

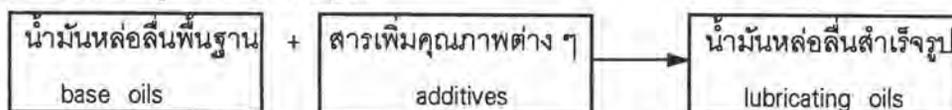
บทที่ 2

การสอบสวนเอกสาร

2.1 น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์

ASTM ได้ให้ความหมายคำว่า น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการหล่อลื่น ประกอบด้วย สารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งมีสารเติมแต่งที่เพิ่มสมรรถนะที่จำเป็น เป็นส่วนประกอบอยู่ ตามคำจำกัดความนี้ น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ต้องผลิตขึ้นจาก ปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น ซึ่งไม่เหมือนกับปิโตรเลียมที่ได้จากธรรมชาติ น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ เป็นโมเลกุลของสารที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อให้มีคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีเป็นไปตามวัตถุประสงค์การหล่อลื่น (โสมณ เริงสำราญ และคณะ, 2539)

น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์สำเร็จรูป มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์, สารเติมแต่ง เพื่อปรับปรุงคุณภาพบางชนิด และอาจมีสารที่เป็นพาหะของสารเติมแต่ง โดยสารที่เป็นพาหะนั้น ควรเป็น น้ำมันจากแร่ ซึ่งมีปริมาณไม่ควรเกิน 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ (โสมณ เริงสำราญ และคณะ, 2539)



ในการศึกษาครั้งนี้ จะกล่าวเฉพาะ * น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ * (ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สิ้นทรัพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร, 2532 ; Klamann และคณะ, 1984) ดังนี้

1. คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ จะต้องมียุทธศาสตร์ที่ดี ดังต่อไปนี้
 1. มีความหนืดหรือความข้นใสที่เหมาะสมกับการใช้งาน (optimum viscosity)
 2. มีค่าดัชนีความข้นใส (high viscosity index) น้ำมันเครื่องที่มีค่าดัชนีความข้นใสสูง จะช่วยรักษาค่าความหนืดไว้ได้ดีกว่า ซึ่งจะทำให้การหล่อลื่นมีประสิทธิภาพสูง เครื่องยนต์ติดง่าย
 3. มีคุณสมบัติในการชะล้าง (detergency) ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานมีการเผาไหม้ จึงทำให้เกิดคราบเขม่า ยางเหนียว เถ้า และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ติดเป็นคราบอยู่ตามชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ดังนั้น น้ำมันเครื่องที่ดี จะต้องช่วยชะล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ เหล่านี้ออกไปได้
 4. มีคุณสมบัติในการกระจายสิ่งสกปรก (dispersancy) เมื่อสิ่งสกปรกต่าง ๆ ถูกชะล้างด้วยน้ำมันเครื่องแล้ว ไหลลงมาในอ่าง น้ำมันเครื่อง จะต้องสามารถกระจายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ไม่ให้เกาะรวมตัวกันเป็นก้อนได้ เพราะอาจทำให้ท่อทางเดินน้ำมันเครื่องอุดตันได้ง่าย

5. มีสารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (anti oxidant) สารนี้จะช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันเครื่อง กับออกซิเจนในอากาศเกิดได้ช้าลง ถ้าไม่มีสารนี้ น้ำมันเครื่อง จะทำปฏิกิริยาดังกล่าวได้ง่าย และจะทำให้เกิดเป็นยางเหนียว (varnish) ทำให้ น้ำมันเครื่องมีความหนืดเพิ่มขึ้นได้

6. มีค่าความเป็นด่างที่เหมาะสม (total base number; TBN) จากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ กำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดกรดกำมะถันขึ้น ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนภายในเครื่องยนต์ น้ำมันเครื่องที่ดี จึงต้องมีค่าความเป็นด่างที่เหมาะสม ต้องทำลายกรดที่เกิดจากไอดี หรือไอเสียที่ลอดผ่านร่องแหวนลูกสูบลงไปในห้องเพลลาข้อเหวี่ยงได้

7. มีสารป้องกันการสึกหรอ (anti wear) สารนี้จะช่วยทำให้ฟิล์มของน้ำมันเครื่องคงทนต่อแรงเฉือนได้ดี ช่วยลดการสึกหรอตรงบริเวณวาล์ว และลูกเบี้ยวของเพลาลูกเบี้ยวได้

8. มีสารป้องกันการเกิดฟอง (anti foam) การเกิดฟองของน้ำมันเครื่องภายในห้องเพลลาข้อเหวี่ยงจะเกิดขึ้นมาก เนื่องจากความเร็วสูงของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบการหล่อลื่นลดลง สารป้องกันการเกิดฟอง จะช่วยทำให้ฟองอากาศละลายตัวได้ง่าย

9. มีสารป้องกันสนิม (anti rust) สารนี้จะช่วยให้น้ำมันเครื่อง เป็นตัวเคลือบไม่ให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำด้วยเหล็กเป็นสนิม ขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน ๆ

10. มีสารลดความฝืด (friction modifier) สารนี้จะช่วยเพิ่มความลื่นในน้ำมันเครื่อง ทำให้ความฝืดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ลดลง เป็นผลทำให้ ความร้อนในน้ำมันเครื่องลดลงไปด้วย และช่วยประหยัดการใช้เชื้อเพลิงได้ดีขึ้น

11. มีการระเหยตัวต่ำ (low volatility) น้ำมันเครื่องที่ดี จะต้องมีความดันไอสูง ทำให้เกิดการระเหยตัวต่ำ และทนต่อความร้อนสูง ๆ ได้ ไม่เกิดการเผาไหม้ได้ง่าย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความลื่นเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง ขณะเครื่องยนต์ทำงาน

12. มีจุดไหลเทต่ำ (low pour point) เพื่อที่จะนำน้ำมันเครื่องไปใช้งานในที่ ที่อุณหภูมิต่ำ

2. สารเพิ่มคุณภาพ สำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ จะต้องมียุทธศาสตร์ที่ดี ดังนี้

- ด้านทานการกัดกร่อน (corrosion inhibitor) - ช่วยชะล้างทำความสะอาด (detergent)
- กระจายเขม่าตะกอน (dispersant) - ด้านทานการสึกหรอ (anti wear agent)
- ด้านทานการเกิดฟอง (antifoamant) - เพิ่มค่าดัชนีความข้นใส (VI improver)
- ลดจุดไหลเท (pour depresant) - ด้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน (anti oxidant)

สรุปแล้ว น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ดี จะต้องมียุทธศาสตร์เพิ่มคุณภาพผสมอยู่ด้วย เพื่อเสริมให้น้ำมันนั้น มีคุณภาพสูงขึ้น และทำหน้าที่ต่าง ๆ ได้อย่างครบถ้วน ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ให้ยาวนานต่อไปอีก แต่ต้องมีการถ่ายน้ำมันเครื่องเก่า และเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ในระยะเวลาที่เหมาะสมด้วย

2.2 คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่ใช้ศึกษา

น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ โดย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis* มี 2 ชนิด คือ น้ำมันหล่อลื่น Esso ultron และ Castrol GTX ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

1. น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Esso ultron

เป็นน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ที่อยู่ในชั้นคุณภาพ API SG/CD SAE 20 w 50 จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปชนิดสารสังเคราะห์ พบว่า มีธาตุองค์ประกอบคือ Zn (0.083 เปอร์เซ็นต์), Mg (0.108 เปอร์เซ็นต์), Ca (0.28 เปอร์เซ็นต์), S (0.371 เปอร์เซ็นต์) และ P (0.095 เปอร์เซ็นต์) และการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไป พบว่า มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 83.55, ที่ 100 องศาเซลเซียส เท่ากับ 13.92, ค่าดัชนีความข้นใส หรือความหนืด (viscosity index) สูงถึง 172, จุดวาบไฟ (flash point) 230 องศาเซลเซียส, มีฟองเล็กน้อย (form) คือ sequence 1 = 5/0, sequence 2 = 20/0 และ Sequence 3=5/0 และมีน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจำพวกเอสเทอร์สังเคราะห์ และเมื่อมีการแยกสารเติมแต่ง (additives) ออกจากน้ำมันหล่อลื่นฐาน (lube base) โดยวิธีไดอะไลซิส (dialysis) ด้วยเฮกเซน พบว่า มีสารเติมแต่งโพลิเมอร์ (additive polymer) 3.09 เปอร์เซ็นต์, สารเติมแต่งในเมธานอล 4.09 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 91.66 เปอร์เซ็นต์ (โสภณ เริงสำราญ และคณะ, 2539)

2. น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ Castrol GTX

เป็นน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ที่อยู่ในชั้นคุณภาพ API SG/CD SAE 20 w 50 จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปชนิดสารสังเคราะห์ พบว่า มีธาตุองค์ประกอบ คือ Zn (0.102 เปอร์เซ็นต์), Mg (0.136 เปอร์เซ็นต์), Ca (0.104 เปอร์เซ็นต์), P (0.092 เปอร์เซ็นต์), Cu (0.006 เปอร์เซ็นต์) และ S (0.708 เปอร์เซ็นต์) และการวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไป พบว่า มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ ที่ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 162.82, ที่ 100 องศาเซลเซียส เท่ากับ 18.7, ค่าดัชนีความข้นใส หรือความหนืด เท่ากับ 130, จุดวาบไฟ 222 องศาเซลเซียส, การเกิดฟอง (0/0, 120/0, 0/0) และมีน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอยู่ในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturated hydrocarbons) น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ กำมะถัน (sulfur) มากกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าดัชนีความข้นใสตั้งแต่ 80 ขึ้นไป แต่น้อยกว่า 120 และเมื่อมีการแยกสารเติมแต่ง โดยวิธีไดอะไลซิส (dialysis) ด้วยเฮกเซน พบว่า มีสารเติมแต่งโพลิเมอร์ 2.23 เปอร์เซ็นต์, สารเติมแต่งในเมธานอล 11.21 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 86.56 เปอร์เซ็นต์ (โสภณ เริงสำราญ และคณะ, 2539)

2.3 พฤติกรรมของน้ำมัน

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการทางเคมี ภายภาพไปพร้อม ๆ กัน จากนั้น ก็เกิดกระบวนการทางชีวภาพตามมา กระบวนการดังกล่าว ทำให้เกิดพฤติกรรมต่าง ๆ ของน้ำมันในทะเล ได้แก่ เกิดการแพร่กระจาย การระเหย การเคลื่อนที่ตามลมพัดพา การละลาย การเกิดอิมัลชัน การตกตะกอน การสลายทางเคมี และการสลายทางชีวภาพในที่สุด น้ำมันจะมีพฤติกรรมอย่างไรขึ้นอยู่กับ ทิศทาง และความเร็วลม กระแสน้ำ อุณหภูมิ สภาพทางธรณีวิทยาของชายฝั่ง หรือพื้นที่ของทะเลบริเวณนั้น และลักษณะของทะเล ว่าเป็นทะเลเปิด หรือเว้าอ่าว เป็นช่องแคบ และที่สำคัญก็คือ ขึ้นกับ องค์ประกอบของน้ำมันเองด้วย ว่ามีจุดเดือดเท่าไร ง่ายต่อการระเหยมากน้อยเพียงใด ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1

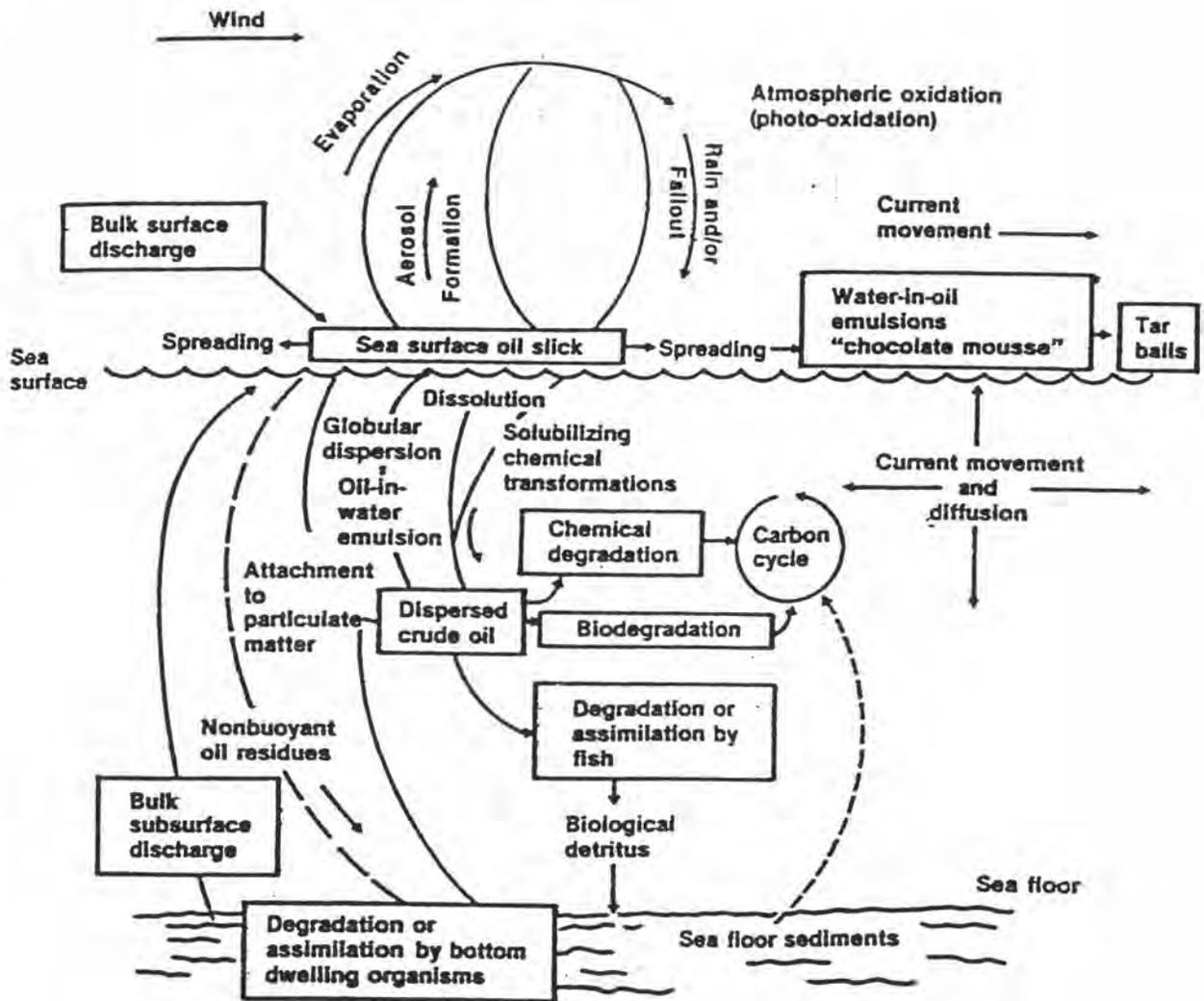
1. กระบวนการทางกายภาพและเคมี

1. การแพร่กระจายตัวของน้ำมัน (spreading)

