

ผลของความเป็นพิษของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ
ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของกุ้งกุลาดำ

Penaeus monodon (Fabricius)

Toxic Effects of Water Soluble Fractions of Diesel Oil, Fuel Oil and
Lubricating Oil on some Physiological Responses of the Giant Tiger Prawn

Penaeus monodon (Fabricius)

คำนำ

น้ำมันปิโตรเลียมเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศทางเศรษฐกิจและการดำเนินกิจกรรมอุตสาหกรรม เนื่องจากการนำน้ำมันไปใช้ในเครื่องยนต์ เครื่องจักรกลต่างๆ เป็นองค์ประกอบของการพัฒนาอุตสาหกรรมทุกประเภท และมีคุณค่าอย่างยิ่งต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ ซึ่งได้นำพลังงานจากน้ำมันมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ เพื่อสนองความต้องการ และความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต ในโลกปัจจุบันความต้องการในการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา ดังเช่นประเทศไทยที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงถึงร้อยละ 70 ของการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด (ชรินทร์, 2533) โดยใช้น้ำมันดีเซล ร้อยละ 41 เป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ น้ำมันเตา ร้อยละ 26 (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2541) ซึ่งน้ำมันที่ใช้ในประเทศมีที่มาจากแหล่งน้ำมันภายในประเทศและการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อนำมาใช้ให้เพียงพอกับความต้องการ

การขนส่งน้ำมันจากแหล่งผลิตไปยังภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก ส่วนใหญ่ขนส่งทางเรือบรรทุกน้ำมันซึ่งสามารถขนส่งได้ในปริมาณมาก สะดวก ประหยัด และปลอดภัย แหล่งผลิตน้ำมันแหล่งใหญ่อยู่ในประเทศกลุ่มตะวันออกกลาง โดยมีเส้นทางขนส่งน้ำมันทางเรือมายังภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ผ่านมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ช่องแคบมะละกาผ่านจีนมายังอ่าวไทยสู่ทะเลจีนใต้และสิ้น สุดที่ประเทศญี่ปุ่น ตามลำดับ ทั้งนี้หากมีอุบัติเหตุเกิดการรั่วไหลประเทศไทยอาจจะได้รับผลกระทบต่อทรัพยากรชายฝั่ง ทั้งทางด้านทะเลอันดามันตอนใต้ และบริเวณอ่าวไทยตอนบน รวมทั้งบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างและชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย แต่เดิมมีความเชื่อว่า น้ำในทะเลและมหาสมุทรมีปริมาณมาก กลไกรธรรมชาติสามารถกำจัดสารมลพิษได้ น้ำทะเลจะไม่เน่า

เสีย แต่ในที่สุดกิจกรรมของมนุษย์ขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้มีการปล่อยสารมลพิษมากมายหลายชนิด ไหลลงสู่ทะเลจนธรรมชาติไม่สามารถรองรับได้ และที่สำคัญมนุษย์ได้ปล่อยสารเคมีที่มีพิษที่ธรรมชาติกำจัดไม่ได้ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งมนุษย์เองด้วย น้ำมันเป็นสารเคมีประเภทหนึ่งที่สลายตัวได้ยาก สามารถแพร่กระจายไปทั่วพื้นน้ำได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวาง โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่นที่มีจุดเดือดสูง ระเหยได้น้อยมากจึงตกค้างบนผิวน้ำเป็นเวลานาน (สิทธิชัย, 2541) ซึ่งน้ำมันเตามีการรั่วไหลลงสู่ทะเลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50.57 รองลงมาคือ น้ำมันดีเซล ร้อยละ 12.64 (ชนะชัย, 2542) สำหรับเรือประมงจะมีการใช้น้ำมันดีเซลชนิดหมุนช้า น้ำมันเตาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้น้ำมันหล่อลื่นในการป้องกันการสึกหรอ ลดแรงเสียดทาน เป็นตัวกลางในการระเหยความร้อน กรมควบคุมมลพิษได้มีการรายงานถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลในประเทศไทยมากที่สุด (พ.ศ. 2516 – พ.ศ. 2541) คือการลักลอบปล่อยน้ำมันจากท้องเรือและน้ำมันเครื่อง รองลงมาคือการรั่วไหลระหว่างขนถ่ายน้ำมัน โดยน้ำมันเหล่านี้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายก่อนทุกครั้งที่ใช้งานหมดประสิทธิภาพ เพราะน้ำมันเป็นสารที่กำจัดได้ยาก ทำให้ผู้ประกอบการประมงทั้งเรือขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ ลักลอบทิ้งน้ำมันที่ใช้แล้วลงสู่บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ เมื่อเกิดการสะสมของน้ำมันเหล่านี้มากขึ้น ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งในรูปที่เป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศวิทยา ห่วงโซ่อาหาร ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งเมื่อน้ำมันถูกพัดพาเข้าหาฝั่ง รวมถึงแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่จะได้รับผลกระทบจากพิษของน้ำมันโดยตรง จึงมีความจำเป็นที่ต้องเตรียมการวางแผน มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหานี้เนื่องจากพิษของน้ำมันที่มีต่อสัตว์น้ำเมื่อมีการรั่วไหล เพื่อจะสามารถดำเนินการจัดการกับน้ำมันได้ด้วยความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เป็นสัตว์ทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นอกจากจะมี การพบมากในธรรมชาติเขตร้อน (Tropical zone) ได้แก่ ประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์แล้ว ยังมีกิจการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำเป็นจำนวนมากตามบริเวณชายฝั่ง กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่ชอบหมกตัวและอยู่ตามหน้าดินโดยลูกกุ้งวัยอ่อนจะเคลื่อนเข้าสู่บริเวณชายฝั่งและกุ้งวัยรุ่นจะใช้บริเวณแหล่งน้ำกร่อย ชายฝั่งในการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำมันได้ง่าย ทำให้กุ้งกุลาดำได้รับผลกระทบจากน้ำมันโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งแบบเฉียบพลันและในระยะยาว ต่อเนื่อง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของกุ้งกุลาดำในระบบการทำงานต่างๆ ภายในร่างกาย อาทิเช่น การลอกคราบ การกินอาหาร ความสามารถในการดูดซึม

อาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ซึ่งกุ้งอาจจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายนอก ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพื่อความอยู่รอดต่อไป

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาในห้องทดลอง ทำการทดลองวิจัยเกี่ยวกับค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำที่ทำให้กุ้งกุลาดำมีอัตราการตายร้อยละ 50 ความเป็นพิษเรื้อรังของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของกุ้งกุลาดำ ได้แก่ อัตราการลอกคราบ อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการดูดซึม อัตราการหายใจ อัตราการขับถ่าย ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ รวมถึงค่าระดับความปลอดภัยของสารพิษที่ใช้ในการทดลองต่อกุ้งกุลาดำ ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญอีกประการหนึ่ง เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ การจัดทำข้อเสนอแนะ หามาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเล โดยเฉพาะในอ่าวไทย และอันดามัน ซึ่งเป็นเขตที่มีกิจการประมงทะเล และกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่เป็นรายได้หลักอย่างหนึ่งของประชากร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นพิษของ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง โดยใช้ค่า LC_{50} เป็นตัวบ่งบอกความเป็นพิษ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นพิษของน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำต่อกุ้งกุลาดำเมื่อได้รับสารพิษในระยะเวลา 96 ชั่วโมง
3. เพื่อศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง ด้านการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของกุ้งกุลาดำที่มีต่อน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ

การตรวจเอกสาร

1. น้ำมันปิโตรเลียม

คำว่าปิโตรเลียมนี้ มาจากคำในภาษาละตินสองคำ คือ Petra แปลว่า หิน และ Oleum ซึ่งแปลว่า น้ำมัน เมื่อนำทั้งสองคำมารวมกันจะเป็นคำว่า Petroleum หมายถึง น้ำมันที่ได้จากหิน ตามพระราชบัญญัติปิโตรเลียม พ.ศ. 2514 ปิโตรเลียม หมายถึง น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติเหลว สารพลอยได้ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และอยู่ในสภาพอิสระ ไม่ว่าจะเป็นมีลักษณะเป็นของแข็ง ของหนืด ของเหลว หรือก๊าซ และให้หมายความถึง บรรดาไฮโดรคาร์บอนหนักที่อาจนำขึ้นมาจากแหล่งผลิตโดยตรง โดยใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี แต่ไม่หมายความรวมถึงถ่านหิน หินน้ำมัน หรือหินอื่นที่สามารถนำมากลั่นเพื่อแยกเอาน้ำมันด้วยการใช้ความร้อนหรือกรรมวิธีทางเคมี (กรมทรัพยากรธรณี, 2525) ซึ่งเกิดขึ้นชั้นของหินดินดานที่เรียกว่า หินต้นกำเนิด (Source rock) ต่อมาเมื่อผิวโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนของตะกอนนี้จะจมตัวลงเรื่อยๆ พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงในสารอินทรีย์เหล่านั้น ถูกแรงกดทับมากขึ้นจนไหลไปรวมกันที่หินทราย หินปูนที่พูน เรียกว่า หินกักเก็บปิโตรเลียม (Reservoir rock) และเมื่อมีหินปิดกั้นปิโตรเลียม (Cap Rock) มาปิดกั้นไว้ บริเวณที่ปิโตรเลียมสะสมอยู่จะเรียกว่า แหล่งเก็บกักปิโตรเลียม (Petroleum trap) ซึ่งมีโครงสร้างได้หลายลักษณะ เช่น โครงสร้างรูปโค้งประทุนคว่ำ (Anticline Trap) โครงสร้างรูปรอยเลื่อนของชั้นหิน (Fault trap) โครงสร้างรูปโดม (Domal trap) และโครงสร้างรูประดับชั้น (Stratigraphic trap) อิทธิพลของความร้อนและความกดดันภายใต้ชั้นธรณีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์จากกรดฟูลวิก เป็นฮิวมิน คีโรเจน และปิโตรเลียมในที่สุด (สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย, 2545)

ปิโตรเลียมเป็นสารที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นสารประกอบหลัก หรือเรียกว่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยมีคาร์บอนร้อยละ 82 – 87 ไฮโดรเจนร้อยละ 11 – 15 และอาจมีธาตุอโลหะชนิดอื่น เช่น กำมะถันร้อยละ 0.1 – 6 ไนโตรเจนร้อยละ 0.01 – 3 และออกซิเจนปนอยู่ด้วย สารประกอบนี้มีตั้งแต่โมเลกุลเล็ก ๆ จนถึงโมเลกุลใหญ่ๆ ปิโตรเลียมเป็นได้ทั้งในสภาพก๊าซของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของปิโตรเลียมเป็นสำคัญ โดยสามารถแบ่งปิโตรเลียมตามสถานะที่สำคัญได้ 2 ชนิดคือ น้ำมันดิบ ตามสถานะธรรมชาติเป็นของเหลวมีสีดำหรือน้ำตาล ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนชนิดระเหยง่าย ที่เหลือเป็นสารกำมะถัน ไนโตรเจน และสารประกอบออกไซด์อื่นๆ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.80 - 0.97 ที่ 15.6 องศา

เซลเซียส ซึ่งเบากว่าน้ำ ดังนั้นเมื่อน้ำมันดิบไปรวมกับน้ำ น้ำมันดิบจะลอยอยู่บนน้ำ และอีกชนิดคือก๊าซธรรมชาติเป็นปิโตรเลียมที่อยู่ในรูปของก๊าซ ณ อุณหภูมิ และความกดดันที่ผิวโลก ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 95 ส่วนที่เหลือ ได้แก่ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่ด้วย (อำพล และ สายันต์, 2545)

2. องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปิโตรเลียม

ในน้ำมันดิบมีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจึงมีการจำแนกไฮโดรคาร์บอนตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1. อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีโครงสร้างอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นห่วงโซ่เปิด (Open chain) อาจจะเป็นแบบโซ่ตรง (Continuous chain) หรือมีกิ่งก้าน (Branch chain) ก็ได้ คาร์บอนแต่ละอะตอมจะต่อกับไฮโดรเจน 4 อะตอม มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n+2} หรือเรียกว่า อัลเคน (Alkanes) น้ำมันดิบที่มีองค์ประกอบของสารในกลุ่มนี้มากเรียกว่า Paraffin base crude oils

2. อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (Alicyclic hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่อะตอมของคาร์บอนจับตัวกันเป็นวง (Ring) มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n} น้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มนี้มากเรียกว่า Naphthalene base crude oils

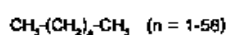
3. โอลิฟินิกไฮโดรคาร์บอน (Olefinic hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่อะตอมคาร์บอนต่อกันเป็นห่วงโซ่เปิด มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n} เป็นพวกที่มีพันธะคู่ (Double bond) หรือพันธะสาม (Triple bond) สารกลุ่มนี้ไม่พบในน้ำมันดิบ แต่พบในผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ เรียกกลุ่มนี้ว่า Aliphatic unsaturated hydrocarbons

4. อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbons) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวและมีวงแหวนเบนซีน (Benzene ring) เป็นองค์ประกอบ มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_nH_{2n-6} กลุ่มนี้รวมถึงสารพวกโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) นับว่าเป็นกลุ่มที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากกว่ากลุ่มอื่นๆ เนื่องจาก

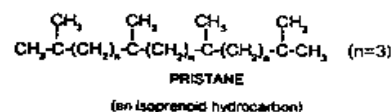
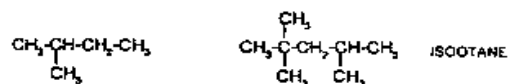
เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic hydrocarbon) กลุ่มหนึ่ง บางครั้งเรียกรวมกันว่า Unsaturated cyclic hydrocarbons (เกสินี, 2544; กัลยา, 2531)

