการเติมสารลดแรงตึงผิว Igepal CO-630 (nonylphenol ethoxylate) ต่อการย่อยสลาย Bow River Crude-oil โดยเชื้อ *Pseudomonas* sp. JA5-B45 และ *Rhodococcus* sp. F9-D79 พบว่า Igepal CO-630 ส่งเสริมการเจริญของ *Pseudomonas* แต่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Rhodococcus*

Bruheim และคณะ 1999 ได้ศึกษาผลการเติมสารลดแรงตึงผิว Tergitol 15-s-7 ,Span 20, Span 80, Tween 80, Tween 85, AOT และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 ต่อการย่อยสลายอัลเคนในน้ำมันดิบโดยเชื้อ *Acinetobacter calcoaceticus* ATCC 31012 พบว่า Corexit 9527 และ AOT ยับยั้งการเจริญของเชื้อและการย่อยสลายอัลเคนโดยวัดจาก Oxidation rate และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

Lindstrom และ Braddock 2002 ได้ศึกษาการใช้สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน Corexit 9500 ต่อการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำมันดิบ Alaskan North Slope เข้มข้น 0.1% ส่งเสริมการย่อยไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ในน้ำมันดังนี้ 2-methyl-naphthalene > dodecane > phenanthrene > hexadecane > pyrene

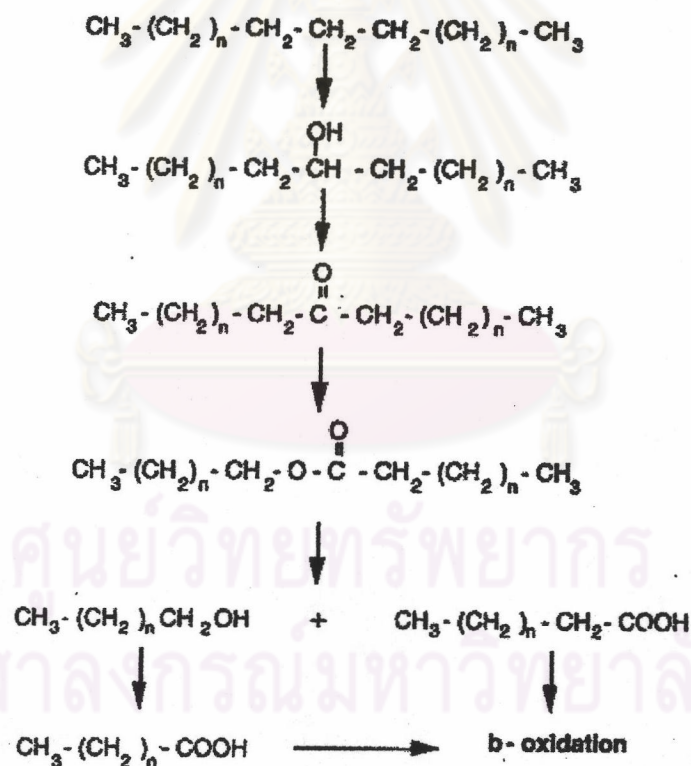
Edwards และคณะ 2003 ได้ศึกษาความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว และสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันต่อ กุ้งทะเล *Mysidopsis bahia* และปลาทะเล *Menidia beryllina* ที่เวลา 4 วัน พบว่า Triton X-100 มีค่าความเป็นพิษสูงสุด LD₅₀ เท่ากับ 3.8 และ 6.0 กรัมต่อลิตร Corexit 9500 มีค่า LD₅₀ เท่ากับ 20.9 และ 79.3 กรัมต่อลิตร Emulsan ที่ผลิตจาก *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 มีค่าความเป็นพิษต่ำ มี LD₅₀ มากกว่า 200 และ 345.3 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Haines และคณะ 2003 แห่งสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐฯ (USEPA) ได้กำหนดวิธีทดสอบมาตรฐานของผลิตภัณฑ์และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดคราบน้ำมันดิบทางชีวภาพ (bioremediation products) ที่ใช้กับแหล่งน้ำทะเลและน้ำจืดดังนี้ การทดสอบใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น 10³-10⁶ เซลล์ ต่อ มล. ปริมาณน้ำมันดิบเริ่มต้น 0.2-0.5 โดยปริมาตร (น้ำมันดิบหนักชนิด Alaskan North Slope) ระยะเวลาการทดสอบไม่น้อยกว่า 28 วัน และวิธีทดสอบปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ให้ใช้วิธี GC-MS หรือ GC-FID สำหรับประเทศไทยยังไม่ได้มีกำหนดมาตรฐานในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการกำจัดคราบน้ำมัน, สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9 กระบวนการย่อยสลายอัลเคนโดยแบคทีเรีย (Alkane Biodegradation)