เมื่อน้ำมันเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ จะเป็นคราบปกคลุมผิวน้ำ และถูกกระแสน้ำ คลื่นและลมพัดพาให้แผ่กระจายสู่บริเวณผิวน้ำใกล้เคียงในลักษณะวงกลมอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะ น้ำมันมีแรงตึงผิวมากกว่าน้ำ จึงทำให้คราบน้ำมันถูกแผ่กระจายออกเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ความหนาเฉลี่ย 1×10^{-4} เซนติเมตร ห่างจากจุดศูนย์กลาง 40 - 100 เซนติเมตรในเวลา 2 - 4 ชั่วโมง ต่อมาแผ่นฟิล์มบาง ๆ จะหายไปจากผิวน้ำ หากความเร็วลมสูง 4.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้แผ่นฟิล์มเหล่านี้ เคลื่อนที่ไปเร็วกว่าปกติ ซึ่งขอบเขตการแพร่กระจาย ขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบตามธรรมชาติของน้ำมันเอง ความหนาแน่น ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล คุณสมบัติของน้ำมัน ระยะเวลา และสภาพธรรมชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังถูกจำกัดด้วย อัตราการระเหย เมื่อมีการระเหยไปในอากาศ คราบน้ำมันจะชั้นขึ้น และแพร่กระจายน้อยลง หากมีคลื่นแรงพอจะเกิดเป็นอิมัลชัน ขึ้นอยู่กับ ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล คุณสมบัติของน้ำมัน ระยะเวลา และสภาพธรรมชาติ เป็นต้น โดยพบว่า น้ำมัน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างกว่า 1 กิโลเมตร บางส่วนละลาย และเกิดเป็นอิมัลชันในน้ำได้ลึก 1 เมตร และอยู่ได้เป็นเวลาหลายสัปดาห์ (Parker, Freegard และ Hatchard, 1973) และน้ำมันที่มีความหนืดสูง และค่อนข้างหนัก จะแพร่กระจายไปบนผิวน้ำได้ช้ากว่า น้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำ ๆ

2. การระเหย (evaporation)

น้ำมันเป็นสารผสม ที่ประกอบด้วยสารที่มีความสามารถในการระเหยต่างกัน โดยจะเกิดขึ้นทันทีที่มีการรั่วของน้ำมันเช่นเดียวกับ การแพร่กระจายบนผิวน้ำ กล่าวคือ สารที่กลายเป็นไอได้ง่ายที่สุดคือ อัลเคน และสารอะโรมาติกน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ซึ่งจะระเหยได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง สารที่ระเหยช้าจะคงอยู่ได้นาน ในที่สุดก็จะเหลือสารที่ไม่ระเหย ณ อุณหภูมิในขณะนั้น และสารเหล่านี้ก็จะถูกพัดพา



รูปที่ 2.1 พฤติกรรมของน้ำมันเมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ

ที่มา : Parker , Freegard และ Hatchard , 1973

มาสู่ฝั่ง กลายเป็นน้ำมันดิน ตัวอย่างเช่น น้ำมันเบา (light oil) จะระเหยได้เร็วกว่าน้ำมันหนัก (heavy oil) คือ ไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนต่ำกว่า 15 อะตอม (จุดเดือดต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส) จะระเหยไปจากผิวน้ำภายใน 2 - 3 วัน ทำให้น้ำมันสูญหายไป 25 - 30 เปอร์เซ็นต์ (Parker และคณะ, 1973) ส่วนพวกที่มีคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง 15 - 25 อะตอม (จุดเดือดอยู่ระหว่าง 250 - 400 องศาเซลเซียส) จะระเหยได้เพียงเล็กน้อย ส่วนพวกสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 25 อะตอม (จุดเดือดสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส) แทบไม่มีการระเหย แต่ทั้งนี้ ก็ขึ้นอยู่กับ ความดันไอของ น้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำมันเบนซินจะระเหยไปได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 7 - 8 นาที ส่วนน้ำมันดิบใช้เวลาถึง 12 ชั่วโมง จะระเหยได้ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล นอกจากนี้ ก็ขึ้นอยู่กับ ความเร็วลม ถ้าความเร็วลมสูงจะระเหย ในรูป aerosol เพิ่มขึ้น ละอองน้ำที่เกิดบริเวณยอดคลื่น ปริมาณแสงแดด ความหนาของชั้นน้ำมัน องค์ประกอบในน้ำมัน ลักษณะอากาศที่แปรปรวน และการเพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้น้ำมันระเหยได้มากขึ้น (สมรัตน์ ยินดีพิธ, 2533)

3. การละลาย (solution)

เมื่อน้ำมันรั่วออกมาจะไม่อยู่เฉพาะบนผิวน้ำเท่านั้น แต่จะระเหยไปอยู่ในชั้นน้ำข้างล่าง ตามแนวตั้งด้วย ซึ่งน้ำมันปิโตรเลียมแต่ละชนิด จะมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้แตกต่างกัน กลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และพบว่า สารอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่า สารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรง น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีพิษสูง จะกระจาย และเจือจางในน้ำได้เร็ว ความสามารถในการละลายน้ำของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แสดงในตารางที่ 2.1 โดยค่าความสามารถในการละลาย ที่แสดงในตาราง เป็นค่าที่ได้จากการละลายในน้ำกลั่น (Ocean Affairs Board, 1973) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับ จำนวนอะตอมของคาร์บอน โครงสร้างของโมเลกุล ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ อิทธิพลของกระแสลม สภาพของแหล่งน้ำ และการสลายตัวของสารไฮโดรคาร์บอนทางเคมี และชีวภาพ มีส่วนสำคัญด้วย เช่น ปฏิกริยาออกซิเดชัน จะให้สารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้สูง (Parker และคณะ, 1973)

4. การเกิดอิมัลชัน (emulsification)

การผสมของน้ำมัน และน้ำ มีอยู่ 2 รูปแบบคือ น้ำมันในน้ำ (oil in water) ประกอบด้วยน้ำ เป็นส่วนใหญ่ และมีน้ำมันกระจายอยู่ในน้ำ ลักษณะเป็นหยด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมโครเมตร มีขนาดอนุภาคของน้ำมันตั้งแต่ 5 ไมโครเมตรไปจนถึงหลายมิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของคลื่น และกระแสน้ำ สามารถกระจายไปได้ไกลเกินกว่า 200 กิโลเมตร ส่วนน้ำในน้ำมัน (water in oil) ประกอบด้วยน้ำประมาณ 70 - 80 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมัน จะเกิดขึ้นบริเวณผิวน้ำที่มีคราบน้ำมันลอยอยู่เป็นชั้นค่อนข้างหนา เป็นเวลาหลายวัน หรือเมื่อทำความสะอาดถึงน้ำมัน ซึ่งมักเป็นน้ำมันที่มีโมเลกุลค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลายน้ำของสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิห้อง

ชนิดของสารไฮโดรคาร์บอน	ความสามารถในการละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
สารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว	
นอร์มัล - เพนเทน (n - C ₅)	40.000
นอร์มัล - เฮกเซน (n - C ₆)	10.000
นอร์มัล - เฮปเทน (n - C ₇)	3.000
นอร์มัล - ออกเทน (n - C ₈)	1.000
นอร์มัล - ไดเดคเคน (n - C ₁₂)	0.010
นอร์มัล - ตระคะคอนเทน (n - C ₃₀)	0.002
สารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวเป็นรูปวงแหวน	
เบนซีน (benzene)	1,800.000
โทลูอีน (toluene)	500.000
ไซลีน (xylene)	175.000
อัลคิลเบนซีน (alkylbenzene)	50.000
แนพธาซีน (naphthalene)	32.000
แอนทราซีน (anthracene)	0.075
ฟรีแนนทรีน (phenanthrene)	1.000
ไครซีน (chrysene)	0.002

ที่มา: Ocean Affairs Board, 1973

ค่าความสามารถในการละลายที่แสดง ในตารางที่ 2.1 เป็นค่าที่ได้จาก การละลายในน้ำกลั่น ความสามารถในการละลายน้ำทะเลนั้น จะน้อยกว่าในน้ำกลั่น อยู่ประมาณ 12 - 30 เปอร์เซ็นต์

หรือ residue oil จะมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็ง เรียกว่า chocolate mousse ซึ่งสามารถคงอยู่ได้เป็นเดือน ๆ และกลายเป็นน้ำมันดิน (oil ball) ที่ค่อนข้างอยู่คงตัว (Parker และคณะ, 1973 ; สมรัตน์ ยินดีพิธ, 2533)

5. การเกิดน้ำมันดิน (tar)

น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจนเพียงเล็กน้อย หรือไม่มีเลย จะไม่เกิดน้ำมันดิน แต่โดยทั่วไป ปริมาณน้ำมันดิน จะเกิดขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล หากเป็นบริเวณที่มีกระแสเชี่ยว หรือรุนแรง จะทำให้ดินแตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และกระจายอยู่ในน้ำ ในระดับความลึกต่าง ๆ แล้วตกตะกอน เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันดิน เป็นสารพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงสามารถจมลงสู่ท้องน้ำ และทับถมในชั้นดินตะกอน เรียกว่า ตะกอนดินน้ำมัน (tar ball หรือ oil ball) อีกส่วนหนึ่งจะถูกพัดเข้าสู่ฝั่ง ทำให้ชายฝั่งสกปรก พื้นดิน ไซดหิน และในทะเลบริเวณที่มีน้ำมันดินปนเปื้อน เมื่อได้รับแสงแดด อุณหภูมิจะสูงกว่าบริเวณอื่น

6. การตกตะกอน (sedimentation)

เมื่อน้ำมันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก การระเหย การละลายขององค์ประกอบที่เบากว่า การรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะ ในทะเลที่มีคลื่นจัด น้ำมันอาจถูกดูดซับผสมกับสารแขวนลอยต่าง ๆ แล้วถูกพาลงสู่ก้นทะเล น้ำมันที่ยังคงอยู่ หลังจากมีบางส่วนระเหยไปบ้างแล้ว ก็อาจหนาแน่นพอจะจมตัวลงสู่ก้นทะเลได้เอง แล้วน้ำมันเหล่านี้ก็จะรวมตัวเป็นส่วนหนึ่งของตะกอนก้นทะเล สำหรับการสลายทางชีวภาพของตะกอนนั้น เกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก

7. ปฏิกริยาโฟโตออกซิเดชัน (photo oxidation)

เป็นปฏิกริยาเริ่มแรก ในกระบวนการสลายตัวของน้ำมัน โดยจะเกิดการ oxidation ที่ผิวของน้ำมัน จะทำปฏิกริยากับอากาศ โดยมีเกลือแร่ (mineral salt) ในน้ำทะเล และรังสีอุลตราไวโอเล็ตในแสงอาทิตย์ เป็นตัวเร่งปฏิกริยา สารไฮโดรคาร์บอนส่วนใหญ่ วัตถุประสงค์การถูกออกซิเดชันด้วยออกซิเจน และรังสีอุลตราไวโอเล็ตในแสงอาทิตย์ แผ่นคราบน้ำมันที่แผ่ออกเป็นวงกว้าง มีพื้นที่ผิวของน้ำมันสัมผัสกับอากาศ และแสงอาทิตย์มาก ก็เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันได้สูง สารที่เกิดจากปฏิกริยาออกซิเดชันเหล่านี้ จะสามารถละลายน้ำได้สูง และแยกตัวออกไปจากคราบน้ำมัน ส่วนที่เหลือซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ก็จะเป็นยางเหนียว ๆ และเกิดอิมัลชันในที่สุด แผ่นฟิล์มบาง ๆ ของคราบน้ำมันจะถูกออกซิไดซ์ได้เร็วกว่าคราบหนา เหนียว ในขณะที่เดียวกันถ้าน้ำมันตกลงไป และรวมตัวอยู่ในตะกอน ก้นทะเลลึกกว่า 2 - 3 เซนติเมตรลงไป ปฏิกริยาออกซิเดชัน ก็จะไม่เกิดขึ้นเลย สารที่เกิดจาก การสลายตัวทางเคมีส่วนใหญ่เกิดจากสารอะโรมาติก และสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ โดยสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยแสงอาทิตย์ได้เร็วกว่า พวกอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน และอะลิฟาติกชนิดที่โครงสร้างโมเลกุลมีกิ่งสาขา จะถูกสลายตัวได้เร็วกว่าชนิดที่เป็นโซ่ตรง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกริยานี้ ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก อัลกอฮอล์ คีโตน และฟีนอล ซึ่งสามารถละลาย และเจือจางในน้ำทะเลได้อย่างรวดเร็ว ส่วนที่เหลือจะเป็นสารประกอบที่เหนียวข้น และกลายเป็นน้ำมันดินในที่สุด

2. กระบวนการทางชีวภาพ

1. การสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ (biodegradation)

แบคทีเรีย และยีสต์จำนวนมากสามารถสลายสารไฮโดรคาร์บอน และอนุพันธ์ได้ ในอัตราที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิด และปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอน ที่เป็นองค์ประกอบ ในน้ำมัน ชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการดำรงชีวิต และพบได้ทั้งในน้ำตั้งแต่กันทะเลถึงผิวน้ำ สารอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสตลอดทั้งสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเค็ม คลื่น และ แสงแดด ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการสลายทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

สำหรับกลไกในการสลายตัวของน้ำมันโดยจุลินทรีย์นั้น จะแตกต่างกันไป ตามชนิดของไฮโดรคาร์บอน ตัวอย่างเช่น การสลายของสารอะโรมาติก และอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน พบว่า ในระยะแรก สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไดออล จากนั้น จะมีการแตกของวงแหวน ได้เป็นกรด และอัลดีไฮด์ ตามลำดับ โดยปกติเอนไซม์ของแบคทีเรีย จะย่อยสลายพันธะของสารอะโรมาติก โดยแทรกออกซิเจนอะตอมเข้าที่พันธะ C - H ของวงแหวนอะโรมาติกที่มีคาร์บอนอะตอมติดกันแบบ ortho แล้วพันธะ C - C ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซีจะแตกออก ส่วนวงแหวนที่กลุ่มคาร์บอกซิล (COOH) ร่วมกับกลุ่มไฮดรอกซี ที่มีความสัมพันธ์แบบ ortho เอนไซม์ของแบคทีเรียจะย่อยสลาย ส่วนสารพวกอัลเคน จะถูกออกซิไดซ์ เป็นอัลกอฮอล์ และกรดไขมัน ซึ่งจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโต และให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จุลินทรีย์เหล่านี้ ได้แก่ *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Nocardia* เป็นต้น (Geyer, 1980)

2. การดูดซับและการสะสมโดยสิ่งมีชีวิต (uptake and accumulation by organisms)

สารไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันที่สามารถเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ จะอยู่ในลักษณะต่าง ๆ คือ ในรูปของสารละลาย คราบน้ำมันที่ลอยอยู่ผิวน้ำ อนุภาคที่กระจายในน้ำ และในรูปของตะกอน เป็นต้น โดยมีการถ่ายเทเข้าสู่อาหาร

2.4 ผลกระทบของน้ำมันต่อสิ่งแวดล้อม

เมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดผลกระทบ หรือก่อให้เกิดความเสียหาย ในด้านเศรษฐกิจ และสังคม ด้านระบบนิเวศน์ และทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ตลอดทั้งสภาพแวดล้อม ทั้งในระยะสั้น และระยะยาว โดยระดับความรุนแรง จะขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลายด้าน คือ

- 1) ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล
- 2) ชนิดของน้ำมัน

- 3) ระยะเวลาที่น้ำมันอยู่ในแหล่งน้ำ
- 4) ชนิด และความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
- 5) สภาพทางอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ของแหล่งน้ำ
- 6) ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

1. ผลกระทบทางด้านกายภาพ

เมื่อน้ำรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ น้ำมันจะลอยอยู่บนผิวน้ำ เนื่องจากความต้วงจำเพาะ (specific gravity) ของน้ำมันจะต่ำกว่าน้ำ ดังนั้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นในเบื้องต้น ได้แก่ ผลกระทบทางด้านกายภาพ ซึ่งได้แก่

1. แสงอาทิตย์ส่องผ่านลงสู่ท้องน้ำไม่ได้

น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะบดบัง หรือกั้นแสงอาทิตย์ ไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำได้ สะดวก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ และแพลงตอนพืชได้ จากการทดลอง โดยใช้น้ำมันชนิด Kuwait crude oil ให้มีความหนา 0.76 เซนติเมตร ในบ่อทดลอง พบว่ากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Enteromorpha* จะหยุดลงภายในวันที่ 4 ที่น้ำมันลอยบนผิวน้ำ (Venkatesh, 1979)

2. ปริมาณออกซิเจนละลายลดลง

เนื่องจากน้ำมัน จะทำหน้าที่คล้ายกับ แผ่นหรือเกาะกำบัง (physical - barrier) ระหว่างน้ำกับอากาศ ซึ่งจะมีผลทำให้ แก๊สออกซิเจนจากอากาศ ไม่สามารถละลายลงสู่ใต้น้ำได้ จากการทดลอง ข้างต้น พบว่า ภายในวันที่ 3 ที่น้ำมันลอยบนผิวน้ำ ค่าอัตราการแพร่ของออกซิเจนละลายน้ำ ที่ระดับความลึก 1 - 2 เซนติเมตร ที่วัดโดยใช้เพลทตินั่มคาโทด (platinum cathod) มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงให้เห็นว่า ออกซิเจนไม่สามารถผ่านชั้นของน้ำมันลงสู่ใต้น้ำได้ บริเวณที่มีน้ำมันปกคลุม หนากว่า 1 มิลลิเมตร ทำให้การแลกเปลี่ยนอากาศได้ผิวน้ำลึก 17 มิลลิเมตร มีน้อยลง โดยพบว่า ออกซิเจนละลายลดลง 27 เปอร์เซ็นต์ (Atlas และ Bartha, 1972)

3. ความร้อนของน้ำสูงขึ้น

น้ำมันชนิดที่มีสีทึบ เช่น น้ำมันดิบ น้ำมันเตา เป็นต้น จะสามารถดูดกลืนความร้อน (heat absorption) จากแสงอาทิตย์ได้ดีกว่า น้ำมันที่มีสีจางกว่า เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล เป็นต้น จากการทดลอง โดยการเอาน้ำมันดิบชนิด Kuwait crude oil และ น้ำมันเบนซิน (gasoline) มาใส่ในบ่อทดลอง ภายใต้สภาพอากาศเดียวกัน พบว่า อุณหภูมิของน้ำมันดิบสูงขึ้นจาก 34 องศาเซลเซียส เป็น 45 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 4 ชั่วโมง ขณะที่น้ำมันเบนซิน มีอุณหภูมิไม่แตกต่างไปจากอุณหภูมิของน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ (McAuliffe, 1963)

2. ผลกระทบทางด้านชีวภาพ

2.1 ผลกระทบที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

ความเป็นพิษของน้ำมัน ขึ้นกับชนิด และสัดส่วนของสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และอัลเคนที่มีอยู่ รวมทั้งความคงทนของน้ำมันที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม หรือความไวต่อการระเหย ระดับความเป็นพิษอาจลดลง จากการระเหย การแพร่กระจาย และการเจือจางในน้ำทะเล นอกจากนี้ ยังพบว่า น้ำมันที่ระเหยได้ง่าย จะมีพิษสูง โดยมีผลต่อการยับยั้งการหายใจ ส่วนน้ำมันที่ระเหยได้ยาก เช่น สารโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ก็เป็นสารก่อมะเร็งอย่างแรง แม้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย และอาจมีผลต่อการกลายพันธุ์ นอกจากนี้ สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันก็มีปฏิกิริยาต่อความเป็นพิษของน้ำมันต่างกัน กล่าวคือ น้ำมันชนิดที่ฆ่าทำลายสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง อาจมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ สำหรับภายในชนิดเดียวกัน ระยะเวลาเจริญเติบโต ในวงจรชีวิต เช่น เป็นไข่ ตัวอ่อน หรือภาวะกำลังสร้างขนใหม่ ก็จะมีควมไวต่างกันต่อความเป็นพิษที่ระดับเดียวกัน ตัวอย่างเช่น การศึกษาพิษของน้ำมันดิบ ที่มีผลต่อไข่ของปลาเฮอริง พบว่า ตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำ ที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ จะมีการเคลื่อนไหวมากและอัตราการเต้นของหัวใจค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำธรรมดา จะมีการเคลื่อนไหวน้อยกว่า ตัวอ่อนในน้ำมัน แต่มีอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น จนกระทั่งไข่ฟักตัว และสามารถฟักตัวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไข่ปลาที่อยู่ในน้ำ ที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร ฟักตัวได้เพียง 91 เปอร์เซ็นต์ และตัวอ่อน จะตายประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ผิดปกติ 77 เปอร์เซ็นต์ เป็นปกติเพียง 11 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (Buchanan และ Gibbons, 1974) นอกจากนี้ น้ำมัน ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 มิลลิลิตรต่อลิตร ยังทำให้ลูกปลาเฮอริงในทะเลตาย ภายในเวลา 48 ชั่วโมง (Koneman, และคณะ, 1983)

2.2 ผลกระทบจากความเป็นพิษของน้ำมัน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ

ระดับแรก ความเป็นพิษจากการที่น้ำมันมาเคลือบคลุมสิ่งมีชีวิต ทำให้หายใจไม่ออก เคลื่อนไหว หากินไม่ได้ ซึ่งมีผลกระทบสูงมากต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่กับที่ ที่อาศัยอยู่ในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง เช่น เพรียง หอยบางชนิด ตลอดจนสัตว์อื่น ๆ ที่มีพื้นผิวหนังงายต่อการถูกเคลือบคลุม เช่น การเคลือบคลุมเกาะติดขนนกของน้ำมัน และน้ำมันดิบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การทดลองใช้น้ำมัน cook inlet ทดลองกับสัตว์น้ำประเภทต่าง ๆ พบว่า ปลาฉิวน้ำและกุ้ง ถ้าได้รับสารนี้ปริมาณระหว่าง 1 - 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินกว่า 96 ชั่วโมง จะเป็นอันตรายถึงชีวิต ส่วนสัตว์หน้าดิน เช่น ปลาขนาดเล็ก ปู และหอยแครง หากได้รับระหว่าง 3 - 8 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิน 96 ชั่วโมง จะเป็นอันตรายถึงชีวิตเช่นกัน และมีผลกระทบต่อแหล่งอาหาร และวางไข่ของสัตว์น้ำด้วย (McAuliffe, 1963)

เมื่อมีการทำความสะอาดน้ำมัน จะมีการใช้สารเคมีกำจัดน้ำมันบริเวณชายฝั่ง ร่วมกับการชูด สูด และเผา ทำให้น้ำมันบางส่วนจมลงบริเวณน้ำตื้น เป็นอันตรายต่อสัตว์หน้าดิน เช่น หอย ปู กุ้ง เป็นต้น ตัวอย่างเช่น กรณีอุบัติเหตุ เรือทอร์รี่ แคนยอนชนหินโสโครกอัปปาง ได้มีการใช้สารเคมี

กำจัดน้ำมันกว่า 11 ล้านแกลลอนที่รั่วไหลลงสู่อ่าวในอลาสกา ประเทศสหรัฐอเมริกา พวกสารเคมีที่ใช้จะจับตัว เป็นอิมัลชันทำลายไข่ปลา และแพลงตอน และสารเคมี BP 1002 ที่ความเข้มข้น 5 - 25 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นพิษต่อสัตว์เปลือกแข็งหลายชนิด เช่น หอยชายฝั่งทะเล สาหร่ายทะเล และที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนเพรียง ส่วนที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้หอยขนาดเล็กตายทันที เมื่อเวลาผ่านไปหลายชั่วโมง (Duckworth, 1963; Smith- Welson, 1973) และการที่นกทะเลสามารถกินน้ำมันเข้าไปได้ก็ตาม แต่การที่มันไคร้ขน ที่มีคราบน้ำมันเคลือบติดอยู่ ทำให้มันได้รับพิษของน้ำมัน เช่น นกทะเลที่ถูกน้ำมันจับตามขนจะไม่สามารถบินได้ และลำตัวนกก็ไม่อาจรักษาอุณหภูมิไว้ได้ นกที่รอดชีวิต เมื่อออกไป จะมีเปลือกไขที่บาง หรือไม่สามารถกกไข่ได้ เนื่องจากเจ็บบริเวณอก ทำให้ไม่สามารถฟักออกมาเป็นตัว ลูกนกที่ถูกฟักเป็นตัวจะไม่แข็งแรงและล้มตายในที่สุด นกทะเลที่ถูกน้ำมันคลุมตามตัว มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว หรือกินน้ำมันโดยตรง จะมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1/3 - 1/2 ปี แต่โดยปกติ จะพบว่า จมน้ำตายเป็นส่วนใหญ่ (Smith - Welson, 1973) มลพิษเรื้อรัง ที่เพิ่มในระดับต่ำตลอดเวลาก็มีอันตรายเช่นกัน ดังที่มีนกทะเลตายเป็นปริมาณมากถึง 150,000 - 450,000 ตัวต่อปี ที่เกาะอังกฤษจากมลพิษน้ำมันในทะเลเหนือ และตอนเหนือของทะเลแอตแลนติก (Smith - Welson, 1973)

ระดับที่สอง ผลกระทบของความเป็นพิษระดับรบกวนเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เนื่องจาก การได้รับสารไฮโดรคาร์บอนในระดับความเข้มข้นที่สูง พอเข้าไปในเนื้อเยื่อ ทั้งโดยการกิน การสลายตัวของน้ำมัน ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ตามปกติของสิ่งมีชีวิต โดยสารไฮโดรคาร์บอนจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ถูกรบกวน สูญเสียการควบคุมการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายใน และภายนอกเซลล์ที่เหมาะสม ในกรณีรุนแรง ผนังเซลล์อาจแตก ทำให้สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ไหลออกมา เป็นการทำลายเซลล์อย่างรุนแรง ตัวอย่างเช่น สารไฮโดรคาร์บอนที่ละลายในน้ำได้มาก จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ผนังเซลล์สูญเสียธาตุโปตัสเซียม และแมงกานีส

ในกรณีเมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมัน ในบริเวณใกล้กับป่าชายเลน น้ำมันอาจจะไปปิดกั้นรูเปิดในการหายใจของรากต้นไม้ ในป่าชายเลน และรบกวนสภาพสมดุลของเกลือ ระบบรากของต้นไม้โกงกาง โดยเฉพาะ lenticle ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจถูกทำลาย โดยการแทรกซึมของน้ำมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทำให้ต้นไม้โกงกางตาย และหากมีการตกค้างของน้ำมันในตะกอนดิน จะทำให้เมล็ดของต้นไม้โกงกางที่ร่วงหล่นมาที่พื้นป่า ไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นไม้โกงกางได้

การศึกษาความเป็นพิษ โดยการหาความเข้มข้นที่ทำให้สิ่งมีชีวิตที่ต้องการทดสอบ ตาย 50 เปอร์เซ็นต์ (Lethal Dose) (LD₅₀) เช่น LD₅₀ ของเบนซินต่อปลาหลายชนิด (ส่วนใหญ่ปลาที่ทดสอบอยู่ในน้ำจืด) อยู่ระหว่าง 10 - 40 มิลลิกรัมต่อลิตร LD₅₀ ของโทลูอีน (toluene) และไซลีน (xylene) อยู่ระหว่าง 50 - 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสหรัฐอเมริกา พบว่า ปลาน้ำจืด เกิดการระคายเคืองภายในช่อง

ห้องเมื่อทดสอบกับสารปราบศัตรูพืชผสม ร่วมกับอะโรมาติก ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นไฮลีนความเข้มข้น 150 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ในพื้นที่แถบชายฝั่ง สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น แมวน้ำ และสัตว์เลื้อยคลาน เช่น เต่า จะมีความอ่อนแอเป็นพิเศษต่อผลจากการปนเปื้อนของน้ำมัน เพราะพวกนี้ต้องขึ้นมาหายใจที่บริเวณพื้นผิว และขึ้นจากน้ำมาสืบพันธุ์วางไข่ (ITOPF, 1991) และผลของน้ำมันต่อปะการัง (corals) และสัตว์พวก fauna ที่อาศัยอยู่ร่วมกันในพื้นที่ จะมากหรือน้อย ขึ้นกับ สัดส่วนความเป็นพิษในองค์ประกอบของน้ำมัน และสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนืดของน้ำมัน เป็นต้น โดยจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการสืบพันธุ์ การสร้างพฤติกรรมที่ผิดปกติ การเจริญเติบโตลดลงถึงหยุดชะงัก โดยส่วนใหญ่เป็นผลที่เกิดขึ้นชั่วคราว แต่ผลที่เกิดข้างเคียงต่อสัตว์ที่อาศัยในแนวปะการังนี้จะมีมาก ตั้งแต่การทำให้สัตว์มีเนมา จนอาจถูกกวาดออกไปโดยคลื่น และกระแสน้ำ ทำให้ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ สำหรับพิษของน้ำมันที่เกิดขึ้นโดยตรงต่อมนุษย์มีน้อยมาก โดยน้ำมันมีองค์ประกอบบางชนิด เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) โดยเฉพาะสารไฮโดรคาร์บอน ที่ส่งผลในระยะยาว มักทำให้ระบบนิเวศน์เป็นแหล่งสะสมสารพิษ สิ่งมีชีวิตที่ทนต่อสารพิษสามารถอาศัยอยู่ได้ แต่ยอมให้เกิดการสะสม และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (Smith - Welson, 1973)