Aliphatic Hydrocarbon

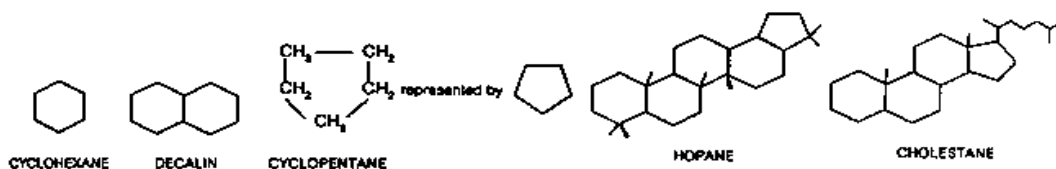
n-Alkanes



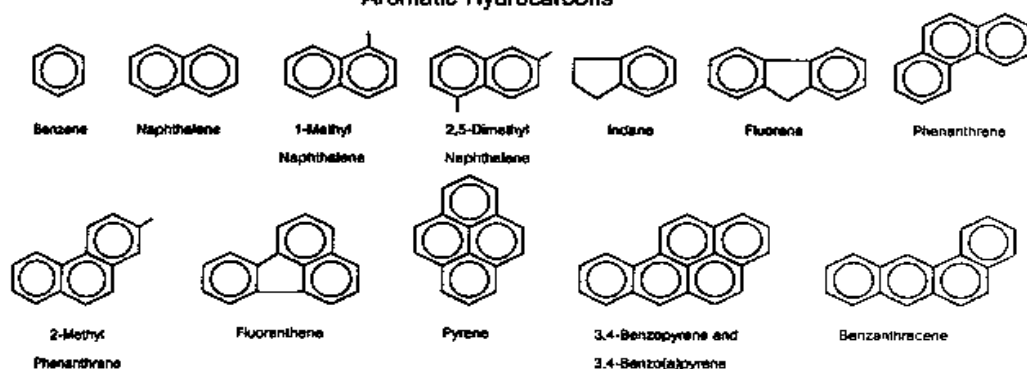
Isoalkanes



Cycloalkane

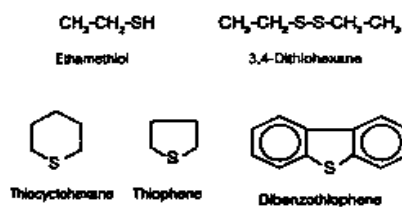


Aromatic Hydrocarbons

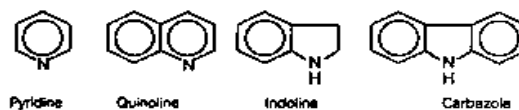


NSO Compounds

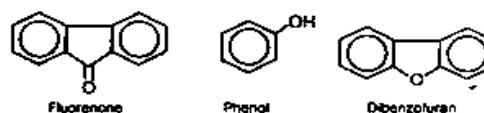
Sulfur Compounds



Nitrogen Compounds



Oxygen Compounds



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบางชนิด

ที่มา: จุมพล (2548)

3. กระบวนการกลั่นน้ำมัน

การกลั่นน้ำมันเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำมันดิบเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ การกลั่นน้ำมันส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation) ซึ่งเป็นการแยกส่วนประกอบน้ำมันดิบทางด้านกายภาพ อาศัยความแตกต่างของจุดเดือดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ ในน้ำมันดิบ โดยน้ำมันดิบจะถูกส่งผ่านเข้าไปในท่อเหล็กที่เรียงเป็นแถวอยู่ในเตาเผาและมีความร้อนประมาณ 315 - 371 องศาเซลเซียส (600 - 700 องศาฟาเรนไฮต์) หลังจากนั้นน้ำมันดิบที่ร้อนรวมทั้งไอร้อนจะไหลผ่านเข้าไปในหอกลั่นบรรยากาศ (Atmospheric fractionating tower) ไอร้อนที่ลอยขึ้นไปบนหอกลั่นเมื่อได้รับความเย็นจะกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวบนถาด (Tray) ที่เรียงกันเป็นชั้นๆ ในหอกลั่น ไอร้อนจะกลั่นตัวเป็นของเหลวในถาดชั้นขึ้นอยู่กับช่วงจุดเดือดของน้ำมันส่วนนั้น ชั้นบนสุดของหอกลั่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำที่สุดจะได้ก๊าซ ถัดลงมาซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจะเป็นส่วนประกอบของน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล ตามลำดับ ส่วนน้ำมันที่ก้นหอกลั่นที่ไม่ระเหยกลายเป็นไอจะนำไปผ่านหอกลั่นสูญญากาศเพื่อแยกเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำมันเตาและยางมะตอย (ประเสริฐ และคณะ, 2544) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนต่างๆ ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันปิโตรเลียม

ชื่อส่วนต่างๆ	จุดเดือด (° C)	สถานะ	จำนวนอะตอมของ คาร์บอนในโมเลกุล	ประโยชน์
ก๊าซธรรมชาติ ¹ (Natural gas)	< 40	แก๊ส	C ₁ - C ₄	เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ใช้หุงต้ม
ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether)	30-100	ของเหลว	C ₅ - C ₇	เป็นตัวทำละลาย
น้ำมันเบนซิน ² (Gasoline)	40-180	ของเหลว	C ₅ - C ₁₀	เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ประเภทเผาไหม้ภายใน
น้ำมันก๊าด (Kerosene)	180-250	ของเหลว	C ₁₁ - C ₁₂	เป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินไอ พ่น และใช้จุดตะเกียง

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชื่อส่วนต่างๆ	จุดเดือด (° C)	สถานะ	จำนวนอะตอมของ คาร์บอนในโมเลกุล	ประโยชน์
น้ำมันดีเซล (Diesel oil)	250-350	ของเหลว	$C_{13} - C_{14}$	เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ดีเซล ส่วนที่ใช้กับรถยนต์ และเรือเรียกว่า ดีเซลหมุน เร็ว ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า น้ำมันโซล่า ส่วนที่ใช้กับ เครื่องยนต์ตามโรงงาน เรียกว่า ดีเซลหมุนช้า ซึ่ง ชาวบ้านเรียกว่า น้ำมันจีไอ
น้ำมันเตา (Furnace oil)	250-350	ของเหลว	$C_{15} - C_{17}$	เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil)	305-405	ของเหลว	$C_{18} - C_{25}$	เป็นน้ำมันหล่อลื่น
จารบี (Grease)	405-515	ครึ่งเหลว ครึ่งแข็ง	$C_{18} - C_{22}$	ใช้หล่อลื่น
ไขพาราฟิน (Paraffin wax)	405-515	ครึ่งเหลว ครึ่งแข็ง	$C_{26} - C_{38}$	ทำเทียนไข และขี้ผึ้ง วาสลีน
แอสฟัลต์ (Asphalt)	405-515	ของแข็ง	$C_{38} \dots$	ราดถนน

¹ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สธรรมชาติ คือ มีเทน ซึ่งไม่มีสีและไม่มีกลิ่น แต่ที่เราได้กลิ่นเวลาใช้นั้นเนื่องจากการเติมสารประกอบกำมะถันเข้าไป เพื่อป้องกันอันตราย หากเกิดมีแก๊สรั่วจะได้มีกลิ่น

² น้ำมันเบนซินเป็นของผสมของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่ตรงหรือโซ่ที่มีกิ่งสาขาแตกต่างจากเบนซินซึ่งเป็นสารประกอบอะโรมาติก

ที่มา: คณะอนุกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาเคมี ตามโครงการปรับปรุงของ
หลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัยของทบวงมหาวิทยาลัย (2537)

4. น้ำมันดีเซล (Diesel Oil)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ มีความหนืดสูง เผาไหม้ยาก ก่อให้เกิดเขม่าและควันดำ มีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น รถไฟ รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เรือประมง

น้ำมันดีเซล ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอนที่มีแขนตรง (N - paraffin hydrocarbons) ไอโซพาราฟิน และพาราฟินแบบกิ่ง (Isoparaffin and branched paraffin) ไชโคลพาราฟิน หรือแนฟทีน (Cycloparaffins or naphthalene) และอะโรมาติก 2 วงแหวน พวกลแนฟทาไลน์ (Naphthalene) นอกจากนี้ในน้ำมันดีเซลมีสารประกอบกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (ปราโมทย์, 2537)

ประเภทของน้ำมันดีเซล

มีหลายหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับด้านเชื้อเพลิงหรืองานด้านอุตสาหกรรมได้กำหนดประเภทของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด เช่น

สมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (ASTM) แบ่งเกรดของน้ำมันดีเซลออกเป็น 3 ชนิดคือ

น้ำมันดีเซล No. 1-D

น้ำมันดีเซล No. 2-D

น้ำมันดีเซล No. 4-D

United States Bureau of Mines (USBM) ได้แบ่งเกรดของน้ำมันออกเป็น 4 ชนิด คือ

เกรด 1 ใช้สำหรับรถโดยสาร หรือรถและเครื่องยนต์ประเภทเดียวกับรถโดยสาร

เกรด 2 ใช้สำหรับรถบรรทุก รถแทรกเตอร์ หรือเครื่องยนต์ประเภทนี้ทั่วไป

เกรด 3 ใช้สำหรับรถไฟที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล

เกรด 4 ใช้สำหรับเรือเดินทะเล หรือสำหรับโรงผลิตกระแสไฟฟ้า

สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel) มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น น้ำมันโซล่า, ADO, ดีโซลิน เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที ซึ่งได้แก่รถปิคอัพ รถบรรทุก รถโดยสาร เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และอุปกรณ์ก่อสร้าง หรือใช้เผาไหม้ให้ความร้อนในงานอุตสาหกรรม

2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low speed diesel) บางครั้งเรียกว่า น้ำมันจีโต้ หรือ IDO เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง (ระหว่าง 300 - 1,000 รอบต่อนาที) และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า (ต่ำกว่า 300 รอบต่อนาที) เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้กับเรือประมง เรือเดินสมุทร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ น้ำมันชนิดนี้มีสีเข้มกว่าชนิด ADO (โอภาส และ ศิริวรรณ, 2546)

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

ความต้องการพื้นฐานของน้ำมันดีเซลคือ ต้องจุดระเบิดได้เองและเผาไหม้ได้หมดภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ สามารถส่งถ่ายได้ด้วยอุปกรณ์การฉีดน้ำมัน และต้องเหมาะสมกับการส่งถ่ายจากโรงกลั่นถึงน้ำมันเครื่องยนต์โดยไม่เสื่อมสภาพและไม่เกิดอันตรายต่อพื้นผิวที่สัมผัสอยู่

1. การติดไฟ (Ignition quality) แสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การจุดระเบิดหรือติดไฟได้เองจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยประเภท Normal paraffin จะติดไฟได้เร็วที่สุด ส่วนพวกอะโรมาติกโดยเฉพาะที่มีจำนวนวงแหวนมากจะติดไฟได้ช้า คุณสมบัติเหล่านี้แสดงออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทน (Cetane number)

2. ความสะอาด (Cleanliness) น้ำมันดีเซลต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น ต้องมีตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่าที่น้อยที่สุด เนื่องจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้ปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

3. การกระจายเป็นฝอย (Fluidity – atomization) คุณสมบัติขึ้นอยู่กับความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้การกระจายเป็นฝอยได้ดี

4. ค่าการระเหย (Volatility) ความสามารถในการระเหยของน้ำมันจะมีผลต่อจุดเดือด (Boiling point) จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ของน้ำมันดีเซล ที่มีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 138 - 385 องศาเซลเซียส (280 - 725 องศาฟาเรนไฮต์)

5. อัตราซีเทน (Cetane number) เป็นค่าที่ใช้แสดงคุณภาพของน้ำมันดีเซลที่มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ เทียบกับปริมาณของซีเทนเป็นกรัมที่ผสมกับแอลฟามะซิลแนฟทาไลน์ในน้ำมัน 100 กรัม ค่าซีเทนต่ำเบอร์ควรให้สูงพอกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้ติดเครื่องยนต์ง่าย เป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิง (ประเสริฐ และคณะ, 2544; โอภาส และ ศิริวรรณ, 2546)

5. น้ำมันเตา (Fuel Oil)

ความหมายของน้ำมันเตาที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2538) หมายถึง สิ่งกลั่นหนักหรือน้ำมันที่เหลืออยู่ที่ก้นหอกลั่นหรือทั้งสองอย่างผสมกัน ใช้เป็นเชื้อเพลิง

น้ำมันเตาจัดเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรม เพราะราคาถูก ใช้งานง่าย ให้ความร้อนสูง ไม่มีจีเอ็ม มืองค์ประกอบสำคัญคือ Alkane ร้อยละ 30 Cycloalkane ร้อยละ 45 และ Aromatic ร้อยละ 25 ส่วนใหญ่จะใช้กับหม้อน้ำ เตาเผา เตาหลอมในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศแถบหนาวนิยมใช้น้ำมันเตาเพื่อสร้างความอบอุ่นในบ้านเรือน นอกจากนี้ยังใช้กับเครื่องดีเซลขนาดใหญ่สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเรือเดินทะเล ซึ่งมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น Stove oil, Furnace oil, Burner oil, Bunker oil (Bunker หมายถึง เชื้อเพลิงในเรือ) เนื่องจากน้ำมันเตาได้จากกากที่เหลือในกระบวนการกลั่น กากน้ำมันจึงมีความหนืดมาก ต้องผสมกับสารทำให้เจือจาง (Diluents) เพื่อให้ได้ความหนืดและปริมาณกำมะถันตามต้องการ สารทำให้เจือจางที่ใช้ ได้แก่ พวกน้ำมันดีเซลหรือองค์ประกอบ หรือน้ำมันก๊าดคุณภาพต่ำ (ประเสริฐ และคณะ, 2544)

ไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญในน้ำมันเตา ได้แก่ อะโรมาติกที่มีหลายๆ วงแหวนติดกัน (Polynuclear aromatic) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของ Asphathene ในกากน้ำมัน นอกจากนี้ยัง

ประกอบด้วยสารประกอบกำมะถัน เช่น Mercaptans, Thiophenes และสารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะพวกวานาเดียม และนิกเกิลปนอยู่ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลซับซ้อนประกอบด้วย วงแหวนแนฟทีน หรือวงแหวนอะโรมาติก (ปราโมทย์, 2537)

การแบ่งเกรดน้ำมันเตา

เนื่องจากอุตสาหกรรมต่างๆ มีความต้องการใช้น้ำมันเตาในลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการแบ่งน้ำมันเตาออกเป็นเกรดต่างๆ ตามความหนืดของน้ำมันได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. น้ำมันเตาชนิดเบา (Light Fuel Oil, LFO หรือ Stan Fuel) มีความข้นใส มีค่าความหนืดไม่เกิน 80 cSt ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ประมาณ 600 Redwood) เป็นความหนืดที่ไม่ต้องอุ่นมากนักก็สามารถที่จะเป็นฟอยได้ดี เผาไหม้ง่าย ปริมาณตะกอนและน้ำน้อยกว่าน้ำมันเตาเกรดอื่น และมีราคาแพงกว่า ส่วนมากใช้เผาไหม้ให้ความร้อนกับหม้อน้ำขนาดเล็กทั่วไป เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำ ในงานอุตสาหกรรมทำกระเบื้อง หรือโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตชุมชนที่มีกฎหมายควบคุม

2. น้ำมันเตาชนิดกลาง (Medium Fuel Oil, MFO หรือ Bunker C) น้ำมันชนิดนี้มีค่าความข้นปานกลาง มีความหนืดไม่เกิน 180 cSt ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ประมาณ 1500 Redwood) ในการที่จะเผาน้ำมันเตากลางอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีระบบส่งน้ำมันที่ดีและสามารถกรองสิ่งสกปรกได้ ส่วนมากใช้เผาไหม้ให้ความร้อนแก่หม้อน้ำ เตาเผาขนาดกลาง หรือขนาดเล็กที่มีอุปกรณ์อุ่นน้ำมัน มักใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับโรงงานขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่