กระบวนการย่อยสลายอัลเคนโดยจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยเริ่มต้นจากการเติมออกซิเจนเข้าที่ปลายสุด (Terminal) หรือส่วนปลาย (Subterminal) ของสายโซ่อัลเคนโดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์อัลเคนโมโนออกซิจีเนส (*n*-Alkane Monooxygenase) เปลี่ยนอัลเคนเป็นแอลกอฮอล์ (Alcohol) และจะถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นแอลดีไฮด์ (Aldehyde) โดยเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (Alcohol Dehydrogenase) จากนั้นถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) โดยเอนไซม์แอลดีไฮด์ดีไฮโดรจีเนส (Aldehyde Dehydrogenase) แล้วเข้าสู่วิถีเมตาบอลิซึมเบต้าออกซิเดชัน (β -oxidation) เกิดการย่อยสลายต่อไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ, กรดอินทรีย์ และส่วนประกอบของเซลล์แบคทีเรีย (Gottschalk, 1986; Kallio และคณะ, 1963)



รูปที่ 2.8 กระบวนการย่อยสลายอัลเคนโดยแบคทีเรีย

จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบและไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ (รวบรวมโดย Atlas (1984))

ตารางที่ 2.8 จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบและไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ

Bacteria	Fungi
<i>Achromobacter</i>	<i>Allescheria</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Actinomyces</i>	<i>Aureobasidium</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Botrytis</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Candida</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Cephalosporium</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Cladosporium</i>
<i>Beneckea</i>	<i>Cunninghamella</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Debaromyces</i>
<i>Coryneforms</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Erwinia</i>	<i>Gonytrichum</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Helminthosporium</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>Mucor</i>
<i>Lactobacillus</i>	<i>Oidiodendrum</i>
<i>Leucothrix</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Moraxella</i>	<i>Phialophora</i>
<i>Nocardia</i>	<i>Penicillium</i>
<i>Peptococcus</i>	<i>Rhodosporidium</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Rhodotorula</i>
<i>Sarcina</i>	<i>Saccharomyces</i>
<i>Spherotilus</i>	<i>Saccharomycopsis</i>
<i>Spirillum</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Streptomyces</i>	<i>Sporobolomyces</i>
<i>Vibrio</i>	<i>Torulopsis</i>
<i>Xanthomyces</i>	

การค้นพบแบคทีเรียทะเลที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบและปิโตรเลียม
ไฮโดรคาร์บอน

ตารางที่ 2.9 แบคทีเรียทะเลที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบและปิโตรเลียม
ไฮโดรคาร์บอน

แบคทีเรียทะเล	อ้างอิง
<i>Acinetobacter baumannii</i>	Mishra และคณะ 2001
<i>Alcanivorax borkumensis</i>	Yakimov และคณะ 1998; Wang และ Tan 2001
<i>Cycloclasticus pugetii</i>	Dyksterhouse และคณะ 1995
<i>Cytophaga marinoflava</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Exiguboacterium aurantiacum</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Flavobacterium okeanoikoites</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Flavobacterium salegens</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Flexibacter sp.</i>	Roling และคณะ 2002
<i>Halomonas eurihalina</i>	Calvo และคณะ 2002
<i>Marine eubacterial sp.</i>	Roling และคณะ 2002
<i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i>	Gauthier และคณะ 1992
<i>Neptunomonas naphthovorans</i>	Hedlund และคณะ 1999
<i>Planococcus alkanoclasticus</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Planococcus kocurii</i>	Machaughton และคณะ 1999
<i>Rhodococcus erythropolis</i>	Anonymous 1993

รายงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษา กระบวนการย่อยสลายอัลเคนและน้ำมันดิบโดยจุลินทรีย์

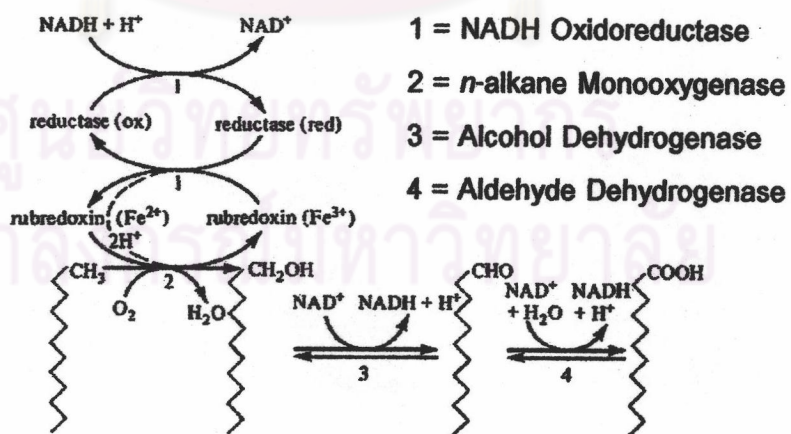
Grishchenkov และคณะ (2000) ศึกษาการย่อยสลายอัลเคนในดินที่ปนเปื้อนน้ำมันดิบ
ในสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน โดยเชื้อแบคทีเรีย nitrate reducer 2 สายพันธุ์ คือ
Pseudomonas sp. BS2201 และ *Brevibacillus sp.* BS2202 พบว่าภาวะที่มีออกซิเจน