น้ำมัน > แพลงตอน > สัตว์เล็ก ๆ > ปลา > มนุษย์

แต่อย่างไรก็ตาม อาหารทะเลที่มนุษย์บริโภคนั้น หากมีสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 200 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลต่อรสชาติหรืออาจสังเกตเห็นได้ ทำให้คนสามารถหลีกเลี่ยง โดยไม่รับประทานได้ หากรับประทานเข้าไป ก็จะได้รับพิษนั้น แต่สารไฮโดรคาร์บอนบางชนิด เมื่อผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมหลายครั้ง อาจเกิดเป็นสารพิษได้ เช่น พวกนอร์มัลพาราฟิน ซึ่งโดยปกติ ไม่เกิดเป็นอันตรายต่อมนุษย์ แต่เมื่อผ่านวงจรอาหารหลายชั้น จะเกิดอนุพันธุ์ที่เป็นอันตรายได้ (Smith - Welson, 1973)

แนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอน จะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนั้น ๆ สูงขึ้น ดังนั้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพิษมากที่สุด คือ สารอะโรมาติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ เช่น เบนซิน และโทลูอิน อะลิฟาติก เช่น ไฮโคลอัลเคน โอลิฟิน และอัลเคน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นพิษน้อยที่สุด คือ อัลเคนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ ถึงแม้ว่าจะมีอันตรายน้อยต่อสัตว์ แต่ปัจจุบัน เป็นที่ทราบกันว่า สามารถเป็นเหตุให้เกิดอาการมีเนมา หมดความรู้สึกได้ในสัตว์ชั้นต่ำหลายชนิด (Kornberg, 1981)

3. ผลกระทบต่อแหล่งทรัพยากรธรรมชาติและ การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ

เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้น ที่สืบเนื่องมาจาก ผลกระทบทางด้านกายภาพ และชีวภาพ เนื่องจาก การคงอยู่ หรือการตกค้างของน้ำมันในแหล่งน้ำ มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำของมนุษย์อย่างยิ่ง กล่าวคือ เมื่อน้ำมันที่รั่วไหล และตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำ จะทำให้คุณภาพน้ำบริเวณนั้นต่ำลง ทำลายระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ ทำลายความงาม สุขุขุภาพของชายหาด และแหล่งพักผ่อน

หย่อนใจ โดยการไปกำจัด หรือลดปริมาณประชากรของสัตว์น้ำบางชนิดลง ทำลายการประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปลา หอย เป็นต้น เพราะเมื่อน้ำถูกปนเปื้อนด้วยน้ำมัน ก็จะทำให้สัตว์น้ำเหล่านี้ไม่สามารถดำรงชีวิตและให้ผลผลิตได้อีกต่อไป หรือให้ผลผลิตได้น้อยลง ซึ่งส่งผลทำให้ คุณภาพชีวิตของประชาชนในท้องถิ่นต่ำลง เนื่องจากการสูญเสียในอาชีพ และรายได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ที่ถูกรบกวนจากการรั่วไหลของน้ำมันดังกล่าว และอาจได้รับอันตรายต่อสุขภาพอนามัย จากการบริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน อาจเป็นการได้รับพิษจากน้ำมันโดยตรง หรือจากการสะสมพิษในระยะเวลา นาน ซึ่งผลกระทบระยะยาวของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีต่อกลุ่มสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ การสะสมในห่วงโซ่อาหารตลอดจนความคงทนอยู่ในท้องทะเลของสารไฮโดรคาร์บอน แต่ละชนิด ยังต้องการข้อมูลอีกมาก

2.5 การกำจัดคราบน้ำมัน

เมื่อมีน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ จะต้องรีบทำการควบคุม และกำจัดคราบน้ำมันออกไปโดยเร็ว ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนรูปไป ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะสมในแหล่งน้ำ เนื่องจากสลายได้ยากขึ้น ในการควบคุม และกำจัดนี้ จะต้องทราบถึงสถานการณ์ ลักษณะ และปริมาณของน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ และเลือกวิธีการ และอุปกรณ์ เครื่องมือที่เหมาะสมกับการใช้งาน (ซรัตัน รุ่งเรืองศิลป์, 2533) ซึ่งขั้นตอนพื้นฐานในการควบคุม และกำจัดมีด้วยกัน 4 ขั้นตอน คือ

1. การหยุด หรือระงับการรั่วไหล (limitation) ทันทันทราบว่าเกิดเหตุน้ำมันรั่วไหล จะต้องปิดจุดรั่วไหล เช่น ปิดวาล์วท่อน้ำมัน หยุดการสูบจ่าย เป็นต้น รวมทั้งแจ้งเหตุแก่ผู้เกี่ยวข้อง
2. การควบคุม หรือจำกัดน้ำมันที่รั่วไหล (containment) ไม่ให้แพร่กระจายออกไป โดยใช้อุปกรณ์ที่จำเป็น เช่น ทุ่นกักน้ำมัน (mechanical booms) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กัน ในทางปฏิบัติ
3. การเคลื่อนย้ายน้ำมันออกจากบริเวณเกิดเหตุ (removal) ต้องคำนึงถึง ความรวดเร็ว และมีหลายวิธีการด้วยกัน เช่น การเก็บ (skimming), การดูดซับ (sorbing), การจมตัว (sinking), การสลายทางชีวภาพ (enhanced biological degradation) เป็นต้น ในบางกรณี อาจต้องใช้หลายวิธีร่วมกัน
4. การกำจัด และกวาดเก็บคราบน้ำมัน (final clean - up) ภายหลังจากผ่านการเคลื่อนย้ายออกแล้ว ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย และเน้นการกวาดเก็บน้ำมันตามชายฝั่ง หรือชายหาด (stranded oil) แต่ถ้าสามารถเก็บกวาดได้หมด ก็ไม่จำเป็นต้องดำเนินการในขั้นตอนนี้

จากขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วนั้น จะต้องใช้อุปกรณ์และวิธีการต่าง ๆ ร่วมกันเพื่อให้แต่ละขั้นตอนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งแบ่งวิธีการควบคุม และกำจัดน้ำมันออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. วิธีทางกายภาพ (physical method)

1. ทุ่นกักน้ำมัน (booms) เป็นอุปกรณ์ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ เพื่อควบคุม หรือจำกัดบริเวณของน้ำมันไม่ให้แพร่กระจายออกไป ทุ่นกักน้ำมัน แบ่งตามประเภทการใช้งาน เป็น 3 ประเภท คือ

- (1) ใช้ในแม่น้ำ (inshore boom หรือ river boom) มีขนาดค่อนข้างเล็ก ใช้งานง่าย
- (2) ใช้ในบริเวณชายฝั่ง (warbor boom) และ
- (3) ใช้กลางทะเล (offshore boom) ซึ่งต้องแข็งแรง ทนทานต่อสภาพคลื่นสูง และแรงได้

2. เครื่องเก็บกวาดน้ำมัน (oil spill recovery skimmer) มักใช้เก็บกวาดน้ำมันที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ หลังจากล้อมด้วยทุ่นแล้ว โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ระหว่างน้ำมันกับน้ำ โดยเครื่องเก็บกวาดจะลอยอยู่บนผิวน้ำ และมีช่องทางเปิดเชื่อมติดต่อกับเครื่องดูดน้ำมัน (suction pump) เพื่อให้น้ำมันลอยเข้าสู่ช่องทางได้ โดยที่ปลายช่องทางจะมีทึ้น (weir) ขวางกัน เพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยน้ำมันไหลเข้าสู่เครื่องดูดน้ำมัน ส่วนน้ำถูกบังคับให้ไหลออกจากเครื่องไป

3. วัสดุดูดซับ (sorbents /adsorbent material) ภายหลังจากที่คราบน้ำมัน ส่วนใหญ่ถูกเก็บด้วย เครื่องเก็บกวาดน้ำมันแล้ว อาจมีคราบน้ำมันหลงเหลืออีกเล็กน้อย จึงต้องใช้วัสดุดูดซับเข้ามาจัดการ โดยวัสดุดูดซับ อาจเป็นเส้นใยพืช เช่น ฟางข้าว หญ้าแห้ง ขี้เลื่อย หรือสารสังเคราะห์ เช่น โพลีโพรพิลีน โพลียูรีเทน ซึ่งเป็นรูปทรงทุ่น หรือแผ่นบาง ๆ ซึ่งมีหลักการทำงานที่ง่าย และสะดวกรวดเร็วในการ เคลื่อนย้ายน้ำมันออกจากบริเวณเกิดเหตุ โดยหย่อน หรือจุ่มวัสดุดูดซับลงบนผิวน้ำมัน น้ำมันจะแทรก ซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใย หรือถูกดูดซับติดกับผิวหรือซึมซับเข้าไปในตัวของวัสดุ แล้วจึงนำ วัสดุนั้น ไปกำจัดอีกครั้งหนึ่ง

4. วัสดุทำให้จมลง (sinking) โดยใช้วัสดุพิเศษที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ทรายละเอียด ผงปูนขาว ยิปซัม เป็นต้น โปริย หรือฉีดบนผิวน้ำมัน เพื่อให้น้ำมันเกาะติดและจมตัวลงสู่ท้องน้ำ ซึ่งวิธีการนี้ จะมีประสิทธิภาพไม่ดี หากนำมาใช้กับน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ และมีปริมาณน้อย หรือชั้นน้ำมันที่มีความหนาแน่นมาก

5. วัสดุดักจับ (netting) โดยใช้ตาข่ายดักจับคราบน้ำมันที่ลอยผิวน้ำ ใช้ได้ดีกับน้ำมันที่มีความหนืดสูง หรือพวกตะกอนน้ำมันดิน บางครั้งอาจเรียกวิธีนี้ว่า surface nets ก็ได้

2. วิธีการทางเคมี (chemical method)

1. การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันแตกตัว (chemical dispersant) หรือที่เรียกว่า dispersant เมื่อฉีด ลงไปบนคราบน้ำมัน จะทำให้แรงตึงผิวของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ คราบน้ำมันจะถูกคลื่นตีแตก กระจายเป็นหยดเล็ก ๆ แยกออกจากกัน dispersant ยังช่วยไม่ให้น้ำมันเกิดการรวมตัวกันได้อีก

2. การใช้สารเคมีทำให้น้ำมันรวมตัวกัน (chemical solidifier) หรือที่เรียกว่า solidifier เมื่อฉีด ลงบนคราบน้ำมันจะทำให้น้ำมันเกิดการรวมตัวเป็นก้อนและจมลงสู่ท้องน้ำ วิธีนี้ประเทศไทยยังไม่มี การนำมาใช้ อาจเพราะว่าสารเคมีมีราคาแพง

3. การเผา (burning) เป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ไม่นิยมใช้ เนื่องจากอาจก่อให้เกิดผล เสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และถ้าจำกัด หรือควบคุมคราบน้ำมันในบริเวณไม่ได้ จะทำให้เกิดความเสียหาย ต่อทรัพย์สินของมนุษย์ และอาจทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ และอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอีกด้วย

3. วิธีการทางชีวภาพ (biological method)

1. การสลายโดยธรรมชาติ (biodegradation) เป็นกระบวนการที่ใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้ว ตามธรรมชาติ เช่น ยีสต์ (yeast) เชื้อรา (fungi) แอคทีโนมัยซีท (actinomycetes) และแบคทีเรีย (bacteria) ช่วยในการสลายสารไฮโดรคาร์บอน และนำเอาไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึมของตัวมันเอง ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ และใช้เวลานานกว่าจะกำจัดคราบน้ำมันได้หมด แต่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย หรือแทบไม่เกิดเลย (สมวัฒน์ ยินดีพิธ, 2533; อรรถวุฒิ อิมพลูทรัพย์ และคณะ, 2536)

2. การเร่งธรรมชาติ (bioremediation) แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.1 การเติมธาตุอาหาร (nutrient enrichment หรือ fertilization) เช่น การเพิ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัสลงไปในน้ำที่มีคราบน้ำมัน เพื่อกระตุ้น หรือเพิ่มการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ ให้มีจำนวนเพิ่มรวดเร็วขึ้น (อรรถวุฒิ อิมพลูทรัพย์ และคณะ, 2536)

2.2 การเติมเชื้อจุลินทรีย์ (seeding) เป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ที่สามารถสลายน้ำมันให้มากขึ้น เชื้อที่ใช้เติม แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เชื้อที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ และแยกออกมา (natural occurring microorganisms) และเชื้อที่ได้ปรับปรุงสายพันธุ์ โดยทางพันธุวิศวกรรม (geretically engineered microorganisms) (จิราภรณ์ สุขมาวาลี และคณะ, 2536; อรรถวุฒิ อิมพลูทรัพย์ และคณะ, 2536)

2.6 จุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon degradation microorganisms)

การสลายตัวของคราบน้ำมัน หรือปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน โดยใช้จุลินทรีย์ เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลานาน แต่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด Walker และ Colwell (1975) ศึกษาตัวอย่าง และตะกอนดิน ที่ปนเปื้อนน้ำมันบริเวณ Colgate Creek และ Eastern Bay ประเทศสหรัฐอเมริกา พบจุลินทรีย์พวก *Acinetobacter* spp., *Actinomycetes* spp., *Aeromonas* spp., *Bacillus* spp., *Corynetobacterium* spp., *Enterobacteriaceae* spp., *Lactobacillus* spp., *Lucibacterium* spp., *Moraxella* spp., *Cytophage* spp., *Flavobacterium* spp., *Pseudomonas* spp., *Vibrio* spp. และอื่น ๆ ซึ่งในจำนวนนี้ *Pseudomonas* spp. จัดว่าเด่นที่สุด นอกจากนั้น ยังมีการทดลองแยกเชื้ออีกจำนวนมาก ที่พบจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัตินี้ (Smith-Welson, 1973; Walker และ Colwell, 1976; Bartha และ Atlas, 1977; Davies และ Westlake, 1979) และ Bartha และ Atlas (1977) ศึกษาพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถสลายสารไฮโดรคาร์บอนหรือคราบน้ำมันมีอยู่ตามธรรมชาติ ทั้งบนบก น้ำจืดและน้ำทะเล โดยมีทั้งเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ แอคทีโนมัยซีท และเชื้อรา รวมมากกว่า 100 ชนิด โดยมีแบคทีเรีย 22 สกุล สาหร่าย 1 สกุล และเชื้อรา 14 สกุล ที่แยกได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ปนเปื้อนน้ำมัน ชนิดที่พบบ่อยได้แก่ *Pseudomonas* spp., *Achromobacter* spp., *Arthobacter* spp., *Micrococcus* spp., *Nocardia* spp., *Vibrio* spp., *Acinetobacter*

spp., *Brevibacterium* spp., *Corynebacterium* spp., *Flavobacterium* spp. *Candida* spp., *Rhodotorula* spp. และ *Sporobolomyces* spp. พวกที่มีความสำคัญมากที่สุดในการสลายไฮโดรคาร์บอน คือ *Pseudomonas* spp., *Arthobacter* spp. นอกจากนี้ยังมีพวก *Cyanobacteria* spp. และสาหร่าย (algae) พวก *Prototheca* spp., *Oscillatoria* spp., *Microcoleus* spp., *Anabaena* spp., *Acmenellum* spp., *Coccochloris* spp., *Nostoc* spp., *Aphanocapsa* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Chlamydomonas* spp., *Viva* spp., *Cylindrotheca* spp., *Amphore* spp., *Porphyridium* spp., และ *Petalonia* spp. สามารถสลายพวก naphthalene ได้