3. น้ำมันเตาชนิดหนัก (Heavy Fuel Oil, HFO) น้ำมันชนิดนี้มีค่าความหนืดหรือความข้นสูง มีความหนืดไม่เกิน 280 cSt ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ประมาณ 2500 Redwood) ซึ่งเป็นความหนืดที่สูงมากสำหรับเชื้อเพลิงเหลว และมีจุดไหลเทถึง 30 องศาเซลเซียส เหมาะกับโรงงานที่มีเตาเผาขนาดใหญ่ มีระบบส่งน้ำมันที่ดีและอุปกรณ์อุ่นน้ำมันที่เหมาะสมเพียงพอ โดยมีราคาต่ำกว่าน้ำมันเตาเกรดอื่นๆ

น้ำมันอีกประเภทหนึ่ง เป็นน้ำมันผสมกันระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันเตา เรียกว่าเชื้อเพลิงอินเทอร์มีเดียต (Intermediate fuels) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าขนาดใหญ่ เช่น เรือ

เดินสมุทร หรืออาจเรียกว่า Bunker oil หรือ Marine oil (ประเสริฐ และคณะ, 2544; อัมพล และ
สาขันธ์, 2545; โอภาส และ ศิริวรรณ, 2546)

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเตา

1. ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันเตา ในการใช้แบ่งเกรด
กำหนดราคาน้ำมัน รวมทั้งเป็นเครื่องแสดงถึงอัตราการไหลของน้ำมันเตาและความยากต่อการ
ที่จะถูกฉีดเป็นฝอยละเอียด เพราะความหนืดจะลดลงหรือสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ถ้าทำให้น้ำมัน
เตาร้อนขึ้นพอเหมาะจะช่วยให้การเผาไหม้ดี ไม่เกิดควันและเขม่า
2. ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content) กำมะถันเมื่อเผาไหม้จะรวมกับออกซิเจนในอากาศ
เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และบางส่วนของ SO_2 ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ที่เหลือจาก
การเผาไหม้จะเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ทำให้อากาศเป็นพิษจึงต้องมีการควบคุมปริมาณ
กำมะถันที่อยู่ในน้ำมันเตาให้พอเหมาะ
3. จุดไหลเท (Pour point) จุดไหลเทคืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเตายังคงไหลได้ น้ำมันเตาที่
หนืดๆ มักจะเทไม่ค่อยไหล
4. จุดวาบไฟ (Flash point) จะต้องสูงที่จะสามารถเก็บและขนได้อย่างปลอดภัย
5. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง เป็นค่ากำหนดปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมัน และ
ค่าความหนาแน่นจะกำหนดอัตราส่วนระหว่างคาร์บอน และไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงไม่ให้สูงเกินไป
6. ความสะอาด และการกัดกร่อน ปริมาณน้ำ ตะกอน และปริมาณเถ้า เป็นตัวควบคุมความ
สะอาดของน้ำมัน (ปราโมทย์ และ นุรักษ์, 2543)

6. น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil)

การทำงานของกลไกเครื่องยนต์ต่างๆ จะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่มีสารหล่อลื่นมาใช้ สารหล่อลื่นส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะของเหลว เช่น น้ำมันหล่อลื่น หรือในลักษณะเหนียว เช่น จาระบี บางชนิดอยู่ในรูปของแข็ง ก๊าซ สิ่งเหล่านี้ทำหน้าที่ช่วยหล่อลื่น ลดความฝืดและความสึกหรอ ช่วยระบายความร้อน (Coolant) เป็นตัวกลางนำความร้อนออกจากจุดที่ร้อนจัด (Hot spots) เพื่อป้องกันความเสียหายจากความร้อนที่สูงเกินไป (Overheating) ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อนของชิ้นส่วน และเป็นตัวทำความสะอาดเอาสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบด้วยของแข็งและเศษโลหะเล็กๆ ที่เกิดจากการขัดสีของผิวโลหะออกมาตลอดเวลา สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้จะถูกแยกออกออกไปโดยการกรอง หรือแขวนลอยอยู่ในน้ำมันจนกว่าจะเปลี่ยนน้ำมันใหม่

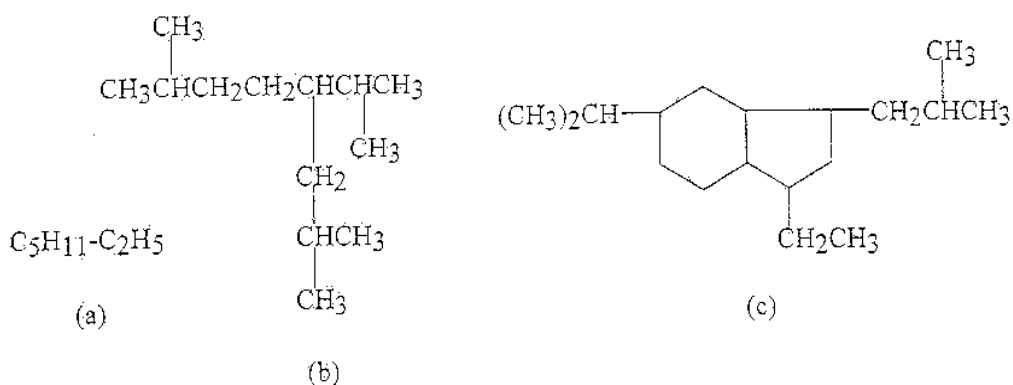
ธิดา (2539) กล่าวว่า น้ำมันหล่อลื่น เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเป็นวัสดุหล่อลื่นที่อยู่ในสถานะของเหลว เป็นสารที่ช่วยลดความเสียดทานเมื่อผิวของของแข็งเสียดสีกัน โดยเฉพาะในเครื่องจักรกล เครื่องยนต์ขณะที่มีการเคลื่อนที่ เมื่อไปใช้กับเครื่องยนต์จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “น้ำมันเครื่อง” (Engine oil)

ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base oil) ตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2541) ได้ให้ความหมายไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมว่าหมายถึง น้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (Re-refining) แล้วผ่านกรรมวิธีจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ เช่น กากเหนียว กลิ่นเหม็น สารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนและอื่นๆ ออก โดยสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ได้แก่ โลหะหนัก สารตัวทำลายคลอรีน สารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนประมาณ 25 ถึง 35 หรืออาจถึง 40 อะตอม

โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีในน้ำมันหล่อลื่นนั้น ประกอบด้วยส่วนที่เป็นโซ่ยาวที่ต่ออยู่กับสารที่เป็นระบบวงแหวนหรือส่วนกิ่งสั้น สารประกอบส่วนใหญ่เป็นพาราฟิน แนฟทีนที่ประกอบด้วยวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่พาราฟิน สำหรับสารประกอบแบบอะโรมาติกที่มีในน้ำมันหล่อลื่นนั้น ปกติจะมีวงแหวนไซโคลพาราฟินต่ออยู่กับโซ่ยาวของพาราฟิน

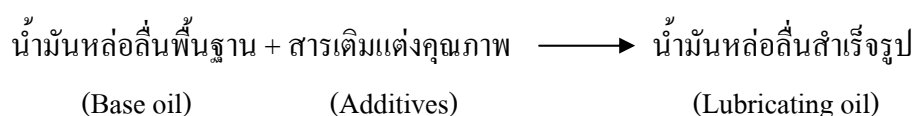
โดยที่สารประกอบอะโรมาติกอาจอยู่ในรูปไบเฟนิลและหรืออนุพันธ์ของไบเฟนิล ส่วนสารประกอบพวกโพลีไซคลิกอื่นตัวนั้น อาจมีวงแหวนทั้งหมดในระบบที่รวมเป็นกลุ่มเดียวหรืออาจมีระบบวงแหวนสองวงหรือมากกว่าแยกกันโดยโซ่แอลคิล ดังแสดงในภาพที่ 2



- (a) สารประกอบพาราฟินประเภทโซ่ตรงหรือโซ่กิ่ง
- (b) สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวพวกโพลีไซคลิกหรือชนิดที่มีวงแหวนติดกัน ซึ่งอาจเป็นวงแหวนแบบไซโคลเพนเทนหรือไซโคลเฮกเซน สารประกอบเหล่านี้รวมเรียกว่า แนฟทีน (Naphtene)
- (c) สารประกอบเอโรมาติก สารประกอบในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นวงแหวนเดี่ยวหรือหลายวง ซึ่งเป็นระบบโครงสร้างวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว

ภาพที่ 2 โครงสร้างสำคัญของไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันหล่อลื่น

2. สารเติมแต่งคุณภาพ (Additives) ได้แก่ สารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารช่วยป้องกันการเกิดสนิม สารช่วยกระจายเขม่า สารต้านทานการสึกหรอ สารเพิ่มดัชนีความหนืด สารจุลไพลเท สารต้านทานเกิดฟอง และสารรับแรงกดสูง



ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แบ่งประเภทของน้ำมันเครื่องตามชนิดของเครื่องยนต์ออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ประเภท S (Station service) เหมาะสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน
2. ประเภท C (Commercial service) เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์ที่ใช้ทางการพาณิชย์อุตสาหกรรม เกษตรกรรม

การแบ่งประเภทน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ตามมาตรฐานเบอร์ความหนืด ได้แก่ มาตรฐาน SAE (Society of Automotive Engineers) ที่กำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งสหรัฐอเมริกา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เกรดเดี่ยว หรือโมโนเกรด (Monograde) คือน้ำมันเครื่องที่มีค่าความหนืดเพียงค่าเดียว ได้แก่ 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 30, 35, 40, 45, 50 และ 60 น้ำมันเครื่องประเภทนี้ค่าความหนืดจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เหมาะสำหรับใช้งานกับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบไม่มากนัก หรือเครื่องยนต์แรงม้าต่ำรอบต่ำ
2. เกรดรวม หรือมัลติเกรด (Multigrade) คือน้ำมันเครื่องที่มีค่าความหนืด 2 เบอร์ในตัวเดียวกัน ได้แก่ 5W - 40, 10W - 50, 15W - 40, 15W - 50, 20W - 50 เป็นต้น น้ำมันประเภทนี้จะมีค่าความหนืดค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป เหมาะสำหรับรถยนต์ทุกชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มีรอบจืด แรงม้าสูง ติดเทอร์โบชาร์จ โดยเลือกใช้เบอร์ความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งาน (โอภาส และ ศิริวรรณ, 2546)

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

1. ความหนืด (Viscosity) แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการไหลของน้ำมัน ซึ่งบอกถึงความสามารถในการหล่อลื่นและป้องกันการสึกหรอ โดยจะวัดที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

ถ้าอุณหภูมิต่ำ น้ำมันจะข้นให้เชื้อหล่อลื่นที่หนาและแข็งแรง ส่วนถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันจะใส ให้เชื้อหล่อลื่นที่บาง น้ำมันที่มีความหนืดสูงจะมีความต้านทานการไหลสูง

2. ดัชนีความหนืดหรือดัชนีความข้นใส(Viscosity Index: VI) ถ้าน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าดัชนีความหนืดต่ำ แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นชนิดนี้ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าดัชนีความหนืดสูง แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นชนิดนั้นความหนืดจะเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป หน่วยวัดความหนืดแบบละเอียดมีหลายระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ที่นิยมคือ เซนติสโตก (Centistoke, cSt)

ตารางที่ 2 หน่วยความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

ระบบ	หน่วยความหนืด	อุณหภูมิที่ใช้วัด
1. ระบบระหว่างชาติ (SI) (Kinematic Viscosity)	Centistoke (cSt)	40 °C และ 100 °C (50 °C สำหรับเชื้อเพลิงหนัก)
2. อเมริกัน	Saybolt Universal Second (SUS หรือ SSU)	100 °C และ 210 °F
3. อังกฤษ	Redwood No.1 (RW 1)	70 °F, 140 °F และ 200°F
4. เยอรมัน	Engler (°E)	20 °C, 50 °C และ 100°C

ที่มา: จันทรเพ็ญ (2540)

3. ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability) เป็นค่าบ่งชี้ถึงความคงตัวต่อการเก็บรักษาที่จะไม่ก่อให้เกิดยางเหนียวและเกิด Deposits เมื่อสารไฮโดรคาร์บอนสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดการทำปฏิกิริยากัน การรวมตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส น้ำมันคุณภาพดีต้องรวมตัวกับออกซิเจนได้ยาก และมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง

4. จุดวาบไฟ (Flash point) คืออุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำเป็นปริมาณมากพอ และเมื่อสัมผัสเปลวไฟจะทำให้ลุกไหม้ทันที ถ้าน้ำมันหล่อลื่นมีจุดวาบไฟต่ำจะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากมีการระเหยมาก ซึ่งมีความสำคัญต่อความปลอดภัยจากการเกิดอัคคีภัย

5. จุดไหลเท (Pour point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้โดยไม่มียะลอบกวนในการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำ (โอกาส และ ศิริวรรณ, 2546)

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของน้ำมัน

ในการกำหนด มาตรการป้องกันการรั่วไหลของน้ำมันนั้นจะต้องทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของน้ำมันเพื่อหาแนวทางป้องกันที่ถูกต้องและเหมาะสม น้ำมันเมื่อมีการรั่วไหลลงสู่ทะเลจะแพร่กระจายออกเป็นคราบน้ำมัน (Oil slick) การแพร่กระจายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นบริเวณกว้างจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ชรัตน์ (2533) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของน้ำมันไว้ดังนี้

7.1 ประเภทของน้ำมัน

น้ำมันแต่ละชนิดเมื่อมีการรั่วไหลลงในสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่เท่ากันจะมีขนาดของพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายได้ไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำมันแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกัน เพราะชนิดของน้ำมันเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมี หลังเกิดการรั่วไหลของน้ำมัน

7.2 ปริมาณน้ำมันที่รั่วไหล

สำหรับกรณีประเทศไทยคณะกรรมการป้องกันและขจัดมลพิษทางน้ำเนื่องจากน้ำมันได้แบ่งระดับการรั่วไหลของน้ำมันตามปริมาณที่รั่วไหลออกเป็น 3 ระดับ คือ

7.2.1 ระดับที่หนึ่ง มีการรั่วไหลของน้ำมันประมาณ 10 - 20 ตัน เช่น จากกิจกรรมขนถ่ายน้ำมันที่ทำเรือ

7.2.2 ระดับที่สอง มีการรั่วไหลของน้ำมันประมาณไม่เกิน 500 ตัน เช่น จากอุบัติเหตุเรือชนกัน

7.2.3 ระดับที่สาม มีการรั่วไหลของน้ำมันขนาดใหญ่ซึ่งอาจมีปริมาณสูงถึง 5,000 ตัน ก่อให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2539)

7.3 ตำแหน่งการรั่วไหลของน้ำมัน

ลักษณะสภาพพื้นที่ที่มีอิทธิพลที่สำคัญต่อการแพร่กระจายกล่าวคือ พื้นที่ที่มีความลาดชันมีผลทำให้น้ำมันแพร่กระจายรวดเร็วกว่าพื้นที่ราบ หากเกิดการรั่วไหลของน้ำมันบริเวณใกล้ชายฝั่งโอกาสที่น้ำมันจะพัดพาเข้าสู่ชายฝั่งก็มีมากและเป็นการยากที่จะขจัด แต่หากเกิดอุบัติเหตุการรั่วไหลของน้ำมันขึ้นในบริเวณกลางทะเลลึกจะใช้ระยะเวลาหนึ่งก่อนเคลื่อนที่เข้าถึงชายฝั่งและเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติไปด้วย