(aerobic) สามารถย่อยอัลเคน C₁₀-C₃₅ ได้ 90-95 % ภายใน 10 วัน ส่วนสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนย่อยสลายได้เพียง 20-25 % ที่เวลา 50 วัน

Margesin และ Schinner (1997) รายงานว่า การเติมปุ๋ยไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ในอัตรา C:N:P เท่ากับ 50:5:1 ในการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันดีเซล สามารถเพิ่มอัตราการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จาก 30 เป็น 60 %

Santas และ Santas (2000) ได้ศึกษาผลของคลื่นต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบในน้ำผิวน้ำทางชีวภาพในระบบจำลอง พบว่า การเกิดคลื่นขนาดต่ำมีผลต่อการย่อยสลายน้ำมันดิบ มากกว่าภาวะที่มีคลื่นสูง และไม่เกิดคลื่นตามลำดับ

Van Beilen และคณะ (1994) ได้ศึกษาเอ็นที่เกี่ยวข้งกับการย่อยสลายอัลเคนในน้ำมันดิบของ *Pseudomonas oleovorans* สายพันธุ์ Gpo 1 พบว่าเอ็นที่เกี่ยวข้งการย่อยสลายอัลเคนชนิด C₅-C₁₂ ให้เปลี่ยนเป็น กรดไขมัน คือ เอ็น *alk B* ถอดรหัสเป็น alkane hydroxylase (หรือ alkane monooxygenase) เอ็น *alk G* ถอดรหัสเป็น rubredoxin (Fe²⁺) เอ็น *alk F* ถอดรหัสเป็น rubredoxin (Fe³⁺) และเอ็น *alk T* ถอดรหัสเป็น NADH-dependent rebredoxin reductase ซึ่งเอ็น *alk B* เป็นลำดับนิวคลีโอไทด์ที่พบได้ทั้งในแบคทีเรียแกรมลบ และแกรมบวก ใช้สำหรับใช้ศึกษาและคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายอัลเคนในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.9 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายอัลเคนโดยแบคทีเรีย

2.10 การวิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ

ไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบมีมากมายหลายชนิดและมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนแตกต่างกันไปตั้งแต่ C_1 - C_{70} ทำให้ไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นเทคนิคในการวิเคราะห์ที่เพียงวิธีใดวิธีหนึ่งจึงไม่สามารถใช้วิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนได้ทั้งหมด เพราะแต่ละวิธีจะมีลักษณะเฉพาะในด้านหลักการและความสามารถในการวิเคราะห์ ดังนั้นการเลือกวิธีที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนมีดังนี้ (Ocean Affair Board, 1975 อ้างถึงในเกศินี สรรวานิช, 2534)

2.10.1 เทคนิคการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric)

เป็นการหาปริมาณในรูปของน้ำมันและกรีซ (Oil & Grease) โดยการสกัดสารพวกน้ำมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ แล้วระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกหมดจึงชั่งน้ำหนักของน้ำมันส่วนที่เหลืออยู่ การวิเคราะห์โดยวิธีชั่งน้ำหนักนี้ เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 5-1,000 มก.ต่อลิตร เช่น น้ำทิ้งจากชุมชนเมือง และจากเรือ เป็นต้น

2.10.2 เทคนิคอุลตราไวโอเลตแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (UV Absorption Spectrophotometry, UVA)

เป็นเทคนิคที่ใช้หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนโดยการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนคลีนแสงอุลตราไวโอเลต (ที่ความยาวคลื่น 256 นาโนเมตร) ของสารตัวอย่าง และสารมาตรฐาน โดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน เทคนิคนี้เหมาะจะใช้กับตัวอย่างที่มีสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.10.3 เทคนิคฟลูออโรสเซนส์สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV Fluorescence Spectrophotometry, UVF)

เทคนิคนี้วัดค่าความเข้มฟลูออโรสเซนส์แทนการวัดค่าการดูดกลืนคลีนแสง โดยสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบอะโรมาติกเมื่อดูดกลืนคลีนแสงช่วงอุลตราไวโอเลต (310 นาโนเมตร) จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน เมื่อกลับลงสู่สภาวะเดิมจะมีการคายคลีนแสงฟลูออ