2.7 การแพร่กระจายของจุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอน

จุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอน สามารถแพร่กระจายอยู่ทั่วไป ไม่ว่าในน้ำทะเล น้ำจืด หรือ ในดิน ในน้ำทะเลจะพบจุลินทรีย์อยู่บนผิวหน้าของน้ำมากกว่าอยู่ใต้น้ำที่ความลึก 10 เซนติเมตร 10 ถึง 100 เท่า (Jones และ Eddition, 1968) และพบได้แม้แต่น้ำทะเลที่เย็นจัด (Liden, 1975; Davies และ Westlake, 1979) จากการศึกษาการกระจายของจุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอนในเขตหนาว และ เขตอบอุ่น โดยเก็บตัวอย่างน้ำ จากบ่อน้ำ และตะกอนจาก Arctic และ Subarctic พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างจาก 2 เขตดังกล่าว ไม่แตกต่างกัน แต่ในช่วงฤดูหนาว จะพบน้อยกว่าฤดูร้อน แสดงว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเพิ่มจำนวน (Walker, Austin และ Colwell, 1975) และพบว่า ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนบ่อยครั้ง หรือเป็นเวลานาน จะมีจุลินทรีย์สลายสารไฮโดรคาร์บอนอยู่เป็นจำนวนมากถึง 10 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Mulkins - Phillips และ Stewart, 1974) จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นภายในเวลาเล็กน้อย หลังจากรั่วไหลของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน และจะคงจำนวนนั้นไว้เป็นเวลากว่า 1 ปี (Tagger, Deveze และ LePitit, 1976) และจากการทดลองภาคสนามในมหาสมุทร Arctic พบว่า จำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นมาก ไม่ว่าจะในน้ำทะเล น้ำจืด หรือในดิน เมื่อปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น และเมื่อเขาได้ทดลอง เติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสลงไปในผิวหน้าของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในปริมาณที่สูงมาก (Atlas, และ Bartha, 1972 ; Walker, และ Colwell, 1976)

2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์

1. สถานภาพทางกายภาพของการปนเปื้อน (physical state of oil pollutants)

ลักษณะของการปนเปื้อนที่มีผลต่อการสลายตัวโดยจุลินทรีย์ คือ ที่ความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่ำ ๆ จะเกิดการละลายได้หมด (Atlas และคณะ, 1976; Raymond, Hudson, และ Jamison, 1976) จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีในบริเวณที่เป็นช่วงต่อ ระหว่างน้ำมันกับน้ำ (oil - water interface)

ดังนั้น ถ้ามีพื้นที่ผิว (surface area) ของน้ำมันมากเท่าไร ก็จะมีอัตราการสลายที่ดี และเร็วขึ้นเท่านั้น ในน้ำ เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมัน ส่วนที่ละลายน้ำ และสารกึ่งของแข็งขนาดเล็ก (mousse) จะแพร่กระจาย ออกเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (thin slick) จะถูกสลายได้ง่าย แต่ถ้า mousse มีการรวมตัวกัน เป็นขนาดใหญ่ (glob) โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 1 เมตร จะถูกสลายได้ช้า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้อยลง เมื่อเทียบกับ ปริมาตร ส่วนสารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในรูปตะกอนน้ำมันดิน (tar ball) จะถูกสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจาก โครงสร้างทางเคมีของ tar ball ซับซ้อน และจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้เอนไซม์เข้าสลาย พันธะของสารไฮโดรคาร์บอน ที่ผิวหน้าของ tar ball เองก็มีจุลินทรีย์น้อย เพราะ tar ball มักถูกพัดพามา ติดอยู่ตามชายหาด และถูกฝังลงไป หรือเกิดเป็นชั้นของแอสฟัลท์ (asphalt) ทำให้จุลินทรีย์ขาดสาร อาหาร และแร่ธาตุที่จะช่วยในการเจริญเติบโต ซึ่งในสภาพเช่นนี้ จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตสารพวกไบโอ อิมัลซิไฟด์ (bioemulsified) ก็จะมีส่วนช่วยให้การสลายเกิดได้ดีขึ้น จุลินทรีย์จะสลายสารอะโรมาติกไฮโดร คาร์บอนที่เป็นของเหลว (liquid aromatic hydrocarbons) แต่จะไม่สลายสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ เป็นของแข็ง (solid aromatic hydrocarbons) จากการศึกษา พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส diphenylmethane ซึ่งเป็นของเหลว และสามารถถูกจุลินทรีย์สลายได้ แต่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส diphenylmethane เป็นของแข็ง และจะไม่ถูกสลาย naphthalene ที่เป็นของแข็ง ก็จะไม่ถูกสลาย โดย จุลินทรีย์เช่นกัน แต่จะสลาย เมื่อนำไปละลายในสารไฮโดรคาร์บอนเหลว (Horwitz และ Atlas, 1979)

2. สารอาหาร (nutrients)

จุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอน ต้องการธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการเจริญ เติบโต ถึงแม้ว่าคราบน้ำมัน หรือไฮโดรคาร์บอนจะเป็นแหล่งใหญ่ของคาร์บอนที่จุลินทรีย์ต้องการก็ตาม แต่ก็ยังเป็นแหล่งอาหารที่มีเกลือแร่ น้อย ในแหล่งน้ำก็มักมีธาตุทั้งสองนี้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากจุลินทรีย์ พวกอื่น ก็ต้องการธาตุเหล่านี้เช่นกัน และฟอสฟอรัสก็มักจะตกตะกอน ในรูปของเกลือแคลเซียม ที่ pH ของน้ำทะเล นอกจากนี้ ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหลก็มีผลต่อปริมาณของธาตุเหล่านี้ คือ ถ้าน้ำมันมีปริมาณ น้อย และอยู่ในรูปสารละลาย (soluble hydrocarbon) ปริมาณของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสก็จะเพียงพอ สำหรับการสลาย โดยจุลินทรีย์ แต่ถ้าปริมาณน้ำมันมีมาก จะอยู่ในลักษณะที่เป็นแผ่นหนา (oil slick) อาจทำให้อัตราส่วนของ C:N และ C:P ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และกระบวนการเมตา บอลิซึมของจุลินทรีย์ สัดส่วน C:N และ C:P ที่เหมาะสม คือ 10:1 และ 100:1 ตามลำดับ ซึ่งในน้ำมัน แต่ละชนิด ปริมาณของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการสลาย จะมีความแตกต่างกัน โดย พบว่า ไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 0.07 มิลลิกรัมต่อ ลิตร มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบ Sweden ที่มีความเข้มข้น 8 กรัมต่อ ลิตรในน้ำทะเลของชายฝั่งนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Atlas และ Bartha, 1972) จากรายงาน ค่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมของไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เท่ากับ 11 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ การสลายน้ำมันดิบ Iranian 1 กรัมต่อลิตร ในน้ำทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Reisfeld, Resenberg, และ

Gutnick, 1972) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการสลายน้ำมันดิบ โดยจุลินทรีย์ พบว่าอยู่ในระหว่าง 2.0×10^{-4} ถึง 8.0×10^{-4} โมล สำหรับน้ำทะเล และ 1.5×10^{-3} ถึง 3.0×10^{-3} โมล สำหรับน้ำทะเลใกล้ชายฝั่ง แต่ถ้าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง ๆ จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ ถ้าไม่มีการเติมสารอาหาร สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จะถูกสลายก่อนสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว โดยพวกจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน และในน้ำทะเล

3. ออกซิเจน (oxygen)

การสลายสารไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว และสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน จะต้องใช้เอนไซม์ออกซิจีเนส (oxygenase) และโมเลกุลของออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ มีรายงานว่า ปริมาณออกซิเจนละลาย 3 ถึง 4 ส่วนจะถูกใช้เพื่อสลาย หรือเปลี่ยนสารไฮโดรคาร์บอน 1 ส่วนให้กลายเป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ หรือปริมาณน้ำมัน 1 ลิตร ต้องใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล ปริมาณ 3.20×10^5 ลิตร เมื่อปริมาณของออกซิเจนลดลง อัตราการสลายก็ลดลงด้วย กระแสลม และคลื่นเป็นตัวทำให้บริเวณผิวน้ำ และผิวน้ำของชายหาดมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ แต่ลึกลงไปในพื้นที่ของตะกอนที่พื้นท้องทะเล ปริมาณออกซิเจน จะขึ้นอยู่กับ ความหนาของชั้นตะกอน ความลึกของน้ำ และสภาพปั่นป่วน (turbulence) รวมทั้งการเจาะโพรงของสิ่งมีชีวิตใต้ท้องทะเล ก็มีช่วยในการเติมอากาศ การสลายสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน จะสามารถเกิดขึ้นได้ ในภาวะขาดออกซิเจนหรือ โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน แต่ประสิทธิภาพจะไม่ดี การเติมสารอาหารอย่างเดียว ไม่ได้เติมออกซิเจน พบว่า การสลายไม่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมทั้งสารอาหาร และออกซิเจน คาดประมาณว่า สามารถกำจัดน้ำมันเบนซินได้ถึง 1,000 บาร์เรล (Harrison, 1975) แต่บางครั้งการเติมออกซิเจน ก็ทำได้ยาก ถ้าเป็นพื้นที่เปิด ซึ่งมีกระแสน้ำ กระแสลมไหลอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากจะทำให้ออกซิเจนกระจายออกไปหมด

4. อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการสลายตัว และสถานภาพทางกายภาพของสารไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิต่ำ การสลายตัวจะต่ำลง และความหนืดชั้น (viscosity) ของปิโตรเลียมจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ส่วนเบาของปิโตรเลียม จะระเหยน้อยลง ทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของปิโตรเลียมคงอยู่นาน ซึ่งจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ช้าลง จุลินทรีย์ที่สลายสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล มักเป็นพวก Facultatively psychrophiles เจริญได้ที่ 0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสม 20 - 25 องศาเซลเซียส และไม่เจริญที่ 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จะทำลายแบคทีเรีย 25 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะทำลายแบคทีเรีย 80 เปอร์เซ็นต์ พวก psychrophiles พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ อาจแยกได้จากอากาศ น้ำ ดิน พืช สัตว์ และอาหารต่าง ๆ ส่วนแบคทีเรียในทะเลที่ศึกษา พบว่า 55 - 60 เปอร์เซ็นต์ มีเอนไซม์ลลิคิตไฮโดร

จีเนส (malicdehydrogenase) ซึ่งไวต่อปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส ทำให้เอนไซม์มีลักษณะผิดปกติ และมากขึ้น ที่อุณหภูมิ 35 หรือ 40 องศาเซลเซียส มีผลต่อเอนไซม์ที่สำคัญของแบคทีเรีย และการซึมผ่านผนังเซลล์ของออกซิเจนจะเกิดการรั่วไหลของสารในเซลล์ขนาด 260 - 280 นาโนเมตร

5. ความดัน (pressure)

จากการทดสอบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่ความดันบรรยากาศ และความดันใต้ทะเล ซึ่งพบว่า มีอัตราการสลายแตกต่างกัน คือ ที่ความดัน 1 บาร์ เฮกซะเดคเคน (hexadecane) จะถูกสลายไป 94 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 8 สัปดาห์ แต่ที่ความดัน 500 บาร์ ต้องใช้เวลาถึง 10 สัปดาห์ ในการสลายตัว จึงสรุปได้ว่า สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในทะเลลึกจะอยู่นาน และสลายตัวได้อย่างช้า ๆ (Schwarz, Walker, และ Colwell, 1975 อ้างถึงใน Mulkins - Phillips และ Stewart, 1974)

6. ความเค็ม (salinity)

จากการทดลองการสลายสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำตัวอย่าง ที่เป็น ไฮเปอร์ซาลีน (hypersaline) โดยเติมสารไฮโดรคาร์บอนลงในน้ำตัวอย่าง ที่มีความเค็ม ตั้งแต่ 3.3 ถึง 28.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราการสลายสารไฮโดรคาร์บอน และเมตาบอลิซึมจะลดลง เมื่อความเค็มเพิ่มขึ้น และการสลายจะยังคงมีอยู่ ถ้าความเค็มน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ (Ward และ Brock, 1978)

2.9 คุณสมบัติแบคทีเรียที่ใช้ศึกษา

แบคทีเรียที่เลือกมาใช้ในการศึกษาวิจัย การสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ มี 2 ชนิด คือ แบคทีเรีย *Pseudomonas putida* และ *Bacillus subtilis*

1. *Pseudomonas putida*

Kingdom : Monera

Family : Pseudomonadaceae

เป็นแบคทีเรียติดสีแกรมลบ (สีแดง) รูปร่างเซลล์เป็นท่อนตรง หรือโค้งเล็กน้อย (straight หรือ slightly curved rod) อยู่ในกลุ่มแบคทีเรีย ที่ไม่สามารถหมักย่อยน้ำตาลกลูโคสได้ (Glucose - Non fermenting Gram - negative Bacilli (NFB)) เป็นเซลล์เดี่ยว มีขนาดกว้าง 0.5 - 1.0 ไมโครเมตร และยาว 1.5 - 4.0 ไมโครเมตร เคลื่อนที่ได้ โดยใช้แฟลกเจลลาเส้นเดี่ยวที่ขั้วเซลล์ด้านเดียว (polar flagella แบบ monotrichous) ไม่สร้างปลอก หรือก้าน ไม่มีระยะพักตัว (lag phase) สร้างสารเรืองแสงสีเหลือง - เขียว (fluorescent pigment) มีการดำรงชีวิตแบบ chemoorganotroph เมตาบอลิซึม (metabolism) แบบ

respiration ไม่ตรึงแก๊สไนโตรเจน (N_2) เจริญได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน (strictly aerobic) อุณหภูมิระหว่าง 4 - 42 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า แต่ไม่เจริญที่ 42 องศาเซลเซียส แต่ส่วนใหญ่เจริญได้ดี ที่ 30 องศาเซลเซียส ค่า G + C Content ของ DNA อยู่ระหว่าง 58 - 70 โมลเปอร์เซ็นต์ ค่าพี - เอช (pH) ที่เป็นกลาง หรือต่ำ (7.0 - 8.5) และใช้อาหารอย่างง่าย ๆ เพื่อการเจริญเติบโต โดยใช้อะซิเตรท (acetrate) เป็นอาหารหลัก และสะสมอาหารไว้ในรูป poly - β - hydroxybutyrate (Buchanan และ Gibbons, บรรณาธิการ, 1974 อ้างใน ดวงพร คันธโชติ, 2537 ; Goodfellow และ Berkeley, บรรณาธิการ, 1981)