7.4 ระยะเวลาที่น้ำมันตกค้างในแหล่งน้ำ

เมื่อน้ำมันตกค้างเกิดกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบและขนาดของน้ำมัน กรมควบคุมมลพิษ (2539) กล่าวว่า น้ำมันและน้ำจะรวมตัวกันมีลักษณะคล้ายช็อกโกแลตเหว (Chocolate mousse) ในระยะเวลาหนึ่งและบางส่วนจับตัวเป็นก้อนน้ำมันก่อนจมลงสู่พื้นท้องทะเล โดยลักษณะจะมีความแตกต่างกันตามระยะเวลาที่ตกค้างในแหล่งน้ำจากลักษณะเป็นแผ่นบางๆ จนกลายเป็นแผ่นหนาหรือเป็นก้อนน้ำมัน

7.5 สภาพแวดล้อม

น้ำมันที่รั่วไหลในทะเลมีรูปแบบการแพร่กระจายไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ ลักษณะอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ เป็นข้อมูลในลักษณะที่เคลื่อนไหวตลอดเวลาหรือที่เรียกว่า Dynamics มีอิทธิพลอย่างมากต่อทิศทางและการเคลื่อนตัวของน้ำมันในทะเล การเคลื่อนตัวของน้ำมันบนผิวน้ำถูกควบคุมโดยความเร็วของลมและกระแสน้ำที่พัดพาไปยังที่ต่างๆ กระแสลมเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้น้ำมันเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วประมาณร้อยละ 3 ของความเร็วลม ดังนั้นลมที่มีความเร็วประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้น้ำมันเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว 2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยเฉพาะการเคลื่อนตัวของน้ำมันบริเวณชายฝั่งนอกจากขึ้นอยู่กับกระแสลมและกระแสน้ำแล้วยังขึ้นอยู่กับคลื่น การขึ้นลงของน้ำทะเลและการระบายของแม่น้ำคลองที่อยู่ในบริเวณนั้น ทะเลที่มีคลื่นลมแรงจะช่วยให้คราบน้ำมันแตกกระจาย มีขนาดเล็กลง

8. พฤติกรรมของน้ำมันในสิ่งแวดล้อมทางทะเล (Behavior of Oil in the Marine Environment)

เมื่อมีการรั่วไหลน้ำมันลงสู่ทะเลแล้ว น้ำมันจะมีพฤติกรรมเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งจะมีผลต่อความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ได้แก่

8.1 การแพร่กระจายตัวของน้ำมัน (Spreading)

การแพร่กระจายตัวของน้ำมันเป็นปรากฏการณ์แรกที่พบหลังจากเกิดการรั่วไหลของน้ำมัน แนวโน้มที่น้ำมันจะกระจายตัวเป็นคราบน้ำมันบนผิวน้ำ เนื่องจากองค์ประกอบในน้ำมันส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ หรือละลายได้น้อยมาก น้ำมันทุกชนิดที่เป็นของเหลวภายใต้สภาพบรรยากาศจะกระจายตัวไปตามแนวนอนตามผิวน้ำแม้ว่าจะมีกระแสลมและคลื่นก็ตาม ในขณะที่อัตราการกระจายตัวจะมีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของน้ำมันและสภาวะแวดล้อมของบรรยากาศ ซึ่งน้ำมันดิบทุกชนิดจะกระจายตัวโดยมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถ้าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยอื่นปรากฏอยู่ การแพร่กระจายตัวจะมีต่อไปจนกระทั่งน้ำมันมีความหนาเพียงโมเลกุลเดียว (ประมาณ 0.1 ไมโครเมตร) ซึ่งจะสังเกตเห็นเพียงเป็นผิวเงาสีเงินเท่านั้น จากกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 3 น้ำมันจะกระจายตัวไปอย่างรวดเร็วในทันทีที่น้ำมันรั่วไหลตั้งแต่เริ่มต้นจนเห็นเป็นเพียงผิวเงาสีเงิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) โดยน้ำมันที่มีความหนืดสูง และค่อนข้างหนักสามารถแพร่กระจายไปบนผิวน้ำได้ช้ากว่าน้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำๆ และน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจนผสมอยู่ จะทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำได้ดี และสารประกอบเหล่านี้มีแรงดึงดูดสูง (เกสินี, 2534)

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสี ความหนาของคราบน้ำมัน และปริมาณน้ำมัน ในกรณีที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ

สีที่ปรากฏบนผิวน้ำมัน	ความหนาของน้ำมันโดยเฉลี่ย ไมครอน (μm)	ปริมาณน้ำมันโดยประมาณ (จำนวนลิตร/ พื้นที่ 1 ตร.กม.)
1. เกือบจะมองไม่เห็น ต้องใช้ การสังเกตอย่างมาก	0.05	50
2. สังเกตเห็นเป็นแผ่นฟิล์ม สะท้อนเป็นสีเงินบนผิวน้ำ	0.10	100
3. สังเกตเห็นร่องรอยสะท้อน เป็นสี	0.15	150
4. สังเกตเห็นร่องรอยสะท้อน เป็นแถบสี	0.30	300
5. สีผิวน้ำมันเริ่มดำ ไม่มีแถบ สีปรากฏ	1.00	1,000
6. ผิวน้ำมันมีสีดำมาก	2.00	2,000

ที่มา: ชรัตน์ (2533)

8.2 การระเหย (Evaporation)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันที่สำคัญกระบวนการแรกสุดเมื่อน้ำมันเกิดการรั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลคือ การระเหย อัตราการระเหยที่เกิดขึ้นหลังจากการรั่วไหลจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลา ในขณะที่อัตราการระเหยได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำและอากาศ สภาพทางทะเล ลม และอัตราการแพร่กระจายตัว ความสามารถในการระเหยขององค์ประกอบต่างๆ จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดขนาดของการระเหยซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำมันที่รั่วไหล น้ำมันเบา (Light oil) ระเหยได้เร็วกว่าน้ำมันหนัก (Heavy oil) กล่าวคือไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนต่ำกว่า 15 อะตอม (จุดเดือดต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส) จะระเหยไปจากผิวน้ำภายใน 2 - 3 วัน ทำให้น้ำมันสูญหายไปร้อยละ 25 - 30 ส่วนพวกที่มีคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง 15 - 25 อะตอม (จุดเดือดอยู่ระหว่าง 250 - 400 องศาเซลเซียส) ระเหย

ได้เล็กน้อย ส่วนพวกสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 25 อะตอม (จุดเดือดสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส) แทบจะไม่มีการระเหย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอของน้ำมันที่อุณหภูมิต่างๆ เช่น ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำมันเบนซินระเหยได้ประมาณร้อยละ 50 ภายในเวลา 7-8 นาที ส่วนน้ำมันดิบในเวลา 12 ชั่วโมง ระเหยได้ประมาณร้อยละ 25 ของน้ำมันที่รั่วไหล (ศิริลักษณ์, 2539)

8.3 การเกิดอิมัลชัน (Emulsification)

องค์ประกอบของน้ำมันส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ เมื่อมีแรงกระทำจากภายนอก เช่น แรงแลม คลื่น จะทำให้เป็นสารแขวนลอยของน้ำมันผสมกับน้ำ (Emulsion) การกระจายของน้ำมันในน้ำจึงเกิดในลักษณะของอิมัลชัน ชนิดที่อนุภาคของน้ำมันกระจายในน้ำ (Oil - in - water) ประกอบด้วยน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ เกิดจากอิทธิพลของคลื่น กระแสน้ำ สามารถกระจายไปได้มากกว่า 200 กิโลเมตร ส่วนอิมัลชันชนิดที่อนุภาคของน้ำกระจายในน้ำมัน (Water - in - oil) ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 70 - 80 ซึ่งจะมีความหนืดสูงมาก เกิดขึ้นบริเวณผิวน้ำที่มีคราบน้ำมันลอยอยู่เป็นชั้นค่อนข้างหนา ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันที่มีโมเลกุลสูง หรือ Residue oil สำหรับในน้ำที่มี Asphatene ผสมอยู่มากกว่าร้อยละ 0.5 มักจะกลายเป็นอิมัลชันที่คงตัวว่า มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็ง จึงมักเรียกว่า ช็อกโกแลตมูส (Chocolate mousse) มีตั้งแต่สีน้ำตาลไปจนถึงสีน้ำตาลแดง และเป็นสีส้ม สามารถคงรูปอยู่ได้นาน โดยทั่วไปการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันเป็นอิมัลชันที่เป็นปัจจัยทางลบสำหรับการกระจายตัวไปตามธรรมชาติของน้ำมันที่รั่วไหลจากทะเลและบนฝั่ง การเกิดอิมัลชันนี้มักเกิดขึ้นในช่วง 8 ชั่วโมงแรกหรือหลังจากมีการรั่วไหล อัตราและปริมาณของการเกิดอิมัลชันของน้ำมันจะขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำมันและสถานะของทะเลที่เป็นอยู่ในขณะนั้น แม้กระทั่งการกระทำของคลื่นเพียงเล็กน้อยก็สามารถเกิดอิมัลชันได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544; Floodgate, 1984)

8.4 การแตกตัวและการละลาย (Dispersion and Dissolution)

กลไกที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของน้ำมันบนผิวน้ำของน้ำทะเลมากที่สุดได้แก่ การแตกตัวของน้ำมันลงไปชั้นน้ำ โดยชั้นของน้ำมันบนผิวน้ำจะกลายเป็นหยดน้ำมันเล็กๆ ซึ่งเกิดจากการกระทำของคลื่น และ/หรือการแตกตัวทางกายภาพก็จะเป็นสารแขวนลอยไปกับการเคลื่อนตัวของน้ำทะเล ไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการละลายน้ำแตกต่างกัน กลุ่มที่มี

น้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษสูง จะสามารถแพร่กระจายและเจือจางกับน้ำได้เร็ว (ศิริลักษณ์, 2539)

8.5 การตกตะกอน (Sedimentation)

การตกตะกอนอาจเกิดจากกระบวนการระเหยที่ทำให้น้ำมันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น หรือเกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ น้ำมันอาจถูกดูดซับติดกับผิวของอนุภาคที่แขวนลอยของตะกอนหรือสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำแล้วจมลง การรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำแล้วดูดซับไฮโดรคาร์บอนจะได้สารที่มีลักษณะเป็นสารกึ่งของแข็งลอยอยู่บนผิวน้ำ ต่อมาจึงแตกตัวเป็นอนุภาคนาโนขนาดเล็กแล้วจึงจมลงสู่ท้องน้ำ ในน้ำมันเตาหนักบางชนิดที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 นั้นจะจมลงได้ในน้ำจืดหรือน้ำกร่อย และน้ำมันดิบบางชนิดสามารถจมลงในทะเลได้เช่นกัน (International Tankers Owners Pollution Federation [ITOPF], 1991)

8.6 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

น้ำมันปิโตรเลียมสามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยการแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดด เรียกว่าการเกิด Photochemical Oxidation กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างน้ำมันกับน้ำมีเกลือแร่ในน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แผ่นฟิล์มน้ำมันบางๆ ที่อยู่ภายใต้แสงแดดจะเกิดออกซิเดชันได้ไม่เกินร้อยละ 0.1 ต่อวัน (ITOPF, 1991)

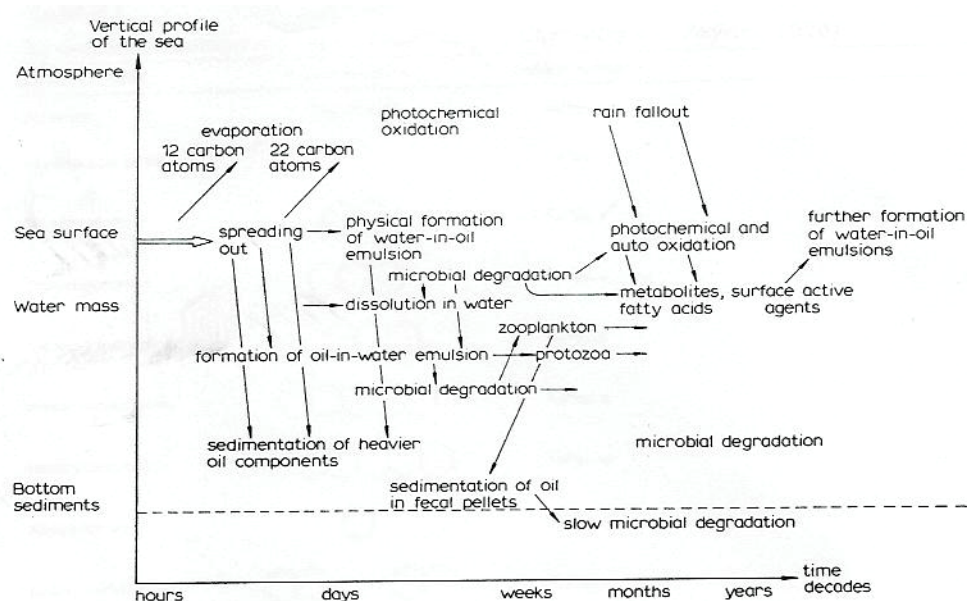
8.7 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Microbial degradation)

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการกระทำของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ เช่น แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช/สัตว์ ราและยีสต์ เข้าไปย่อยสลายคราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ถ้าน้ำมันมีพื้นที่ผิวมาก อัตราการย่อยสลายจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว (ชรินทร์, 2533) ซึ่งประสิทธิภาพในการย่อยสลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ออกซิเจน และธาตุอาหารที่สำคัญคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความจำเพาะเจาะจงในการย่อยสลายไฮโดรคาร์บอนแต่ละกลุ่มได้แตกต่างกัน (ITOPF, 1991) แบคทีเรียเป็นตัวการสำคัญที่สุดในกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง

กับการสลายน้ำมัน ส่วนมากเป็นแบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas*, *Achrobacter*, *Alcaligenes* และ *Flavobacterium* นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียอีกหลายพันธุ์ที่สามารถออกซิไดซ์น้ำมัน ได้แก่ *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium* และ *Arthrobacter* ซึ่งแบคทีเรียที่มีความสามารถย่อยสลายน้ำมันดิบได้ผลดีมาก จำนวน 2 สายพันธุ์ ได้แก่ เชื้อ *Pseudomonas* sp. และ *Acinetobacter* sp. (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2544)

8.8 การเกิดก้อนน้ำมัน (Tar ball)

น้ำมันจะถูกพัดพาเข้าสู่ฝั่งจนบางส่วนกลายเป็นก้อนน้ำมันและบางส่วนตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ น้ำมันที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำพบว่าเกิดเป็นก้อนน้ำมันประมาณร้อยละ 30 ถ้าเป็นบริเวณที่มีกระแสน้ำแรงก้อนน้ำมันจะแตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆ แล้วกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำที่ระดับความลึกต่างๆ แล้วจึงตกตะกอน ทะเลบริเวณที่มีก้อนน้ำมันปนเปื้อน เมื่อได้รับแสงแดดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)