เรสเซนส์ที่มีความถี่เฉพาะออกมา โดยสารแต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานในการกระตุ้นและคลื่นแสงที่คายออกมาเฉพาะแตกต่างกัน เทคนิคนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับเทคนิคจุลทรรศน์อินฟราเรดแบบซอฟต์แวร์สเปกโตรโฟโตเมตรี แต่เทคนิคนี้将有ความไวต่อการวิเคราะห์มากกว่า

2.10.4 เทคนิคอินฟราเรดแบบซอฟต์แวร์สเปกโตรโฟโตเมตรี (IR Absorption Spectrophotometry)

เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรดของสารตัวอย่าง เทียบกับกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงความถี่ของ C-H stretching เทคนิคนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนต่ำๆ และสามารถวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่มีความเข้มข้นประมาณ 1 ppb ในตัวอย่างน้ำ 6 ลิตรได้

2.10.5 เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากทั้งในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ การวัดอาศัยเทคนิคในการแยกองค์ประกอบแล้วเปรียบเทียบเวลา และลักษณะของพีคในสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน เทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่ต้องการทราบถึงรายละเอียดลักษณะโครมาโตแกรมของสารไฮโดรคาร์บอน

2.10.6 เทคนิคไฮเพอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโตกราฟี (High performance Liquid Chromatography, HPLC)

เป็นเทคนิคหนึ่งของลิควิดโครมาโตกราฟีแบบคอลัมน์ที่ใช้ความดันช่วยทำให้เฟสที่เคลื่อนที่ไหลได้เร็วขึ้นได้เร็วโดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพของคอลัมน์ลดลง การวิเคราะห์ทางคุณภาพและปริมาณ สามารถทำได้แบบเดียวกับเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี โดยการเปรียบเทียบค่ารีเทนชันไทม์ และการวัดขนาดของพีคของสารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน

2.10.7 เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟ-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrophotometry, GC-MS)

เป็นเทคนิคที่สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างอย่างกว้างของสารไฮโดรคาร์บอน โดยสารตัวอย่างที่ถูกแยกเป็นองค์ประกอบย่อยจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ จะเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ที่ละองค์ประกอบ และจะถูกทำให้แตกออกเป็นส่วนย่อยๆ โดยกระแสอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง แมสสเปกตรัมที่ได้แสดงในรูป Relative Abundance กับ m/z ratio ซึ่งมีรูปแบบต่างๆกันในแต่ละสารประกอบ เทคนิคนี้มีกวีเคราะห์ควบคู่กับวิธีแก๊สโครมาโตกราฟเพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ทางคุณภาพ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 แสดงวิธีที่ใช้วิเคราะห์ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในแหล่งน้ำ

วิธี	ชนิดของสารที่วิเคราะห์	ปริมาณของน้ำตัวอย่าง(ลิตร)	ข้อดี	ข้อเสีย
ซั่งน้ำหนัก	สารที่ไม่ระเหยที่อุณหภูมิห้อง	1-4	วิธีวิเคราะห์ และเครื่องมือที่ง่ายและสะดวก	ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 0.3-0.5 มก.ต่อลิตร
UVA	คอนจูเกตโพลีอัลคีนอะโรมาติก	1	เหมาะกับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	ไม่ให้รายละเอียดของอัลเคน ความไวในการวิเคราะห์มีน้อยกว่า UVF
UVF	อะโรมาติกและไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว	1	เหมาะกับตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร	ไม่ให้รายละเอียดของอัลเคน
IR	อัลเคน, อะโรมาติก, เมทิล, เมทิลีน และคาร์บอนิล	1-4	ให้รายละเอียดหมู่ฟังก์ชันและการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว	ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 3 ไมโครกรัมต่อลิตร
GC	ชนิดของไฮโดรคาร์บอน, C อะตอม	1-20	การวิเคราะห์ให้ข้อมูลที่ที่น่าเชื่อถือ	เครื่องมือซับซ้อน และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง
GC-MS	ชนิดของไฮโดรคาร์บอน, C อะตอม	1-20	วิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดได้ถูกต้องและแน่นอน	เครื่องมือซับซ้อน และค่าใช้จ่ายสูงมาก
HPLC	อะโรมาติก	1-20	การเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก,ไม่ต้องใช้สารที่ระเหยได้	เครื่องมือซับซ้อน และค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ที่มา : Ocean Affair Board, 1975 อ้างถึงในเกศินี สรรวานิช, 2534