2. *Bacillus subtilis*

Kingdom : Monera

Family : Bacillaceae

เป็นแบคทีเรียติดสีแกรมบวก (สีม่วงน้ำเงิน) ที่สามารถสร้างเอนโดสปอร์ได้ 1 อันต่อ 1 เซลล์ (Aerobic หรือ Facultative Spore - Forming rods) รูปร่างเซลล์ เป็นแท่งตรง (rod - shaped) มีขนาดกว้าง 0.7 - 0.8 ไมโครเมตร และยาว 2.0 - 3.0 ไมโครเมตร เคลื่อนที่ได้ โดยใช้แฟลกเจลลารอบตัว หรือออกทางด้านข้าง (peritrichous หรือ lateral flagella) ลักษณะโคโลนี ที่เจริญบนอาหารวุ้น (culture medium) มีลักษณะไม่แน่นอน (irregular) คือ อาจมีขอบเรียบ หรือขรุขระ ทับ สีครีม หรือน้ำตาล มีการแตกออกของสปอร์อยู่ที่ ศูนย์กลางของเซลล์ (central หรือ paracentral - position) เอนโดสปอร์มีรูปร่าง เป็นรูปวงรี หรือไข่ (elipsoidal or oval) ซึ่งจะต่างจากเซลล์แม่ (vegetative cell) โดยเอนโดสปอร์จะสะท้อนแสงมากกว่า และติดสีย้อมมากกว่า ทนความร้อน และสารเคมีอื่น ๆ ได้ดีกว่า มีการดำรงชีวิตแบบ chemo organotroph, เมตาบอลิซึม (metabolism) เป็นแบบ respiration ที่ใช้ไฮโดรเจน (H_2) เป็นแหล่งพลังงาน ได้ สามารถสลายเพกติน และโพลีแซ็กคาไรด์ของเนื้อเยื่อของพืชได้ สร้างรงควัตถุย่อยเจลาตินได้ วิตามิน ลิทมัส มิลค์ เจริญในสภาวะที่มีออกซิเจน และไร้ออกซิเจน หรือมีออกซิเจนเล็กน้อย (facultative anaerobic) อุณหภูมิสูงสุดที่เจริญได้ดี อยู่ระหว่าง 45 - 55 องศาเซลเซียส ต่ำสุดที่เจริญได้ อยู่ระหว่าง 5 - 20 องศาเซลเซียส มีค่า G + C Content ของ DNA อยู่ระหว่าง 32 - 62 โมลเปอร์เซ็นต์ เจริญในอาหารที่ไม่ใช่กรด (non acidfood) ทนเกลืออยู่ในช่วง 2 - 25 เปอร์เซ็นต์ (Sneath และคณะ, 1986; Parry และคณะ, 1988; Galli, Silver, และ Witholt, บรรณาธิการ, 1992; Hoch และ Losick, บรรณาธิการ, 1993; Holt และคณะ, 1994) ซึ่งแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้สามารถสลายสารไฮโดรคาร์บอน และอนุพันธ์ของสารไฮโดรคาร์บอนได้ และไม่ก่อให้เกิดโรคในพืช สัตว์ และมนุษย์ สามารถเจริญเติบโต แพร่จำนวน และพบได้ทั่วไป ในสภาวะแวดล้อม ทั้งในดิน น้ำจืด น้ำทะเล

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากยังไม่มีรายงานวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับการสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ ที่มีหมู่เอสเทอร์ โดยใช้แบคทีเรีย และจุลินทรีย์โดยตรง แต่มีผู้ศึกษาวิจัย ในเรื่องเกี่ยวกับการสลายทางชีวภาพของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และน้ำมันปิโตรเลียมในสิ่งแวดล้อม ทั้งในน้ำจืด น้ำทะเล น้ำเสีย และดินโดยใช้แบคทีเรีย และจุลินทรีย์กันจำนวนมาก ดังต่อไปนี้

Morita (1966) ศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Pseudomonas* spp. และ *Flavobacterium* spp. ที่อุณหภูมิ 0, 15, 20, 25, 27, 30, 37 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า แบคทีเรียทั้งสองเจริญได้ดี ที่อุณหภูมิ 20 - 30 องศาเซลเซียสและ *Pseudomonas fluorescens* เจริญในน้ำทะเล ที่อุณหภูมิ 10 และ 30 องศาเซลเซียส โดยมีการเขย่าอย่างแรงตลอดเวลา

Holdom, และ Turner (1969) ศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Mycobacterium rhodochrous* บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมนอร์มัลอัลเคนในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใส่เชื้อแบคทีเรียปริมาณ 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และนอร์มัลเดเคน 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าบนเครื่องเขย่า ความเร็ว 200 รอบต่อนาที จุดเหวี่ยง ห่างจากจุดศูนย์กลาง 1 นิ้ว และปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ก่อนทำการศึกษา 23,000 รอบต่อนาที ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้สารไฮโดรคาร์บอนที่เกาะบริเวณผิวหลอดทดลองหลุดไป พบว่า เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่เมื่อใช้เชื้อในปริมาณสูงขึ้น จึงสามารถเจริญเติบโตได้ และเซลล์มีการปล่อยความร้อนออกมาตลอดเวลา นอกจากนี้ *Mycobacterium rhodochrous* ยังต้องการสารอาหารในการเจริญเติบโต เพิ่มจากปกติ ได้แก่ พวกแร่ธาตุ, เกลือแร่, วิตามิน และกรดอะมิโน แต่ไม่ต้องการธาตุเหล็ก

Raymond, Jamison, และ Hudson (1971) ศึกษาการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสารไฮโดรคาร์บอนพวกพาราฟินิก ไฮโคลพาราฟินิก และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน พบว่า จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้ แต่บางชนิดต้องการสารอาหารอื่นๆ ร่วมด้วย โดยมีการหมักย่อย (ferment) พาราฟินิกไฮโดรคาร์บอน ได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรด อัลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และคีโตน โดยปกติ ตัวแรกที่ถูกนำไปทำปฏิกิริยาได้แก่ กลุ่มเมทิล (CH_3) และมีเฉพาะการหมักย่อยไฮโคลพาราฟิน ที่ให้ผลิตภัณฑ์ คือ คีโตน

Raymond และ Jamison (1971) ศึกษาปฏิกิริยาชีวเคมีต่อการสลายสารไฮโดรคาร์บอน โดย *Nocardia* species ที่แยกได้จากดิน พบว่า สามารถเปลี่ยนรูปร่างอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน สารปราบศัตรูพืช และพวกสเตียรอยด์ พวกนอร์มัล - อัลเคน ($\text{C}_6 - \text{C}_{28}$) โดยการออกซิไดซ์ได้ดี ได้เป็นกรด และ

อัลกอฮอล์ แต่มีข้อจำกัดตามชนิด ปริมาณ และตำแหน่งองค์ประกอบของอะโรมาติก

Atlas, และ Bartha (1972) ศึกษาการสลาย และการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุ (mineralization) ของ น้ำมันปิโตรเลียม โดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำทะเล คือ *Flavobacterium* sp. และ *Brevibacterium* sp. โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบหลักของน้ำมันดิบ โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี ร่วมกับแมสสเปคโตรสโกปี พร้อมทั้งวัดอัตราการลดลงของสารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (total hydrocarbon) และการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 evolution) พบว่า สารไฮโดรคาร์บอน เริ่มลดลงในช่วง 2 - 4 วัน และถึงจุดสูงสุดภายใน 2 สัปดาห์ โดยน้ำมันดิบ มีการลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ สารไฮโดรคาร์บอนผสม (model hydrocarbon mixture) ลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระบวนการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุ มีการลดลงเพียงเล็กน้อย ในการเปรียบเทียบ การลดลงของนอร์มัลพาราฟิน และพวกรังแก พบว่า นอร์มัลพาราฟิน ซึ่งมี C_{12} - C_{20} จะลดลงได้มากกว่า

Atlas, และ Bartha (1972) ศึกษาอิทธิพลของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการสลายของ น้ำมัน โดยเติมน้ำมันลงในน้ำทะเล 1 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) หลังจากนั้น 18 วัน วัดปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน โดยวิธีแก๊สลิควิดโครมาโตกราฟี ปรากฏว่าน้ำมันปิโตรเลียมที่เติมลงไป ลดลงเพียง 8 เปอร์เซ็นต์ และมีเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ที่ถูกเปลี่ยนแปลงทางแร่ธาตุ เมื่อมีไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัสอยู่อย่างจำกัด และพบว่า การเติมไนโตรเจน หรือฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว จะทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงได้เพียงเล็กน้อย แต่ถ้าเติมพร้อมกันทั้งสองชนิด จะช่วยเพิ่มการสลายตัว และการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุ ได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการสลายตัวของน้ำมันปิโตรเลียมในน้ำทะเล ที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยเก็บ ตัวอย่างน้ำทะเล แล้วนำมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส วัดอัตราการสลายทางชีวภาพ โดยวิธีการประมาณค่าจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุลินทรีย์ปล่อยออกมา และวัด ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำไม่เพียงแต่จะทำให้ อัตราการสลายตัวช้าลงเท่านั้น แต่ยังทำให้ระยะพักตัว (lag phase) มีช่วงเวลายาวขึ้นด้วย และเป็นที่น่าสังเกต ว่า องค์ประกอบบางตัวของน้ำมันปิโตรเลียมที่ระเหยได้ และเป็นตัวยับยั้งการสลายตัว โดยจุลินทรีย์จะ ระเหยได้อย่างช้า ๆ ที่อุณหภูมิต่ำ และยังทำให้อัตราการสลายตัวช้าลงด้วย

Jobson, Cook, และ Wastlake (1972) ศึกษาการสลายน้ำมันดิบ โดยใช้แบคทีเรียทั้งชนิดเดียว และผสมที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่า สามารถสลายสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนอิมิตัวได้ แต่พวกสารอะโรมาติกถูกสลายไปเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ แบคทีเรียเจริญอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรก และมีแนวโน้ม ลดลงหลัง 21 วัน ซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง แยกได้

จากดิน ได้แก่ *Pseudomonas* spp., *Flavobacterium* spp., *Achromobacter* spp. และ *Bacillus* spp. โดยเก็บเชื้อเป็นเวลา 1 ปี ทำการถ่ายเชื้อทุก 7 วัน ในอาหารเกลือที่มีน้ำมัน 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารไฮโดรคาร์บอนชนิดอิมิตัวถูกนำไปใช้ก่อน และลดลงเร็วกว่าสารไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิมิตัว โดยลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) พวกอิมิตัวสายสั้น C₁₆ - C₂₅ ถูกนำไปใช้ก่อนใน 14 วัน ส่วน isoprenoids, pristane และ phytane คือต่อเชื้อ แต่ถูกสลายได้หลัง 2 สัปดาห์ หากใช้พวก *Micrococcus* spp. แล้ว isoprenoids, pristane และ phytane จะถูกสลายได้เร็วกว่าเชื้อที่ผสมกัน เชื้อที่เลี้ยงไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังถ่ายเชื้อหลายครั้ง *Pseudomonas* spp. มีลักษณะแกรมลบ รูปแท่งเล็กกลวง หนาที่ขั้วขึ้น การสลายตัวมีลักษณะเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่พวก isoprenoids, pristane และ phytane ถูกสลายได้ช้ากว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่า 27.5, 19.0 และ 12.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เมื่อใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ 250, 500 และ 750 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพูนขนาด 2 ลิตร พบว่า แบคทีเรียมีการสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิมิตัว ในสภาพที่มีการเติมออกซิเจนเพิ่มขึ้น เมื่อนำแบคทีเรียที่เพาะในน้ำมันคุณภาพต่ำ มาทดลองเพาะในน้ำมันคุณภาพสูง จะพบว่า แบคทีเรียมีการเจริญเติบโต และสลายน้ำมันดิบได้ดี ใกล้เคียงกับ นำแบคทีเรียที่เลี้ยงในอาหารเกลือแร่ผสมน้ำมันคุณภาพเดียวกับที่นำมาทดลอง แต่หากนำแบคทีเรียที่เพาะในอาหารเกลือแร่ผสมน้ำมันคุณภาพสูง มาทดลองเพาะในอาหารเกลือแร่ผสมน้ำมันคุณภาพต่ำ พบว่า มีการเจริญเติบโตลดลง

Soli, และ Bens (1972) ศึกษาแบคทีเรียที่สามารถสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล โดยใช้ *Corynebacterium* sp., *Arthobacter* sp. และ *Archomobacter* sp. ซึ่งแยกได้จาก บริเวณชายฝั่งทะเลแถบแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา แบคทีเรียเหล่านี้ สามารถออกซิไดซ์ นอร์มัลพาราฟิน, ไอโซพาราฟิน และสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในน้ำทะเลสังเคราะห์ได้ ซึ่งดูได้จาก การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน แต่ละชนิดที่ถูกใช้ไป โดยแบคทีเรีย ด้วยวิธีโครมาโตกราฟี

Zajic, และ Supplisson (1972) ศึกษาการสลาย และการเกิดอิมัลชันของน้ำมันเชื้อเพลิง Bunker C โดยใช้จุลินทรีย์ที่แยกเชื้อได้จากน้ำมันชนิดนี้ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเกลือแร่ (mineral salt aqueous medium) ที่ผสมน้ำมัน เชื้อที่ผสมกันอยู่นั้น จะทำให้เกิดอิมัลชัน ซึ่งสังเกตเห็นได้ ภายในเวลา 24 - 48 ชั่วโมง และปรากฏว่าทั้งแบคทีเรีย และเชื้อราที่แยกได้ มีความสามารถทำให้เกิดอิมัลชันได้ทั้งสิ้น แม้ว่า จะถูกนำไปทำให้แห้ง และแช่แข็งไว้ก็ตาม และวัดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ด้วยวิธีโครมาโตกราฟี พบว่า จุลินทรีย์สามารถสลายสารนอร์มัลพาราฟินก่อน เป็นอันดับแรก