ภาพที่ 3 พฤติกรรมของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงสู่ทะเล

ที่มา: Food and Agriculture Organization [FAO] (1977)

9. สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมัน

น้ำมันที่ลงสู่ทะเลและมหาสมุทรในปีหนึ่งๆ ได้มีการประมาณว่าจะมีปริมาณรั่วไหล 1.7 - 8.8 ล้านเมตริกตัน หรือมีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 ล้านเมตริกตัน โดยมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการคมนาคม และการขนส่งทางเรือประมาณ 1.47 ล้านเมตริกตัน ส่วนที่เหลือมาจากน้ำทิ้งจากชุมชนอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ลงสู่ทะเลและมหาสมุทร

(หน่วย: ล้านเมตริกตันต่อปี)		
แหล่งกำเนิด	ปริมาณ ปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน	ค่าเฉลี่ย
แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ		
การซึมผ่านตามธรรมชาติ	0.02 - 2.0	0.2
การพังทลายของชั้นดิน	0.005 - 0.5	0.05
ปริมาณรวม	0.0025 - 2.5	0.25
การปฏิบัติการนอกชายฝั่ง	0.04 - 0.06	0.05
การคมนาคมและการขนส่งทางเรือ		
การขนส่งน้ำมัน	0.4 - 1.5	0.7
กิจการอู่ต่อเรือ	0.02 - 0.05	0.03
ท่าเทียบเรือ	0.01 - 0.03	0.02
น้ำมันจากท้องเรือ	0.2 - 0.6	0.3
อุบัติเหตุจากเรือบรรทุกน้ำมัน	0.3 - 0.4	0.4
อุบัติเหตุทางน้ำที่ไม่ใช่เรือบรรทุกน้ำมัน	0.02 - 0.04	0.2
ปริมาณรวม	0.95 - 2.62	1.47
บรรยากาศ	0.05 - 0.5	0.3
น้ำทิ้งจากชุมชนและอุตสาหกรรม		
น้ำทิ้งจากชุมชน	0.41 - 1.52	0.7
โรงกลั่นน้ำมัน	0.06 - 0.6	0.1

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แหล่งกำเนิด	(หน่วย: ล้านเมตริกตันต่อปี)	
	ปริมาณ ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน	ค่าเฉลี่ย
โรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่โรงกลั่น	0.1 - 0.3	0.2
น้ำมัน	0.01 - 0.2	0.12
น้ำทิ้งจากบ้านเรือน	0.01 - 0.5	0.04
จากแม่น้ำ	0.005 - 0.12	0.02
จากการทิ้งลงสู่ทะเล	0.585 - 3.12	1.18
ปริมาณรวม		
ปริมาณรวมทั้งหมด	1.7 - 8.8	3.2

ที่มา: Intergovernmental Oceanographic Commission [IOC] / UNESCO (1989)

9.1 แหล่งกำเนิดธรรมชาติ

น้ำมันที่ซึมผ่านออกจากแหล่งน้ำมันในธรรมชาติและการพังทลายของชั้นดิน บางส่วนอาจติดมากับตะกอนอนุภาคอินทรีย์สารต่างๆ และถูกชะด้วยน้ำจากแหล่งต่างๆ จนลงสู่แหล่งน้ำ

9.2 การขุดเจาะสำรวจและสูบน้ำมันจากบ่อน้ำมันในทะเล

การขุดเจาะแหล่งน้ำมันและก๊าซในทะเลมีผลให้น้ำมันเกิดการรั่วไหล เช่น บ่อน้ำมันของบริษัท Union Oil ในมหาสมุทรแปซิฟิก บริเวณชายฝั่ง South Barbara, California ปล่องน้ำมันดิบที่เป็นสารมลพิษเข้าสู่ชายฝั่ง California มีความยาว 30 ไมล์ พืชและสัตว์ทุกชนิดที่อยู่ในบริเวณดังกล่าวตายหมด (ณรงค์, 2525) ในแต่ละปีมีการประมาณว่าอาจมีน้ำมันรั่วไหลเนื่องจากสาเหตุนี้ประมาณ 50,000 ตันต่อปี (ITOPF, 1991) สำหรับประเทศไทยนั้นการปีโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้มีการว่าจ้างผู้รับเหมาต่างประเทศและกระจายสิทธิ์การขุดเจาะสำหรับน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยอย่างมากย่อมทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันโดยเฉพาะภาคตะวันออก และภาคใต้ซึ่งมีการขุดเจาะน้ำมันอยู่มาก สามารถทำให้เกิดปัญหาได้ในอนาคตถ้าไม่มีการควบคุมที่ดีพอ

9.3 อุตสาหกรรมชายฝั่งและโรงกลั่นน้ำมันชายฝั่ง

อุตสาหกรรมชายฝั่งนอกจากก่อให้เกิดความสกปรกบนชายฝั่งแล้วส่วนใหญ่จะปล่อยของเสียประเภทน้ำมันออกมา เช่นจากการถ่ายเทน้ำมันที่ไม่ใช้แล้ว การล้างทำความสะอาดเครื่องยนต์โดยเฉพาะ โรงกลั่นน้ำมันและบ่อน้ำมัน รวมทั้งที่เป็นกากน้ำมันและรั่วจากถังเดิม น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์ที่ได้มาจากปิโตรเลียมและกากน้ำมันจากโรงงานอุตสาหกรรมจะถูกปล่อยออกมาทุกปี กากน้ำมันหล่อลื่นอยู่บนพื้นดินแต่ประมาณ 1/4 ของกากน้ำมันไหลลงสู่ทะเลโดยแม่น้ำพัดพาไป ในกรณีการขนส่งน้ำมันไปยังโรงกลั่นต้องใช้ท่อส่งยาวหลายร้อยกิโลเมตร ซึ่งเป็นไปได้ที่ท่อนั้นอาจแตกหักและทำให้น้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเล (David, 1995)

9.4 อุบัติเหตุจากการผลิตและการขนส่ง

อุบัติเหตุเกี่ยวกับการแพร่กระจายของน้ำมันที่สำคัญมากคือ อุบัติเหตุจากการลำเลียงขนส่งน้ำมันทางน้ำ สำหรับการขนส่งน้ำมันทางน้ำของประเทศไทยได้ทำการขนส่งจากโรงกลั่นและคลังน้ำมันไปยังคลังน้ำมันย่อยที่ตั้งอยู่ตามชายฝั่งต่างๆ เช่น จังหวัดสมุทรสงคราม ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ภูเก็ต โดยเรือบรรทุกน้ำมันขนาดระหว่าง 500 - 1,500 เดทเวตตัน (DWT) ได้มีการประมาณการว่า การเกิดอุบัติเหตุจากการขนส่งทางเรือจะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 12.5 โดยเฉพาะบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ เนื่องจากการจราจรในบริเวณปากอ่าวไทยบริเวณโรงกลั่นแถบชายฝั่งอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ค่อนข้างหนาแน่น ดังนั้นโอกาสที่เรือน้ำมันจะชนกับเรืออื่นจึงมีมาก ก่อให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันได้ ดังเช่นการเกิดอุบัติเหตุเรือชนกันในอ่าวไทยเมื่อปี 2505 ทำให้น้ำมันจำนวน 14,000 บาร์เรล ถูกพัดพาเข้าชายฝั่งทำให้เกิดความเสียหายกับฟาร์มหอย กุ้ง ประเมินค่าความเสียหายในครั้งนั้นเป็นจำนวนเงิน 1,500 ล้านบาท (ณรงค์, 2525) และส่วนแหล่งน้ำทะเล กรมควบคุมมลพิษ ได้รวบรวมสถิติการเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเลอันเกิดจากอุบัติเหตุ การผลิตและการขนส่ง ระหว่างปี พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2548 ดังตารางผนวกที่ ก1

9.5 น้ำมันจากแหล่งอื่นๆ

เกิดจากการปล่อยน้ำมันที่ใช้แล้วลงสู่ทะเลโดยตรงจากอาคารบ้านเรือนและเกษตรกรรมชายฝั่ง รวมทั้งการลักลอบปล่อยน้ำล้างถังน้ำมัน น้ำอับเฉาเรือ และน้ำถ่วงท้องเรือ อันเป็น

สาเหตุให้เกิดคราบน้ำมันถึงร้อยละ 22 (ITOPF, 1991) ซึ่งเป็นพฤติกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากความ
มั่งง่าย ไม่รู้ถึงผลเสียที่ตามมา

ชนิดของน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ

น้ำมันที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำมีต้นกำเนิดมาจากหลายแหล่ง จึงทำให้มีน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่
แหล่งน้ำได้หลายชนิด ดังนี้

1. น้ำมันดิบ (Crude oil)

น้ำมันดิบมีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันออกไป การรั่วไหล
ของน้ำมันดิบส่วนมากมาจากการชนถ่าย การขนส่ง และการทำงานของแท่นขุดเจาะน้ำมัน
เมื่อรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมีอย่างมากและรวดเร็ว

2. ปิโตรเลียมที่ได้จากการกลั่น (Petroleum distillates)

เป็นส่วนหนึ่งจากกระบวนการกลั่นน้ำมัน รวมถึง น้ำมันเบนซิน น้ำมันเตา และน้ำมัน
เชื้อเพลิงอื่นๆ น้ำมันจำพวกนี้บางประเภทจะมีสารจำพวก Additive ผสมอยู่ เช่น สารประกอบ
อินทรีย์ของตะกั่วในน้ำมันเบนซิน น้ำมันประเภทนี้บางชนิดสามารถระเหยได้รวดเร็ว จึงคงตัวอยู่
ในน้ำได้ไม่นานนัก

3. น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil)

น้ำมันหล่อลื่นมักลงไปในแหล่งน้ำในรูปของน้ำมันที่ใช้แล้ว ซึ่งจะมีความสกปรก สาร
แขวนลอย และสารพวก Oxidized ผสมอยู่

4. น้ำมันผสม (Mixed oils)

น้ำมันผสมส่วนมากมาจากการถ่ายน้ำมันทิ้งจากเรือ แหล่งสกัดน้ำมัน รวมทั้งจากคลัง
น้ำมันและโรงกลั่นน้ำมัน

5. น้ำมันเตาดำ (Black fuel oils)

น้ำมันเตาเป็นส่วนที่เหลือจากการกลั่น หรือเป็นส่วนผสมของส่วนที่เหลือกับน้ำมันเตาที่มีความหนืดต่ำ ส่วนมากจะใช้ในเรือ การผลิตไฟฟ้าและความร้อน เมื่ออยู่ในน้ำจะมีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำมันดิบ

6. น้ำมันอื่นๆ ที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Non – petroleum oils)

น้ำมันประเภทนี้ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ เมื่อมีการขนส่งทางน้ำ ถ้าเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำก็จะก่อให้เกิดผลเช่นเดียวกับน้ำมันปิโตรเลียมเช่นกัน (Butt *et al.*, 1986)

10. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเลเมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมัน

ปัญหาจากการรั่วไหลของน้ำมันนับว่าเป็นมลพิษทางทะเลที่สำคัญอย่างหนึ่ง ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลจะก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางด้านกายภาพ ด้านชีวภาพ และด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังนี้

10.1 ผลกระทบด้านกายภาพ

เมื่อเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่ทะเลในระยะแรก น้ำมันจะลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของน้ำมันต่ำกว่าน้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบด้านกายภาพได้แก่

10.1.1 ความโปร่งใสของน้ำ (Transparency) หมายถึง ค่าระดับความลึกของแหล่งน้ำที่สามารถมองเห็นวัตถุได้ด้วยตาเปล่า เป็นค่าโดยประมาณที่บอกถึงระยะความลึกที่แสงส่องถึง ซึ่งค่ามาตรฐานความโปร่งใสของน้ำทะเลโดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 10 น้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะบดบังหรือกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องผ่านลงสู่ท้องน้ำได้น้อยลงทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชใต้น้ำและแพลงก์ตอนพืชลดลง ไม่สามารถสร้างอาหารได้เพียงพอต่อการเจริญเติบโต มีผลให้สัตว์น้ำได้รับอาหารน้อยลง ถ้าออกซิเจนมีปริมาณลดลงและค่าความเป็นกรด

เป็นค่าของน้ำเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (ชรัตน์, 2533 อ้างตาม Sheila, 1976) กล่าวว่า เมื่อใส่น้ำมันดิบชนิด Kuwait crude oil ให้มีความหนา 0.76 เซนติเมตร ในบ่อทดลอง พบว่า ขบวนการสังเคราะห์แสงของ *Enteromorpha* จะหยุดลงในวันที่ 4 ที่น้ำมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำและทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำลดลง สอดคล้องกับ Floodgate (1984) ที่รายงานว่า น้ำมันที่เคลือบเป็นฟิล์มบางอยู่บนผิวน้ำจะลดอัตราการส่องผ่านของแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช

10.1.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen) เนื่องจากน้ำมันทำหน้าที่คล้ายแผ่นเกราะกั้น (Physical – barrier) ระหว่างน้ำกับอากาศ มีผลทำให้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงสู่น้ำได้ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง มีผลต่อการหายใจของสัตว์น้ำ ซึ่งภายหลังจากวันที่ 3 ที่น้ำมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำ ค่า Oxygen Diffusion Rate (ODR) ของน้ำที่ระดับความลึก 1 - 2 เซนติเมตร ที่วัดโดยใช้ Cathode มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงให้เห็นว่าออกซิเจนไม่สามารถผ่านชั้นของน้ำมันลงสู่น้ำได้ (ชรัตน์, 2533 อ้างตาม Sheila, 1976)

10.1.3 อุณหภูมิ (Temperature) น้ำมันที่ปกคลุมบนผิวน้ำสามารถดูดซับความร้อน (Heat absorption) จากแสงอาทิตย์ไว้ได้ ทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นกว่าปกติ อาจไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ น้ำมันชนิดที่มีสีทึบ เช่น น้ำมันดิบ น้ำมันเตา สามารถดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าน้ำมันที่มีสีจาง เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ชรัตน์ (2533) อ้างตาม Sheila (1976) กล่าวว่า ภายใต้เงื่อนไขสภาพอากาศเดียวกัน พบว่า อุณหภูมิของน้ำมันดิบสูงขึ้นจาก 34 องศาเซลเซียสเป็น 45 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 4 ชั่วโมง ขณะที่น้ำมันเบนซินมีอุณหภูมิไม่แตกต่างไปจากอุณหภูมิของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

10.1.4 คราบน้ำมันเกาะติดและซึมเข้าไปในตะกอน เมื่อน้ำมันลงไปในพื้นที่จะมีน้ำมันบางส่วนที่จมลงสู่พื้นท้องน้ำไปปนเปื้อนอยู่ในตะกอนในน้ำ และมีบางส่วนที่สามารถซึมเข้าไปในตะกอนได้ จึงทำให้น้ำมันคงตัวอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน (ชรัตน์, 2533 อ้างตาม Sheila, 1976)

10.2 ผลกระทบด้านชีวภาพ

น้ำมันทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นน้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา หรือน้ำมันชนิดอื่นจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อลงสู่แหล่งน้ำย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์น้ำ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการดำรงชีวิตของ

สิ่งมีชีวิต ส่งผลกระทบต่อแหล่งอาหาร แหล่งวางไข่ของสัตว์น้ำ และสัตว์น้ำวัยอ่อนไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรือหนีได้สะดวก ขนาดของไข่เล็กลงหรือความถี่ในการวางไข่น้อยลง (Cheevaporn and Menasveta, 2003) เกิดการถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food chain) และสายใยอาหาร (Food web) ตามลำดับขั้นการกินอาหาร (Trophic level) ไปสู่สิ่งมีชีวิตชั้นสูงที่สุดของห่วงโซ่อาหาร สายใยอาหารได้ และยังทำให้ระบบนิเวศเป็นแหล่งสะสมของสารพิษด้วย

ความเป็นพิษของน้ำมันที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต โดยที่สิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันจะมีปฏิกิริยาต่อความเป็นพิษของน้ำมันแตกต่างกัน และสิ่งมีชีวิตเดียวกันระยะการเจริญเติบโตในวงจรชีวิต เช่น ไข่ ตัวอ่อน ตัวเต็มวัย ก็จะมี ความไวต่อความเป็นพิษของน้ำมันที่ระดับเดียวกันแตกต่างกัน โดยในระยะที่เป็นไข่ และตัวอ่อน มีความไวต่อความเป็นพิษของน้ำมันมากกว่าในระยะที่เป็นตัวเต็มวัย นอกจากนี้สัตว์น้ำในระยะตัวเต็มวัยจะมีโอกาสหนี หรือหลีกเลี่ยงมลพิษทางน้ำมันได้มากกว่าไข่และตัวอ่อน (ทิพย์นันท์, 2541)

การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเมื่อมีการสัมผัสกับน้ำมันหรือปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับเซลล์ ระดับชีวิต ระดับประชากร และระดับกลุ่มสิ่งมีชีวิต ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเมื่อสัมผัสกับน้ำมันหรือปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน

ระดับการตอบสนอง	ลักษณะการตอบสนอง
ระดับเซลล์ (Biochemical – cellular)	1. รบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของเซลล์ 2. มีการกำจัดสารพิษออกจากร่างกาย (Detoxification)
ระดับชีวิต (Organismal)	1. เปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาบอลิซึม 2. เปลี่ยนแปลงพฤติกรรม 3. การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ลดลง 4. การทำงานของโครงสร้างต่างๆ ขาดประสิทธิภาพ นำไปสู่การเกิดโรค

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ระดับการตอบสนอง	ลักษณะการตอบสนอง
ระดับประชากร (Population)	1. มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านพลวัตรประชากร 2. ประชากรต้องมีการปรับตัว นำไปสู่การเกิดความเครียด
ระดับกลุ่มสิ่งมีชีวิต (Community)	1. องค์ประกอบทางด้านชนิดพันธุ์ (Species) เปลี่ยนไป 2. การหมุนเวียนของพลังงานลดน้อยลง 3. มีการปรับตัวทางด้านระบบนิเวศน์

ที่มา: Capuzzo (1987)

ผลกระทบของน้ำมันปิโตรเลียมต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแหล่งน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

10.2.1 แพลงก์ตอน

ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อแพลงก์ตอนเมื่อน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ ได้แก่ การลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชพวกสาหร่ายจะลดลงประมาณร้อยละ 50 และทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ (Cellular membrane) สูญเสียธาตุโพแทสเซียม แมงกานีส จนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แพลงก์ตอนพืชบางชนิดไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ (Cheevaporn and Menasveta, 2003) เกิดการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพ อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สบนพื้นผิวน้ำและปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง และ Samiullah (1989) พบว่า การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะไวต่อน้ำมันที่ปนเปื้อนมากกว่าการหายใจ โดยทั่วไปสาหร่ายเซลล์เดียวจะตายเมื่อความเข้มข้นของสารพิษมีค่า $1 - 10^4$ มิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำ สำหรับพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ppm สามารถก่อให้เกิดพิษอย่างแรงต่อเซลล์ของแพลงก์ตอนได้ (Nelson-Smith, 1973) โดยน้ำมันเตาที่ความเข้มข้นมากกว่า 40 ppm ทำให้ไคอะตอม *Thalasiosira pseudonana* มีการเจริญเติบโตลดลง (Spies, 1987 อ้างตาม Pulich *et al.*, 1974) และที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm มีผลทำให้สาหร่ายสีน้ำตาล *Fucus vesiculosus* มีการเจริญเติบโตลดลงเช่นกัน (Wrabel and Peckol, 2000)

เสาวภา และคณะ (2537) พบว่า น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลมีผลทำให้ช่องว่างภายในเซลล์สาหร่ายสีเขียว *Tetraselmis helle* มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่คลอโรพลาสต์มีขนาดเล็กลง สอดคล้องกับ ธนกฤต (2542) กล่าวคือ ความเป็นพิษของน้ำมันเตาเกรด C ชนิดกำมะถันต่ำ ทำให้การเจริญเติบโตหรือการเพิ่มปริมาณความหนาแน่นของสาหร่าย *Chlorella* spp ลดลงในช่วงเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 96 ชั่วโมง ค่า LC_{50} ที่เวลา 96 ชั่วโมง มีค่าเป็น 1.02×10^9 ppm

นอกจากนี้ยังส่งผลต่อแพลงก์ตอนสัตว์ทำให้ความสามารถในการกินอาหารลดลง การแพร่กระจายผิดปกติ และบางชนิดไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ โดยที่ความเข้มข้น 0.05 - 9.4 ppm มีผลให้ผลผลิตมวลชีวภาพลดน้อยลง และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกลุ่มสิ่งมีชีวิตของแพลงก์ตอนสัตว์ด้วย (Scholz *et al.*, 2000 อ้างตาม NAS, 1985)

10.2.2 ปลา

โดยทั่วไปปลาจะได้รับผลกระทบจากน้ำมันที่รั่วไหลโดยตรงจากน้ำและอาหารที่กินเข้าไป ส่งผลให้ปลามีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป สุนทรี (2539) กล่าวว่า เมื่อปลานิล (*Tilapia nilotica*) สัมผัสกับน้ำมันเตาส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ปลาจะว่ายน้ำกระเจิกกันอย่างรวดเร็วยู่บริเวณตอนกลางของระดับน้ำ มีอาการกระสับกระส่าย ในระยะต่อมาเริ่มว่ายน้ำช้าลงลอยตัวอยู่กับที่ รวมกันเป็นกลุ่มที่บริเวณตอนกลางระดับน้ำเช่นเดิม ลำตัวมีสีซีดลง แต่ลำตัวจะมีสีเข้มขึ้นก่อนที่ปลาจะตาย

สำหรับความเป็นพิษของน้ำมันที่มีผลต่อไขปลานั้น ได้มีการศึกษาพิษของน้ำมันดิบที่มีผลต่อไขปลาแฮร์ริง พบว่า ตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบจะมีการเคลื่อนไหวมากและอัตราการเต้นของหัวใจค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนตัวอ่อนในไข่ที่อยู่ในน้ำธรรมดา จะมีการเคลื่อนไหวน้อยกว่าตัวอ่อนที่อยู่ในน้ำมัน แต่มีอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นจนกระทั่งไขฟักตัวและสามารถฟักตัวได้ร้อยละ 100 ส่วนไขปลาที่อยู่ในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร ฟักตัวได้เพียงร้อยละ 91 และตัวอ่อนจะตายประมาณร้อยละ 12 ผิดปกติร้อยละ 77 เป็นปกติเพียงร้อยละ 11 เท่านั้น (Buchanan and Gibbons, 1974) และน้ำมันที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 มิลลิลิตรต่อลิตร ทำให้ลูกปลาแฮร์ริงในทะเลบอลติกตายภายในเวลา 48 ชั่วโมง (Koneman *et al.*, 1983) และผิวหนังถูกทำลายตลอดลำตัว ปลาแสดงอาการว่ายน้ำที่ผิดปกติ

อย่างชัดเจน (Linden, 1975) สอดคล้องกับ Mironov (1972) ศึกษาไข่ปลา *Rhombus macoticus* ที่เลี้ยงไว้ในน้ำที่มีน้ำมันดิบ 0.00007 – 0.0001 มิลลิลิตรต่อลิตร จะฟักเป็นตัวเพียงร้อยละ 55 – 80 ส่วนที่เลี้ยงในน้ำธรรมชาติจะมีการฟักตัวได้มากกว่าร้อยละ 90 ในเวลา 96 ชั่วโมง และตัวอ่อนที่ได้จากการฟักเป็นตัวในน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำมันดิบ 0.00001 – 0.0001 มิลลิลิตรต่อลิตร จะตายหมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อสัตว์น้ำได้รับสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนระดับความเข้มข้นที่สูงพอที่จะเข้าไปในเนื้อเยื่อโดยการกิน จะทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่ตามปกติของสัตว์น้ำ เมื่อสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนแทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่อยู่ในผนังเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ ผนังเซลล์อาจแตกทำให้สารต่างๆ ภายในเซลล์ไหลออกมาเป็นการทำลายเซลล์อย่างรุนแรง โดยได้มีผู้ศึกษาผลของน้ำมันเมื่อลงสู่แหล่งน้ำที่มีต่อปลาไว้ดังนี้

สุจิตรา (2530) กล่าวว่า น้ำมันดิบอะเรเบียนชนิดเบาในรูปที่ละลายน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) คือ กิ่งเหงือกมีการบวมน้ำ (Edema) ใน Olfactory lamellae มีการเพิ่มจำนวนเซลล์สร้างเมือกมากขึ้น และเซลล์ดัชนีมีไขมันเสื่อมสภาพเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งระดับความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนมีผลทำให้เกิดการตายของปลากระพงขาวขนาดเล็กสูงกว่าการตายของปลากระพงขาวขนาดใหญ่ เมื่อเวลาที่ปลากระพงขาวได้รับการสัมผัสน้ำเท่ากัน (วิทยา และ สุทธิณี, 2544) นอกจากนี้หากมีการปนเปื้อนของน้ำมันเบนซินลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ลูกปลากระพงน้ำจืดเกิดอาการกล้ำเนื้อตาย เป็นพิษต่อระบบประสาท ทำลายระบบขนถ่ายออกซิเจน (เปี่ยมศักดิ์, 2539 อ้างตาม Linden, 1975) เช่นเดียวกับความเป็นพิษของน้ำมันดีเซลในส่วนที่ละลายน้ำต่อปลา *Oreochromis niloticus* ซึ่ง Dede and Kaglo (2001) พบว่า เหงือกมีการขยายออก และ Hyperplasic จะเป็นแผ่นบางๆ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง (จาก 7.2 เป็น 4.5 ppm) ซึ่งต่ำกว่าระดับที่ยอมรับสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำในการเพาะเลี้ยง (6.0 - 8.0 ppm) ทั้งนี้ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และระยะเวลาในการเลี้ยง

10.2.3 สัตว์หน้าดิน

หากเกิดน้ำมันรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ น้ำมันอาจเคลื่อนตัวลงไปถึงพื้นที่ท้องน้ำได้ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น เช่น กุ้ง ปู หอย มีโอกาสได้รับผลกระทบ กล่าวคือ สัตว์น้ำมีพฤติกรรมกินอาหารเปลี่ยนแปลงไป กินอาหารได้น้อยลง มีผลต่อการลอกคราบ อาจเกิดการตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในร่างกาย เช่น การเผาผลาญอาหารในร่างกายผิดปกติ และระบบการสืบพันธุ์ของสัตว์ผิดปกติ โดยอัตราการกินอาหาร อัตราการบริโภคออกซิเจน อัตราการหายใจ และอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับพิษจากน้ำมัน

ศิริกานต์ (2533) รายงานว่า ค่าความเป็นพิษที่ทำให้กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) อายุ 45 – 60 วัน ตายร้อยละ 50 ในรูปของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำในเวลา 96 ชั่วโมง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.74 – 0.35 ppm และในรูปของตัวกระจายน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.25

Tatem (1977) รายงานว่า ความเข้มข้นไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันเตาเกรด 2 มีค่าเท่ากับ 3.0 ppm มีผลทำให้กุ้ง *Palaemonetes pugio* มีอัตราการหายใจลดลงจากระดับปกติที่ระยะ เวลา 5 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน อัตราการหายใจจะปรับตัวเข้าสู่ระดับปกติ และเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ปริมาณการสะสมของเนฟทีนในเนื้อเยื่อกุ้งมีมากกว่าในน้ำ 150 เท่า และที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำมันเตา 1.44 ppm มีผลทำให้อัตราการฟักเป็นตัวของกุ้งลดลงร้อยละ 80 จากการฟักเป็นตัวในน้ำทะเล ซึ่งปกติฟักเป็นตัวได้ 45 ตัว

มนัส (2522) กล่าวว่า น้ำมันดิบและน้ำมันดีเซลมีพิษต่อกุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguensis*) มากที่สุด โดยความเป็นพิษของน้ำมันเบนซินลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ความเป็นพิษของน้ำมันเบนซินเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น และจะเกิดขึ้นรวดเร็วและรุนแรงกว่าความเป็นพิษของน้ำมันดิบและน้ำมันดีเซล

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันที่มีต่อสัตว์จำพวกปู หอย และเพรียง Wang and Stickle (1987) ศึกษาความทนทานที่จำกัด กิจกรรมเมตาบอลิซึมและการเติบโตในปู Blue crabs (*Calinectes sapidus*) พบว่า อัตราการกินอาหารลดลง และอัตราการ

เจริญเติบโตมีการเปลี่ยนแปลง มีผลเช่นเดียวกับพวกหอยสองฝา (*Mytilus edulis*) ที่ได้รับผลจากปิโตรเลียมไฮโดร คาร์บอนของน้ำมันดีเซลส่วนที่ปนอยู่กับน้ำ ที่อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Widdow *et al.*, 1982)

สำหรับปูประเภท Mud crabs (*Rhithropanopeus harrisi*) เมื่อสัมผัสกับน้ำมันเตาในส่วนที่ละลายน้ำ ต่อเนื่องนาน 6 เดือนหลังจากการฟักออกมา Laughlin *et al.* (1978) พบว่า ระยะ Zoea มีความไวต่อการตอบสนองต่อความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันเตามากกว่าในระยะ Megalopa และระยะ โตเต็มวัยเมื่อมีอายุ 6 เดือน (6 months - stage crab) ซึ่งทั้งเพศผู้และเพศเมียไม่มีความแตกต่างต่อการได้รับพิษจากน้ำมันแบบเรื้อรัง

ส่วนปูประเภท Fiddler crabs (*Uca pugnax*) จะมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และสัตว์จำพวกเพรียง Barnacles (*Chthamalus fissus*) มีความไวในการตอบสนองมากเมื่อสัมผัสกับน้ำมันเตา (Scholz *et al.*, 2000 อ้างตาม Foster *et al.*, 1971)