Jobson, Cook, และ Westlake (1972) ศึกษาการสลายน้ำมันดิบที่มีคุณสมบัติ แตกต่างกัน 2 ชนิด โดยจุลินทรีย์ ทั้งแบบสายพันธุ์เดี่ยว และแบบผสมหลายสายพันธุ์ ที่อุณหภูมิ 4 และ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้ธาตุอาหาร (enrichment) เป็นตัวช่วยเร่ง และวัดการเจริญเติบโต, การเกิดอิมัลชัน และการสลายตัวของน้ำมันดิบ ในอุณหภูมิทั้งสอง และทำการแยกจุลินทรีย์ในน้ำมัน ที่อุณหภูมิปานกลาง พบ *Pseudomonas* spp. (non - pigmented), *Flavobacterium* spp. และ *Achromobacter* spp. ส่วนจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำมันในอุณหภูมิต่ำ คือ พวก *Pseudomonas* spp. และพวกแกรมบวก รูปแท่ง ลักษณะคล้าย *Bacillus* spp. ซึ่งไม่สามารถระบุชนิดได้ และพบว่า รูปแบบการสลายตัวของสารนอร์มัลอัลเคนนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ กล่าวคือ จุลินทรีย์ที่พบในอุณหภูมิต่ำ จะสลายได้จนถึง C₃₁ ในขณะที่จุลินทรีย์ ที่พบในอุณหภูมิปานกลาง จะสลายได้ตั้งแต่ C₁₅ ขึ้นไป และกากน้ำมัน (residue rude oil) จะมีความต้วงจำเพาะ (specific gravity) และการตกตะกอนเพิ่มขึ้น วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบ ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีก่อน และหลังการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่า สารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวจะถูกสลายก่อนสารอะโรมาติก

Westlake, Jobson, Phillippe, และ Cook (1974) ศึกษาประสิทธิภาพการสลายตัวของน้ำมันดิบ โดยจุลินทรีย์ ที่มีองค์ประกอบทางเคมี ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายใต้อุณหภูมิปานกลาง (30 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) วัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการนับจำนวนโคโลนี และวัดการลดลงของสารไฮโดรคาร์บอน ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่า จำนวนจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะทั้งสอง มีจำนวนใกล้เคียงกัน และจากการแยกชนิดของจุลินทรีย์ พบว่า กลุ่มที่พบบ่อย ได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่ง ส่วนความสามารถในการใช้น้ำมันดิบเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์แบบผสมหลายสายพันธุ์นี้ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบหรือจำนวนของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวในน้ำมัน เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับ แอสฟัลทีนส์ และ N, S, O (เช่น ไนโตรเจน ,กำมะถัน และ ออกซิเจน) ด้วย ในการเจริญเติบโตในน้ำมันที่มีนอร์มัลอัลเคนน้อย จุลินทรีย์สามารถใช้สารอะโรมาติกทดแทนได้ นอกจากนี้คุณภาพของน้ำมัน และอุณหภูมิ ก็มีผลต่อ การสลายตัวโดยจุลินทรีย์ด้วย พบว่า พวกจุลินทรีย์ที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำ จะย่อยไฮโซพรีนอยล์ , โฟเทน และพริสเทนได้น้อย ภายใต้อุณหภูมิปานกลาง

Horwith, Gutnick, และ Rosenberg (1975) ศึกษาการสลายตัวของน้ำมันดิบในน้ำทะเล โดยใช้แบคทีเรียสายพันธุ์เดี่ยว (pure culture) 3 สายพันธุ์ คือ UP - 2, UP - 3 และ UP- 4 ปรากฏผลว่า UP-2 มีการเจริญได้ดีเป็นพิเศษ ซึ่งดูได้จาก การที่สามารถสลายผลิตภัณฑ์ไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ หรือจากการที่แปรสภาพน้ำมัน ประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถใช้สารละลายอินทรีย์สกัดได้อีกต่อไป ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี วิเคราะห์ได้ในรูปพาราฟิน และการเกิดอิมัลชันของน้ำมันในระหว่างที่มันอยู่ในช่วงการเจริญเติบโต (logarithmic phase) และวัดจำนวนเซลล์ได้ 1.6×10^8 เซลล์ต่อ

มิลลิลิตรของน้ำมัน หลังจาก UP-2 เจริญเต็มที่แล้ว น้ำมันที่เหลือ (residual oil) จะเป็นสารอาหารให้ UP-3 และ UP-4 แต่ก่อนหน้านั้น ได้มีการแยกเชื้อแบคทีเรียที่สลายน้ำมัน ได้อีกชนิดหนึ่ง คือ RAG-1 ซึ่ง UP-2, UP-3 และ UP-4 เองก็สามารถเจริญได้ในน้ำมันที่ถูกสลายแล้ว โดย RAG-1 (ไม่มีนอร์มัล - อัลเคนเหลืออยู่เลย) และได้ผลิตภัณฑ์ เป็นสารประกอบพาราฟิน และเมื่อนำแบคทีเรียทั้ง 4 สายพันธุ์ มารวมกัน พบว่า สามารถลดน้ำมัน ได้มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

MacLeod Onofrey (1975) ศึกษาความต้องการสารอาหารของแบคทีเรียในน้ำทะเล ได้แก่ *Flavobacterium* spp., *Corynebacterium* spp., *Mycoplana* spp. และ *Pseudomona* spp. พบว่า ในน้ำทะเล แบคทีเรียสามารถถ่ายเทสารอินทรีย์ เพื่อการเจริญเติบโต ธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ได้แก่ เหล็กไอออน โดยทดลอง ทั้งในน้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ เมื่อศึกษาในน้ำทะเลสังเคราะห์ พบแบคทีเรียส่วนใหญ่ ไม่เจริญเติบโต เมื่อเติม H_3BO_3 ยกเว้น *Corynebacterium* B20 แบคทีเรียทุกตัวเจริญได้ดี ถ้าเติม Mg^{2+} , Sr^{2+} , Na^+ และ Cl^- ในแบคทีเรีย *Flavobacterium* 89, *Corynebacterium* B 10, *Corynebacterium* B 20, *Mycoplana* B 16, *Mycoplana* B 20 และ *Pseudomonas* B 30 พบว่า *Corynebacterium* B 20, *Mycoplana* B 16, *Mycoplana* B20 และ *Pseudomonas* B 30 ต้องการแคลเซียม และหากสารอาหารมีโซเดียมมากพอ แบคทีเรียก็ไม่ต้องการโปตัสเซียม

Walker, และ Colwell (1975) ประเมินการสลายตัวของน้ำมันดิบ South - Louisiana โดยจุลินทรีย์ที่แยกได้จาก บริเวณปากแม่น้ำ และวิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน โดยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี ร่วมกับแมสสเปกโตรเมตรี พบว่า แอสฟัลทีนส์ และเรซินมีการลดลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ในเวลาต่อมา พวกสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และสารอะโรมาติกมีการลดลง 83.4 และ 70.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอร์มัลอัลเคน และอัลเคนไซกิง มีการลดลง 76.4 เปอร์เซ็นต์ แต่พวกอัลเคนไซยาว ($C_{28} - C_{32}$) กลับเพิ่มขึ้น หลังจากลดลงในช่วงแรก ๆ ที่ทำการวัดด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี และลำดับในการถูกสลายของไซโคลอัลเคน เป็นดังนี้ 6 วง > 1 วง > 2 วง > 3 วง > 5 วง > 4 วง ส่วนลำดับในการถูกสลายตัวของสารอะโรมาติกจะเป็นไปตามจำนวนวงแหวน คือ 5 > 4 > 3 > 2 > 1 และถ้าเป็นอะโรมาติกที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ก็ยังต้องใช้เวลาเป็น 2 เท่า ในการสลายเมื่อเปรียบเทียบกับ โครงสร้างเดียวกัน ที่ไม่มีกำมะถัน

Walker, และ Colwell (1975) ได้ศึกษาอีกครั้งหนึ่ง โดยได้นำคอมพิวเตอร์มาช่วย ในการวิเคราะห์ ข้อมูลด้วย พบว่า ปริมาณน้ำมันทั้งหมดที่ลดลง จะแปรผันตรงกับ ระยะที่ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนลดลงมากที่สุด ที่อยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโต (logarithmic phase) ของจุลินทรีย์ ซึ่งตรงข้ามกับ แอสฟัล

ทีนส์ และเรซิน ที่ในช่วง logarithmic กลับมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่วนพวกสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มีการลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และสรุปผลการศึกษาได้ว่า การสลายขององค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำมันดิบ จะเป็นแบบ สมดุลย์ไดนามิค (dynamic)

Walker, Petrakis, และ Colwell (1976) ศึกษาเปรียบเทียบ ความสามารถในการสลายตัวของน้ำมันดิบ และน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจุลินทรีย์ที่แยกได้จาก บริเวณปากแม่น้ำ น้ำมันที่ใช้ เป็นน้ำมันดิบ 2 ชนิด และน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด ผลสรุปว่า น้ำมันแต่ละชนิด จะเหมาะสมกับแบคทีเรีย และยีสต์แตกต่างกันไป น้ำมันดิบจาก South Louisiana ซึ่งมีกำมะถันต่ำ ความอิ่มตัวสูง จะถูกสลายได้มาก ในทางกลับกัน น้ำมันเชื้อเพลิง Bunker C ซึ่งมีกำมะถันสูง และมีพวกออะโรมาติกมาก ก็จะถูกสลายโดยจุลินทรีย์ได้ช้ากว่า

Walker, และคณะ (1977) ศึกษาการลดลงของสารไฮโดรคาร์บอน โดยแบคทีเรีย พบว่าแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งได้จาก ดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลแอตแลนติก สามารถสลายปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนได้ โดยการตรวจวิเคราะห์สารตั้งต้นไฮโดรคาร์บอนแบบรวม พวกสารอาหารอนินทรีย์ ฟอสเฟต ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำการวัดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ด้วยวิธีแก๊สลิควิดโครมาโตกราฟี (gas liquid chromatograph)

Calder, และ Lader (1976) ศึกษาการสลายตัวของแนพธาซีน, ฟีนแอนทรินโพลีน, Benzophrene, 2-methylnaphthalene, 2,6-dimethylnaphthalene, 2,3-dihydroxynaphthalene โดยแบคทีเรีย *Serratia marinorubra* และ *Vibrio parahaemolyticus* ทดลองแบบ batch - culture พบว่า แบคทีเรียสามารถสลายสารไฮโดรคาร์บอนได้ แต่แนพธาซีน ที่เข้มข้น 100 ไมโครโมล และเบนโซไฟรีน ที่เข้มข้น 0.02 ไมโครโมล เป็นพิษต่อแบคทีเรีย

Winters, Batterton, และ Banlen (1977) ศึกษาพิษของ Phenalen - 1 - one ที่ละลายในน้ำของน้ำมันเชื้อเพลิงหมายเลข 2 ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยพบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้รับพิษเฉียบพลัน ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายสีเขียวได้รับพิษ ที่ความเข้มข้น 250 พันส่วนในล้านส่วน เมื่ออยู่ในแสงไม่มีสีโดยหลอดไฟเดียวกัน ซึ่งผ่านการกรองด้วยกระจกกรองแสงสีเหลือง ที่ความยาวคลื่นแสง 530 นาโนเมตร และอัตราการเจริญเติบโตนี้ ไม่ได้รับผลกระทบแต่อย่างไร จนกระทั่งความเข้มข้นของสาร เป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

Winters, และคณะ (1977) ศึกษา น้ำมันเชื้อเพลิง ที่ได้จากแหล่ง Baton Rouge พบว่า ทำให้ สหรัยมีช่วงพักตัวนาน และมีพิษต่อการเจริญเติบโตของสหรัย น้ำมันที่ได้จาก American Petroleum Institute ทำให้สหรัยตายในเวลาไม่นาน และองค์ประกอบของน้ำมัน ที่ได้จาก Baytown และ Montana จะลดปริมาณสหรัยสีเขียวแกมน้ำเงิน และองค์ประกอบตัวหนึ่ง ที่เป็นพิษ คือ p - toluidine ซึ่งพบ 0.1 - 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำตัวอย่าง ที่มีน้ำมันจาก Baytown และ Montana

Knowles, และ Wishart (1977) ศึกษาการสร้างไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในตะกอนของมหาสมุทร อาร์กติก เนื่องมาจากน้ำมัน และสารไฮโดรคาร์บอน เป็นเวลา 30 วัน โดยทำการวัดในทะเล Beaufort และทะเลสาบเอสกีโม ทางตอนเหนือของประเทศแคนาดา วิเคราะห์ไนโตรเจนในตะกอนนี้ พบว่า มีการสะสมในปริมาณน้อย คือ 25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อปี ปฏิกริยาเพื่อให้เกิดการสะสม ไนโตรเจน สามารถถูกกระตุ้น โดยการเติมสารอาหารพวกน้ำตาลต่าง ๆ ได้แก่ กลูโคส ซูโครส แลคโตส แมนนิทอล และมอลเลต ส่วนอะซีเตตจะกระตุ้นการสร้างไนโตรเจนได้ดีที่สุด การสร้างไนโตรเจนยังมี ผลแตกต่างตามสถานที่ ความลึกของตะกอน โดยพบว่า น้ำมันดิบจากบ่อน้ำมันที่ Norman ประเทศ แคนาดา พบพวก hexane, decane, dodecane และ hexadecane ไม่มีผลกระตุ้น หรือยับยั้งการสร้าง ไนโตรเจน หรือการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ 1,2,4 - trimethyl -benzene ยับยั้งการสร้างไนโตรเจน และการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

Donaheu, และคณะ (1977) ศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบในน้ำมันปิโตรเลียม ที่ละลายน้ำ และสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ต่อการพักตัวของเพรียง โดยใช้ น้ำมันหลุยส์เซียน่า น้ำมันอลาสก้า, น้ำมันคูเวต, น้ำมันเวเนซุเอล่า, น้ำมันดีเซล, น้ำมันบังเกอร์ซี, น้ำมันเชื้อเพลิงหมายเลข 2 และน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมันทุกชนิด มีผลต่อการพักตัวของเพรียง มีค่า LD₅₀ ใน 1 ชั่วโมง โดยเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงหมายเลข 2 > น้ำมันบังเกอร์ ซี > น้ำมันดีเซล > น้ำมันเวเนซุเอล่า > น้ำมันคูเวต > น้ำมันอลาสก้า > น้ำมันหลุยส์เซียน่า โดยความเป็นพิษของน้ำมัน เชื้อเพลิงหมายเลข 2 มีค่าเท่ากับ ความเป็นพิษของแอนทราซีน ที่ระดับเดียวกัน

Giger, Molnar-Kubica, และ Wakeham (1977) พบน้ำใต้ดินบริเวณซูริส มีพวกคลอริเนเตดไฮโดร คาร์บอนที่ละลายน้ำ ได้มีสารประกอบ 1,1,1-trichloroethane, CCl₄, cis-1,2-chloroethylene, chlorobenzene trichloroethylene และ chlorobenzene, 1,4-dichlorobenzene และ 1,2,4 - trichlorobenzene โดยพบสูงสุด บริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีสาร tetrachloroethylene และ 1,4 - dichlorobenzene ที่สามารถทำลาย แบคทีเรียที่กำจัดน้ำมัน

มนัส เพ็ชรทองคำ (2525) ศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบ, น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน ต่อกุ้งแชบ๊วยขาว *Penacus merguensis* 2 วัน ได้แก่ กุ้งวัยอ่อน (5 - 7 วัน) และกุ้งวัยรุ่น (45 - 60 วัน) ในเวลา 24, 48 และ 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ได้แก่ 23, 28 และ 33 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันดิบ และน้ำมันดีเซลมีพิษต่อกุ้งวัยรุ่นมากที่สุด ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ส่วนน้ำมันเบนซินที่ อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษ จะลดลง ค่า LC₅₀ (lethal concentration) ของน้ำมันแต่ละชนิด พบว่า น้ำมันดิบ และน้ำมันดีเซล มีค่าอยู่ในลักษณะเดียวกัน และใกล้เคียงกัน การสะสมพิษเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป ลักษณะความเป็นพิษของเบนซินแตกต่างออกไปจากน้ำมันดิบ และน้ำมันดีเซล คือ เกิด รวดเร็ว รุนแรงกว่า และเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย

Shailubhai, Rao, และ Modi (1984) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ด้วย *Rhodotorula* species ซึ่งแยกได้จากดิน พบว่า ลดค่าบีโอดี (BOD) และ ซีโอดี (COD) ได้ใน 7 วัน โดยลดพวกสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว > สารอะโรมาติก > สารแอสฟาลติก (asphaltic) หลังการทดลอง 7 วัน มีการลดลงที่ละน้อย เนื่องจากพวกสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ถูกลดไป 88 เปอร์เซ็นต์ สารที่เหลือ จึงถูกลดอย่างช้า ๆ

Shailubhai, RAO, และ Modi (1985) ศึกษาการลดปริมาณน้ำมันปิโตรเลียม ในน้ำทิ้งของโรงกลั่น น้ำมันปิโตรเลียม ด้วย *Rhodotorula rubra* และ *Pseudomonas aeruginosa* ที่แยกได้จากดิน โดยน้ำทิ้งมี สารละลายอีเธอร์ ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ใช้น้ำทะเลสังเคราะห์ 1 ลิตร ประกอบด้วย (NH₄)₂SO₄ 0.6, MgSO₄.7H₂O 0.7, KH₂PO₄ 1.0, NaCl 0.5 และ CaCl₂.2H₂O 0.4 กรัมต่อลิตร จำนวนเซลล์ 10⁷ เซลล์ต่อมิลลิลิตร (10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ปล่อยอากาศที่ผ่านการกรองแบคทีเรีย 1 ปอนด์ต่ออนาที หลังการศึกษา 7 วัน พบว่า *Rhodotorula rubra* ทำให้ ค่าซีโอดี (COD) ลดลง 50 - 60 เปอร์เซ็นต์, ค่าบีโอดี (BOD) ลดลง 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *Pseudomonas* COD ลดลง 14 เปอร์เซ็นต์, BOD ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ในตัวควบคุม COD ลดลง 8.0 เปอร์เซ็นต์ และ BOD ลดลง 4.7 เปอร์เซ็นต์ มีการสลายสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว 88 เปอร์เซ็นต์ สารอะโรมาติก 63 เปอร์เซ็นต์ และสารแอสฟาลติก (asphaltic) 13 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า *Rhodotorula rubra* ทำการสลายสารไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า *Pseudomonas aeruginosa*

Shailubhai (1986) รายงานว่า แบคทีเรีย ยีสต์ actinomycetes และเชื้อรา 31 กลุ่ม กว่า 100 ชนิด สามารถใช้น้ำมันปิโตรเลียมในการเจริญเติบโตได้ และให้ผลิตภัณฑ์ คือ อัลกอฮอล์, ฟีนอล, เอสเทอร์, อัลดีไฮด์, คีโตน และกรดอะมิโน เมื่อนำการออกซิไดซ์ขั้นสุดท้าย จะได้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

น้ำ และเซลล์ใหม่ โดยจุลินทรีย์ มักกระจายอยู่บริเวณส่วนบนของดิน ปล่องน้ำเสียที่มีน้ำมันปนเปื้อนสู่ ลานดินดังกล่าว ประมาณ 1 สัปดาห์ ปริมาณน้ำมันในดินลดลง

สุจิตรา เชาว์ปรีชา (2530) ศึกษาหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบอะเรเบียนชนิดเบา ในรูปที่ละลายน้ำต่อ ลูกปลากะพงขาว *Lates calcarifer* ใช้วิธีวิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง เต็มออกซิเจน และ เลี้ยงในตู้ทดลอง พบว่า ค่า LD₅₀ ใน 96 ชั่วโมง เท่ากับ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความเป็นพิษของ น้ำมันดิบในรูปที่ละลายน้ำ มีผลในช่วง 48 ชั่วโมงแรก ส่วนการศึกษาพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ พบว่า กิ่งเหงือกมีอาการบวมน้ำ และเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น นอกจากนี้ ยังเกิดการโป่งพองของกิ่งเหงือกใน น้ำมันดิบเข้มข้น 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 18 วัน olfactory lamellae มีเซลล์สร้างเมือกเพิ่มขึ้น และเห็นได้ชัดในความเข้มข้น 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการ เสื่อมสภาพของเซลล์ตับ ชนิดที่มีไขมันเพิ่มมากขึ้น ในน้ำมันดิบเข้มข้น 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.46 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพของ เนื้อเยื่อเหล่านี้ ขึ้นกับ ความเข้มข้น และระยะเวลาในการเลี้ยง

Marowitch, Dale, และ Hoddinott (1988) ทดสอบผลกระทบของน้ำมันดิบ และสารเคมีกำจัด น้ำมัน ต่อการจับไนโตรเจนจากอากาศ ในพวก cyanobacteria โดย *Nostoc species* ใช้สารเคมีกำจัด น้ำมัน 3 ชนิด ได้แก่ corexit 9500, corexit 9550 และ corexit 7664 สารเคมีกำจัดน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ทำให้เอนไซม์ nitrogenase หยุดการทำงาน หลังการทดลอง 7 ชั่วโมง เมื่อนำไปทดลองภาคสนาม ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ผลคล้ายคลึงกัน และผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากที่ขบบริเวณชายฝั่ง ประเทศแคนาดา เทียบมาตรฐาน พบว่า ไม่เป็นอันตราย และเมื่อใช้ corexit 9500 ทำให้ความเข้มข้นของ แสงลดลง มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี และมีองค์ประกอบบางอย่างที่รบกวนเยื่อหุ้มเซลล์ ในวันที่ 7 ของการ ทดลอง เห็นความแตกต่างชัดเจนขึ้น เทียบกับ ตัวควบคุม (corexit 7664) และหากใช้ความเข้มข้นสูงจะ เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต

Qudot (1989) ศึกษาปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนบริเวณป่าโกงกาง สามเหลี่ยม Mathakam ที่มี การปนเปื้อนน้ำมัน ประเทศอินโดนีเซีย เป็นเวลา 12 เดือน พบว่า การลดลงของสารไฮโดรคาร์บอน เกี่ยวข้องกับ การกำจัดทางกายภาพ และการสลายทางชีวภาพของ *Phodococcus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Aspergillus spp.* และ *Trichoderma spp.* คือ มีการลดลงของสารไฮโดรคาร์บอน ปริมาณ 15 กรัมต่อตารางเมตรต่อเดือน และ สารไนโตรเจน เป็นปัจจัยจำกัดการลดลงของสารไฮโดรคาร์บอนพวกโพลีไซคลิกอัลเคน และสารอะโร มาติก ลดลงช้ากว่า พวกสารอัลเคน และพวกโมเลกุลใหญ่ ลดช้ากว่า โมเลกุลเล็ก

Wong, และ Goldsmith (1988) ศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาในปอดผืนสภาพ ขนาด 500 แกลลอนของโรงกลั่นน้ำมัน โดยเติม *Pseudomonas* sp. ร่วมกับ *Bacillus* sp. ที่แยกได้จากธรรมชาติ และสามารถสลายสารอินทรีย์ในน้ำมันปิโตรเลียม อยู่ในระบบ 8 ชั่วโมง pH เริ่มที่ 7.0 ส่วนผสมเป็นน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมัน, น้ำจากครัวเรือน และน้ำตาลอย่างง่าย ๆ ตรวจก่อน และหลังผ่านระบบ เพิ่มสูงสุดค่าคงที่ K เพิ่มจาก 0.47 เป็น 0.95 ต่อวัน, DO เข้า 1.04 ออก 3.75, ค่า pH 7.4 - 7.5 ออกจากระบบ 7.1

Goldsmith, และ Balderson (1988) ศึกษาการสลายทางชีวภาพ และพลังงานจลน์ การเจริญเติบโต ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ใส่เบนซีน, โทลูอิน และไซลีน เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ที่แยกจากบริเวณที่มีการปนเปื้อนแก๊สไซลีน (gasoline) เป็นระยะเวลาสั้น ทำการทดลองแบบ batch - culture ให้ออกซิเจน และเก็บตัวอย่าง แบบสุ่มทุก ๆ 30 - 60 นาที เพื่อตรวจวิเคราะห์ ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี วิเคราะห์พลังงานจลน์ และอัตราการเจริญเติบโต จากค่าดูดซับแสง ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร กับตะกอนที่ตกค้างบนกระดาษกรอง ความพรุน 0.2 ไมโครเมตร ที่ระยะเวลา และสารตั้งต้นต่าง ๆ ได้แก่ เบนซีน 1224, โทลูอิน 1119, พาราไซลีน 1065 และ BTX 1354 ค่าสหสัมพันธ์สัมพันธภาพ (correlation coefficient) อยู่ในช่วง 0.92 - 0.97 ทุกการทดลอง แสดงว่า มวลที่ถูกสร้างขึ้น จะขึ้นกับ ปริมาณสารตั้งต้น ส่วนพลังงานจลน์มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โทลูอินถูกใช้สูงสุด และเป็นสารตัวแรกที่ถูกนำไปใช้ ส่วนเบนซีน และพาราไซลีน อยู่ในระดับเดียวกัน

EPA (1990) รายงานความเป็นไปได้ของ การเติมธาตุอาหาร เพื่อเร่งกระบวนการสลายคราบ น้ำมัน โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ พบว่า จุลินทรีย์กว่า 200 ชนิด ทั้งแบคทีเรีย, ยีสต์ และราต่าง ๆ สามารถสลายสารไฮโดรคาร์บอน ได้เป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และกรดไขมัน ได้เร็วขึ้น โดยการเติมสารอาหารในรูปของปุ๋ย ซึ่งมีทั้งแบบอัดแท่ง, ฉีดพ่น ประมาณ 2 สัปดาห์ สามารถพบความแตกต่างของขนาดที่เพิ่มสารอาหารกับ ขนาดที่ไม่เพิ่มสารอาหาร นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาผลกระทบของการเติมปุ๋ยต่อปลาต่างๆ, หอย และกุ้ง พบว่า องค์ประกอบบางชนิดของปุ๋ยประเภทละลายได้ในน้ำมัน มีพิษต่อสัตว์น้ำที่มีความไวต่อสารพิษ เช่น ตัวอ่อนของหอย เป็นต้น แต่เมื่อมีการศึกษาในสิ่งแวดล้อม ไม่พบการสะสมในเนื้อเยื่อ และการตายของหอย

Vannelli, และคณะ (1990) ศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพของสารไฮโดรคาร์บอน โดยจุลินทรีย์ที่ชายฝั่งอลาสกา พบว่า *Nitrosomonas europaea* สามารถใช้คาร์บอนอะตอมจากสารประกอบเฮโลจีเนเตด อะลิฟาติก ไดคลอโรมีเทน (halogenated aliphatic compounds dichloromethane) ให้ไนโตร แต่ถ้าเป็นไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) จะได้ในไตรท์น้อยลง 10 - 80 เท่า ส่วนคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl₄) จะไม่ถูกสลาย และยังมีฤทธิ์ยับยั้งการถูกสลายตัวของสารประกอบตัวอื่น ๆ

Brown, Goudey ,และ Foghy (1990) ศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดน้ำมัน ในทะเลสาบที่ปนเปื้อนน้ำมัน คือ บริเวณที่มีการขุดบ่อน้ำมัน 2 แห่ง โดยแห่งหนึ่งไม่เติม corexit พบว่า ทะเลสาบที่เติมสารเคมี สามารถลดปริมาณน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ พบพืชบริเวณชายฝั่ง ส่วนที่ไม่มีการเติมสารเคมีใด ๆ เหี่ยวเฉา และตายในที่สุด ต่อมา 1 เดือน จึงมีการเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้ยังพบว่า ฤดูกาลมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่า น้ำมันที่รั่วไหลมีพิษต่อพืชอย่างไรก็ดี พบว่า น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และปกคลุมที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ

ศิริพร เหลืองนฤทัย (2536) ศึกษาการสลายตัวของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ในน้ำทะเล โดย *Flavobacterium meningosepticum* และ *Pseudomonas fluorescens* ในห้องปฏิบัติการ พบว่า *Flavobacterium meningosepticum* และ *Pseudomonas fluorescens* มีการแบ่งตัวต่อรุ่นได้ดีที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นน้ำมันดิบ 3 กรัมต่อลิตร (3.87 ชั่วโมง และ 5.89 ชั่วโมง ตามลำดับ) *Flavobacterium meningosepticum* เจริญเติบโตได้ดีกว่า *Pseudomonas fluorescens* แต่เมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบสูงขึ้น (5 กรัมต่อลิตร) *Flavobacterium meningosepticum* เจริญเติบโตได้น้อยกว่า *Pseudomonas fluorescens* ส่วนการหาปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่สามารถละลายในน้ำทะเลได้ 2.22 - 3.60 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 0.22 - 0.36 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามมาตรฐานน้ำมันดิบ และ 0.03 - 0.50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักตามมาตรฐานไครซีน (chrysene) *Flavobacterium meningosepticum* และ *Pseudomonas fluorescens* สามารถลดปริมาณสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ที่ละลายในน้ำทะเล ตัวอย่าง ที่ระดับความเข้มข้นน้ำมันดิบปนเปื้อนต่าง ๆ ภายใน 30 วัน ได้ 5 -11 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนัก หรือ 0.11 - 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ยุวเรศน์ เอมแย้ม (2537) ศึกษาการสลายตัวของสารนอร์มัลอัลเคนในน้ำจืด โดย *Pseudomonas fluorescens* และ *Alcaligenes facalis* ในห้องปฏิบัติการ พบว่า *Pseudomonas fluorescens* มีการแบ่งตัวต่อรุ่นได้ดีที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมัน 0.3 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) คือ 2.68 ชั่วโมง *Alcaligenes facalis* มีการแบ่งตัวต่อรุ่นได้ดีที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมัน 0.2 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) คือ 4.01 ชั่วโมง และการสลายตัวของสารนอร์มัลอัลเคนในน้ำตัวอย่างที่ฆ่าเชื้อ สามารถลดได้ ประมาณ 37 - 54 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการสลายตัวของสารนอร์มัลอัลเคนในน้ำตัวอย่างที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อสามารถลดได้ประมาณ 46 - 75 เปอร์เซ็นต์