10.2.4 สัตว์จำพวกนก

เมื่อน้ำมันเกิดการรั่วไหลลงสู่ทะเล จะมีผลกระทบต่อสัตว์จำพวกนกที่หากินในน้ำและตามชายฝั่ง เพราะคราบน้ำมันจะเคลือบปีกนกทำให้ไม่สามารถบินได้ ขนนกเป็นฉนวนได้ไม่ดี ดังนั้นนกจะตายเมื่ออากาศเย็น บางส่วนถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย มีผลให้ความสามารถในการกักน้ำลดลงส่งผลต่อสมดุลความร้อนในร่างกาย บางส่วนถูกกลืนเข้าไปกับการกินอาหาร โดยปกตินกพยายามไชร้งขนเพื่อทำความสะอาดขนของมันจึงมีโอกาสได้รับพิษจากน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ถ้าได้รับพิษจากน้ำมันในปริมาณน้อยจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง มีผลต่อการสืบพันธุ์ และน้ำมันยังส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของนก โดยเฉพาะไข่นกมีความไวต่อผลกระทบจากคราบน้ำมันมาก ทำให้เปลือกไข่อ่อนตัว และไม่สามารถฟักออกเป็นตัวได้ นกทะเลที่ถูกน้ำมันคลุมตามตัวมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ผิว หรือกินน้ำมันโดยตรง จะมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1/3 – 1/2 ปี แต่โดยปกติพบว่านกจะจมน้ำตายเป็นส่วนใหญ่ (กันทรีย์, 2540; กรมควบคุมมลพิษ, 2539; Doerffer, 1992; Smith – Welson, 1973; Jensen, 1994)

10.2.5 ป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ มีความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นที่อยู่ของสัตว์หลายชนิดเนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ เป็นแหล่งวางไข่และแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน ในกรณีที่น้ำมันเกิดการรั่วไหลในบริเวณใกล้กับป่าชายเลน คราบน้ำมันจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ป่าชายเลนทำให้มีการตกค้างอยู่ตามราก โดยเฉพาะน้ำมันชนิดเบาที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถแทรกซึมเข้าสู่ระบบรากโกงกางโดยเฉพาะเลนทิเซล (Lenticels) ได้มากกว่าร้อยละ 50 น้ำมันจะปิดกั้นรูเปิดในการหายใจของรากต้นไม้และรบกวนสภาพสมดุลของเกลือ รากต้นไม้ในบริเวณป่าชายเลนไม่สามารถหายใจได้จึงยับยั้งการเจริญเติบโตทำให้ต้นไม้ตายอย่างรวดเร็ว และหากตกค้างอยู่บนตะกอนดินในป่าชายเลน น้ำมันจะไปปกคลุมเมล็ดพันธุ์พืชซึ่งร่วงหล่นทำให้เมล็ดพันธุ์พืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งการกำจัดน้ำมันนั้นสามารถทำได้ยาก ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อาศัยในบริเวณนั้น และความสมดุลของระบบนิเวศป่าชายเลนจะถูกทำลาย

10.2.6 ปะการัง

เมื่อน้ำมันสัมผัสกับปะการัง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อปะการัง เช่น สารพิษที่ผสมอยู่ในน้ำมันจะทำอันตรายโดยตรงต่อปะการัง หรือมีผลในการลดอัตราการเจริญเติบโต ทำให้เกิดพฤติกรรมที่ผิดปกติ รบกวนการขยายพันธุ์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อาศัยในแนวปะการัง

ระดับความเป็นพิษของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ที่มีต่อสัตว์น้ำชนิดต่างๆ ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ระดับความเป็นพิษของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่นที่มีต่อสัตว์น้ำ

ชนิดของน้ำมัน	ชนิดของสัตว์น้ำ	เวลา (ชม.)	ค่า LC ₅₀ (ppm)	เอกสารอ้างอิง
น้ำมันดีเซล (Diesel oil) (WSF)	<i>Penaeus monodon</i>	96	47.80	สมควร (2545)
	<i>Penaeus merguensis</i>			
	อายุ 5-7 วัน	24	0.45	มนัส (2522)
	อายุ 45-60 วัน	96	0.04	มนัส (2522)
	<i>Oreochromis niloticus</i>	96	8.08	Dede and Kaglo (2001)
น้ำมันเตาเบอร์ 2 (No.2 fuel oil) (WSF)	Shad (Family Clupeidae)	96	167	FAO (1977)
	<i>Penaeus monodon</i>	96	40.31	สมควร (2545)
	<i>Penaeus aztecus</i>			
	Post larvae	96	6.82	Capuzzo (1987)
	Late Juveniles	96	3.00	Capuzzo (1987)
	<i>Penaeus setiferus</i>			
	Post larvae	96	1.45	Capuzzo (1987)
	Late Juveniles	96	1.00	Capuzzo (1987)
	<i>Mysidopsis almyra</i>			
	Post larvae	96	1.82	Capuzzo (1987)
	Adult	96	0.65	Capuzzo (1987)
	<i>Palaemonetes pugio</i>			
	Larvae	96	1.2	Neff and Anderson(1981)
	Post larvae	96	2.4	Neff and Anderson (1981)
	Adult	96	3.5	Neff and Anderson (1981)
	<i>Pandalus danae</i>	96	0.80	Vanderhorst <i>et al.</i> (1976)
	<i>Tilapia nilotica</i>	96	294014	สุนทรี (2539)
	<i>Cyprinodon variegatus</i>	96	6.3	Anderson <i>et al.</i> (1974)
	<i>Menidia beryllina</i>	96	3.9	Anderson <i>et al.</i> (1974)
	<i>Fundulus similis</i>	96	3.9	Anderson <i>et al.</i> (1974)
	Oyster, Clam shell	7 วัน	30-40	FAO (1977)

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ชนิดของน้ำมัน	ชนิดของสัตว์น้ำ	เวลา (ชม.)	ค่า LC ₅₀ (ppm)	เอกสารอ้างอิง
น้ำมันเตา (Bunker C) (WSF)	Shad (Family Clupeidae) <i>Penaeus aztecus</i>	96 48	1952 1.9	FAO (1977) Anderson <i>et al.</i> (1974)
น้ำมันเครื่อง (Engine oil) (WSF)	<i>Mysidopsis almyra</i> <i>Palaemonetes pugio</i> <i>Cyprinodon variegatus</i> <i>Menidia beryllina</i> <i>Fundulus similis</i> <i>Lates calcarifer</i> <i>Perna viridis</i>	96 96 96 96 96 96	1.8 1.4 3.1 1.3 1.69 17.58	Anderson <i>et al.</i> (1974) Anderson <i>et al.</i> (1974) Anderson <i>et al.</i> (1974) Anderson <i>et al.</i> (1974) Anderson <i>et al.</i> (1974) วิทยา และ สุทธิณี (2544)
	น้ำหนัก 0.09±0.03 กรัม ความยาว 0.06±0.09 ซม.	96	0.014	วิทยา และ โสมลดา (2545)
	น้ำหนัก 1.95±0.44 กรัม ความยาว 2.87±0.25 ซม.	96	0.018	วิทยา และ โสมลดา (2545)

10.3. ผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคม

10.3.1 ผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำมันมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทำให้คุณภาพน้ำต่ำลงจนสัตว์น้ำจำพวกปลา กุ้ง หอย อาจไม่สามารถดำรงชีวิตได้ นอกจากนี้ น้ำมันที่เคลื่อนตัวเข้าหาฝั่ง ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อการเพาะเลี้ยงหอยและการเลี้ยงปลาในกระชังเนื่องจากสัตว์น้ำเหล่านี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกล และอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในสัตว์น้ำ ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาบริโภค ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้จากแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลดลง นำไปสู่ความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ

10.3.2 ผลกระทบเกี่ยวกับความเดือดร้อนรำคาญ จากคราบสกปรกของน้ำมันที่ลอยไปติดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินของมนุษย์

10.3.3 ผลกระทบด้านสุนทรียภาพและความงดงามของแหล่งท่องเที่ยว เช่น ชายหาด ปะการัง เมื่อครบน้ำมันหรือตะกอนน้ำมัน ถูกพัดพาเข้าสู่แหล่งท่องเที่ยวทำให้ทัศนียภาพ ความงดงามของแหล่งท่องเที่ยวลดลงจนไม่เหมาะสมต่อการท่องเที่ยวหรือการพักผ่อน ส่งผลให้ จำนวนนักท่องเที่ยวลดลง มีผลต่อระบบเศรษฐกิจและรายได้ของประชาชนในท้องถิ่นและประเทศ

11. ลักษณะทางชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ (Giant Tiger Prawn) เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* (Fabricius) จัดอยู่ใน Phylum Arthropoda, Class Crustacea, Subclass Malacostraca, Order Decapoda, Suborder Natantia, Section Penaeidea, Family Penaeidae (ประจวบ, 2534)

11.1 ลักษณะทั่วไป

รูปร่างลักษณะโดยทั่วไป ลำตัวแบ่งเป็นข้อปล้องทั้งหมด 19 ข้อปล้อง แต่ละปล้องมี ulyangคหนึ่งคู่ จำแนกออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1) ส่วนหัว (Head) ส่วนหัวมี 5 ข้อปล้อง แต่รวมเป็นข้อปล้องเดียว มีเปลือกคลุม (Carapace) เปลือกหุ้มตัวตอนหน้าสุดของข้อปล้องที่ 1 จะยื่นไปข้างหน้าที่เรียกว่า กริ ได้กริมิตา 1 คู่ ปากอยู่ระหว่างขากรรไกร มีรยางค์ 5 คู่

รยางค์คู่ที่ 1 - 2 เป็นหนวดใช้ในการสัมผัส

รยางค์คู่ที่ 3 เป็นขากรรไกรล่าง ทำหน้าที่ขบเคี้ยวอาหาร

รยางค์คู่ที่ 4-5 เป็นขากรรไกรบน มีหน้าที่เช่นเดียวกับขากรรไกรล่าง

2) ส่วนอก (Thorax) มี 8 ข้อปล้อง รยางค์ 8 คู่

รยางค์คู่ที่ 6 - 8 อยู่บนอก เรียกว่า Maxilliped มีหน้าที่ช่วยในการกินอาหาร

รยางค์คู่ที่ 9 - 11 มีลักษณะเป็นก้ามซึ่งแต่ละคู่มิขนาด ความยาวใกล้เคียงกัน ทำหน้าที่ช่วยในการจับอาหารเข้าปากหรือป้องกันตนเองเมื่อมีภัย

รยางค์คู่ที่ 12 - 13 เป็นขาใช้สำหรับเดิน เคลื่อนไหวและทำความสะอาดตัว

3) ส่วนลำตัว (Abdomen) มี 6 ขี้อปล้อง เปลือกข้อปล้องท้องที่ 2 ไปทับข้อปล้องแรก มีรยางค์ 6 คู่

รยางค์คู่ที่ 14 - 18 มีลักษณะคล้ายใบพายใช้สำหรับว่ายน้ำ

รยางค์คู่ที่ 19 เป็นหาง ประกอบด้วยแพนหางและหางรูปพัด ยกขึ้นลงได้ตามประสงค์ ช่วยในการเคลื่อนที่ (ประจวบ, 2527)

11.2 การสืบพันธุ์

การผสมพันธุ์จะเกิดขึ้นเมื่อตัวเต็มวัยได้ลอกคราบแล้ว และอยู่ในสภาพที่เปลือกยังนิ่มอยู่เท่านั้น ส่วนมากจะผสมพันธุ์กันในเวลากลางคืน กุ้งตัวผู้และตัวเมียจะว่ายน้ำขนาบกัน กุ้งตัวผู้ซึ่งอยู่ด้านล่างจะหงายท้องชิดตัวเมีย โดยตัวผู้จะสอดอวัยวะเพศที่เรียกว่า พีแทสมา (Petasma) เข้าไปในอวัยวะเพศเมียที่เรียกว่า ทิลิคัม (Thelycum) พร้อมกับปล่อยน้ำเชื้อเข้าไปในถุงเก็บน้ำเชื้อเพื่อรอโอกาสที่จะผสมกับไข่ในระยะหลัง เมื่อไข่แก่และสุกเต็มที่จะถูกขับออกมาทางช่องเพศไข่ตรงโคนขาเดินคู่ที่สาม และจะได้รับการผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้ซึ่งไหลออกจากถุงเก็บน้ำเชื้อทางรูเปิดเล็กๆ ที่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่สี่ของตัวเมีย (ประจวบ, 2527)

11.3 วงจรชีวิตกุ้งกุลาดำ

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำเริ่มจากตัวเต็มวัย (Adult) เมื่อกุ้งกุลาดำมีอายุประมาณ 18 - 24 เดือน แม่กุ้งจะวางไข่ในทะเลที่ระดับน้ำลึกประมาณ 30 - 400 เมตร แม่กุ้งจะวางไข่ครั้งละประมาณ 248,000 - 844,000 ฟอง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.27 - 0.31 มิลลิเมตร (Motoh, 1981) ใช้เวลาวางไข่ครั้งหนึ่งประมาณ 3 - 5 นาที ไข่ที่ผสมแล้วที่อุณหภูมิ 25 - 28 องศาเซลเซียส ขณะที่ปล่อยสู่ทะเลใหม่ๆ จะมีลักษณะกลม ค่อนข้างแบนจนฟักเป็นตัวอ่อนภายในเวลา 13 - 15 ชั่วโมง ระยะเวลาการฟักออกเป็นตัวจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเค็มจากนั้นกุ้งวัยอ่อนจะวิวัฒนาการและเปลี่ยนรูปร่างไปตามขั้นตอน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

11.3.1 ระยะนาพลิซ (Nauplius stage) เป็นลูกกุ้งที่ฟักออกจากไข่ใหม่ๆ มีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น รูปร่างค่อนข้างกลม มีรยางค์ 3 คู่ โดยคู่แรกจะเจริญเป็นหนวดคู่สั้น (1st Antenna) อยู่ด้านหัวสุด ระวังค์คู่ที่ 2 จะเจริญเป็นหนวดคู่ยาว (2nd Antenna) และคู่ที่ 3 จะเจริญ

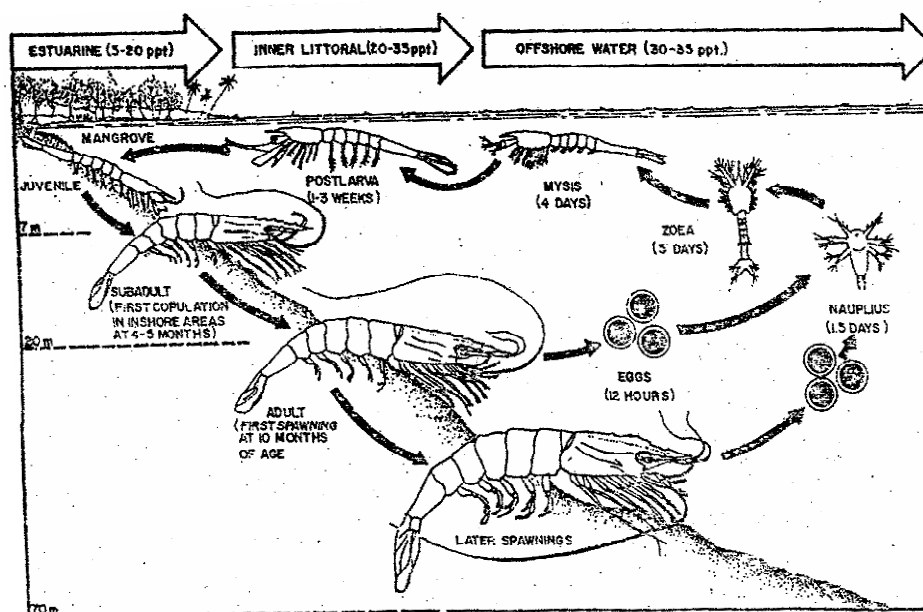
เป็นขากรรไกร (Mandible) อยู่ต่ำลงตามลำดับ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งหมด 6 ครั้งภายใน 40-50 ชั่วโมง ระยะนี้ลูกกุ้งยังไม่กินอาหาร แต่ได้อาหารจาก Yolk sac ที่ติดตัวมาและมีชีวิตส่วนใหญ่อยู่น้ำตามหน้าดิน

11.3.2 ระยะโปรโตซัว (Protozoa stage) ลูกกุ้งมีลำตัวยาวขึ้น ส่วนหัวโตสามารถเห็นได้ชัด ค่อยๆ ลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ และเริ่มกินอาหารซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแพลงก์ตอนเล็กๆ 5-100 ไมครอน ลูกกุ้งเริ่มเข้าหาฝั่งและจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 4 วัน มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง 3 ครั้ง

11.3.3 ระยะไมซิส (Mysis stage) ลูกกุ้งในระยะนี้มีลักษณะคล้ายพ่อแม่แม่มากขึ้น สามารถมองเห็นได้ชัด จะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 7 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง 3 ระยะ

11.3.4 ระยะโพสลาวา (Post larva) เป็นระยะตัวอ่อนขั้นสุดท้าย ลูกกุ้งมีความยาวตัวประมาณ 5.50 มิลลิเมตร มีระยางค์ครบเหมือนตัวเต็มวัย ลูกกุ้งจะวิวัฒนาการจนเข้าสู่วัยรุ่น โดยแบ่งเป็น 25 ระยะ ภายใน 25 วัน หลังจากการลอกคราบแต่ละครั้งรูปร่างลักษณะของกุ้งจะเปลี่ยนแปลงไปสมบูรณ์ยิ่งขึ้น มีสีเหลืองใส มีลายหรือจุดเกิดขึ้น กริยาว หนามบนลำตัวหายไป

หลังจากนั้นกุ้งกุลาดำจะอพยพเข้ามาสู่ชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำหรือในป่าชายเลน ขณะเดียวกันกุ้งจะเจริญเติบโตขึ้น โดยวิธีการลอกคราบ จากนั้นกุ้งจะใช้บริเวณแหล่งน้ำกร่อยนี้เลี้ยงตัวประมาณ 3-4 เดือน จนถึงระยะวัยรุ่น (Juvenile) เพราะเป็นบริเวณที่มีอาหารธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ แหล่งหลบภัย ต่อจากนั้นเมื่อกุ้งโตจนมีขนาดประมาณ 50 กรัม จะเริ่มอพยพกลับออกสู่ทะเลลึกเพื่อทำการผสมพันธุ์และวางไข่ต่อไป Motoh (1981) พบว่า กุ้งกุลาดำตัวเมียมีอายุสูงสุดประมาณ 2 ปี ส่วนกุ้งกุลาดำตัวผู้มีอายุสูงสุดประมาณ 18 เดือน วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วงจรชีวิตของกุ้ง Penaeid species ในแต่ละระยะตามแหล่งที่อยู่อาศัย
ที่มา: Motoh (1981)

11.4 ถิ่นอาศัยและการแพร่กระจาย

กุ้งกุลาดำมีถิ่นอาศัยอยู่ในเขตร้อน ในน่านน้ำแถบใต้หวัน ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ บริเวณที่พบมากได้แก่ เขตมหาสมุทรอินเดีย ออสเตรเลีย และไทย พบได้ตั้งแต่ บริเวณปากแม่น้ำจนถึงทะเลลึก ความลึกตั้งแต่ 30 – 150 เมตร ความเค็มตั้งแต่ 5 -35 ppt และ อุณหภูมิตั้งแต่ 24 – 34 องศาเซลเซียส กุ้งในทะเลลึกจะมีสีเข้มกว่ากุ้งในเขตนํ้าตื้นและกุ้งในบ่อเลี้ยง ทั่วไป (ประจวบ, 2534) สำหรับประเทศไทยพบทั้งในบริเวณอ่าวไทยและทะเลอันดามัน โดยอ่าวไทยพบได้ตั้งแต่จังหวัดสงขลา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ และจันทบุรี ส่วนในทะเลอันดามันพบได้ตั้งแต่ชายฝั่งจังหวัดระนอง ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล (ผุสดี และคณะ, 2530) กุ้งกุลาดำ มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ชอบอาศัยอยู่ในบริเวณน้ำลึก ห่างออกจากฝั่ง ชอบหมกตัวและอยู่ตามหน้าดินพื้นทะเลที่เป็นโคลนปนทราย กินอาหารตลอดเวลา จำพวกพืชและสัตว์ทั้งที่ตายแล้ว และยังมีชีวิตอยู่ สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง ความเค็มต่ำ และทนอยู่ในน้ำที่มีช่วงความเค็มค่อนข้างกว้างประมาณ 0.2 - 70 ppt ได้

11.5 การเจริญเติบโต

กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง มีโครงร่างอยู่ภายนอกลำตัว มีเปลือกห่อหุ้มป้องกันตัว ซึ่งเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีไคติน (Chitin) เป็นองค์ประกอบ กุ้งมีความจำเป็น ต้องลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโตและความอยู่รอด ทั้งนี้เพราะเปลือกกุ้งเป็นอวัยวะที่ไม่สามารถเพิ่มขนาดได้ ดังนั้นในการเพิ่มขนาดตัวของกุ้งแต่ละครั้งจำเป็นต้องสลัดเปลือกเก่าทิ้งไป แล้วสร้างเปลือกใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาแทน กุ้งเริ่มลอกคราบตั้งแต่ฟักออกจากไข่เพียงไม่กี่ชั่วโมง และจะลอกคราบไปเรื่อยๆ จนชั่วชีวิต ก่อนที่กุ้งลอกคราบจะมีการสะสมอาหารไว้ในร่างกายมากกว่าปกติ โดยเฉพาะสารที่สร้างเปลือก เมื่อกุ้งสลัดเปลือกออกหมด ลำตัวจะขยายใหญ่ขึ้น และเปลือกจะแข็ง ตัวภายในเวลา 2 – 8 ชั่วโมง

ในการศึกษาและแบ่งระยะต่างๆ ของวงจรการลอกคราบ (Intermolt cycle) ของพวกครัสเตเชียน (Crustacean) โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Drach แบ่งได้เป็น 5 ระยะหลัก ได้แก่ ระยะ A (Intermediate Postmolt), ระยะ B (Postmolt), ระยะ C (Intermolt), ระยะ D (Premolt) และระยะ E (Ecdysis) และในแต่ละระยะยังมีการแบ่งย่อยออกไปอีก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นที่เปลือก (Integument) ครั้งแรก การลอกคราบของกุ้งแต่ละครั้งอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนภายในร่างกาย 2 ชนิดคือ ฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt Inhibiting Hormone: MIH) ที่สร้างขึ้นจากเซลล์ประสาทส่วนกลางของเอ็กซ์ออร์แกน (X - organ) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบอยู่ในปมประสาทบริเวณก้านตา ส่งผ่านไปไชนัสแกรนด์ (Sinus gland) ซึ่งทำงานเป็น Neurohemal organ เพื่อสะสมฮอร์โมนจาก X - organ ที่ถูกส่งมาจากเส้นประสาทและปล่อยฮอร์โมนสู่กระแสเลือด การทำงานของ X - organ - sinus gland complex ต้องมีปัจจัยที่กระตุ้นผ่านระบบประสาทส่วนกลางไปยังเซลล์ประสาทบริเวณก้านตา จึงจะมีผลให้เกิดการสร้าง MIH และฮอร์โมนอีกชนิดหนึ่งคือ ฮอร์โมนการลอกคราบ (Molting Hormone: MH) เป็นฮอร์โมนควบคุมการลอกคราบที่ผลิตโดย Y - organ เรียกฮอร์โมนนี้ว่า Ecdysone ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปที่ Active ได้แก่ 20 - H - Ecdysone (Crustecdysone) Y - organ นี้เป็นโครงสร้างที่พบในเนื้อเยื่อของ Maxillary segment และถูกหลั่งออกสู่กระแสเลือดที่บริเวณ Excretory organ ที่อยู่ใน Antennary segment (จิราภรณ์, 2533) โดยที่ Y - organ จะผลิต MIH ในช่วงหลังลอกคราบและก่อนลอกคราบ และส่ง MIH ไปเก็บใน Y - organ ในช่วงลอกคราบจะหยุดผลิต MIH และ Y - organ จะปล่อย MIH ที่สะสมไว้ออกมาในช่วงนี้ ดังนั้นถ้ามีการตัดก้านตาออก จะทำให้กุ้งลอกคราบได้เร็วขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยทั่วไปกุ้งจะลอกคราบช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วัยของกุ้ง อาหาร แสง และอุณหภูมิ ถ้า

ในการศึกษาการลอกคราบของกุ้งกุลาดำนั่น จิราภรณ์ (2533) พบว่า ช่วงระยะเวลาในวงจรการลอกคราบของกุ้งกุลาดำจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของกุ้ง โดยระยะเวลาเฉลี่ยจากคราบที่ 1 – คราบที่ 2 และจากคราบที่ 2 – คราบที่ 3 ของกุ้งกุลาดำขนาดต่างๆ ที่ความเค็มของน้ำที่ใช้ในการทดลอง 20 ppt แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะเวลาเฉลี่ยในการลอกคราบจากคราบที่ 1 – 2 และจากคราบที่ 2 – 3 ของกุ้งกุลาดำขนาดต่างๆ

ขนาดความยาวของ กุ้งทดลอง (นิ้ว)	ระยะเวลาเฉลี่ยในการลอกคราบ (วัน)	
	จากคราบที่ 1 – คราบที่ 2	จากคราบที่ 2 – คราบที่ 3
P20 – P25	2.68 ± 0.89	2.80 ± 0.45
1.50 - 1.70	5.20 ± 1.64	6.40 ± 1.95
3.15 – 3.38	14.80 ± 2.95	18.60 ± 2.88
4.40 – 4.50	20.40 ± 3.58	20.80 ± 3.11
5.15 – 5.75	26.00 ± 8.34	23.60 ± 2.51

ที่มา: จิราภรณ์ (2533)

11.6 การกินอาหารและการย่อยอาหาร

กุ้งมีวิธีการกินอาหาร 4 ประเภทคือ

11.6.1 กินอาหารโดยการกรอง (Filter feeding)

11.6.2 กินสัตว์ ฟืชที่ตายแล้ว (Scavenger)

11.6.3 กินสัตว์ที่มีชีวิต เปรียบเหมือนผู้ล่าเหยื่อ (Predators)

11.6.4 เป็นพาราไซต์ (Parasite)

การกินอาหารของกุ้งกุลาดำนั้นแตกต่างกันตามอายุ กุ้งกุลาดำกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ แต่ชอบกินเนื้อสัตว์ที่มีกลิ่นความมาก เนื่องจากสามารถรับกลิ่นของอาหารโดยผ่านปมประสาทรับความรู้สึกที่บริเวณปาก หนวด ขาเดิน หัว และเหงือก กุ้งกุลาดำชอบหาอาหารกินใน

เวลากลางคืน ชอบกินอาหารที่อยู่บริเวณหน้าดิน กุ้งกุลาดำจะกินอาหารมากหลังลอกคราบเสร็จใหม่ๆ ก่อนลอกคราบจะกินอาหารน้อยลง และจะไม่กินอาหารเลยขณะกำลังลอกคราบ (มะลิ, 2531) ซึ่งแบ่งแยกการกินอาหารตามระยะของวัยอ่อนได้ดังนี้

ระยะ Nauplius ระยะนี้จะไม่กินอาหารจากภายนอก เนื่องจากมี Yolk sac ติดอยู่

ระยะ Protozoa เริ่มกินพืช แพลงก์ตอนพืชขนาดเล็กเป็นอาหาร และปลายๆ ของระยะวัยอ่อนนี้จะเริ่มกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารด้วย

ระยะ Mysis กินอาหารทั้งที่เป็นแพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์

ระยะ Postlarva ส่วนมากกินแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารและเริ่มกินสัตว์ที่ตายแล้ว

ระยะ Juvenile กินสัตว์ พืชที่ตายแล้ว กินอาหารได้ทุกชนิด เหมือนกับกุ้งโต การกินอาหารในระยะนี้จะใช้ส่วนของ Maxilla และ Maxilliped ช่วยจับอาหารส่งไปที่ Mandible เพื่อฉีกเป็นชิ้นเล็กๆ ส่งเข้าปากไปตามทางเดินอาหาร

ทางเดินอาหารของกุ้ง (Digestive tract) ประกอบด้วย

1. ปาก (Mouth) อยู่ด้านท้องระหว่าง Mandible ซึ่งมี Incissor process และ Molar process ทำหน้าที่กัด ฉีกอาหารส่งเข้าปาก

2. Oesophagus เป็นท่อนต่อจากส่วนของปาก

3. กระเพาะอาหาร (Stomach) เป็นส่วนที่ต่อจาก Oesophagus แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- 3.1 Cardiac chamber เป็นกระเพาะอาหารส่วนหน้า มีขนาดกว้างใหญ่

- 3.2 Pyloric chamber เป็นกระเพาะอาหารส่วนหลัง มีขนาดเล็กลง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหน้าและส่วนหลัง

4. ลำไส้ (Intestine) เป็นทางเดินอาหารต่อจากกระเพาะอาหารส่วนหลัง ทอดยาวไปตามลำตัวถึงข้อปล้องที่ 6

5. ทวาร (Anus) เป็นช่องเปิดถ่ายกากอาหาร อยู่ที่ส่วนลำตัวข้อปล้องที่ 6

ทางเดินอาหารของกิ้งก้านั้น ถ้าแบ่งตามลักษณะและอาณาเขตของกระเพาะอาหาร สามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือ

1. Fore gut ประกอบด้วย Oesophagus, Cardiac chamber และส่วนหน้าของ Pyloric chamber

2. Mid gut ประกอบด้วย ส่วนหลังของ Pyloric chamber

3. Hind gut ประกอบด้วย Intestine และ Anus

การย่อยอาหาร

เกิดขึ้นภายในส่วนของ Cardiac chamber โดย Gastric mill จะบดอาหารจนละเอียด แล้วส่งไปที่บริเวณกระเพาะอาหารส่วนกลางซึ่งมีฟันบดละเอียด ทำหน้าที่บดต่อและมีขนาดเล็กๆ ทำหน้าที่กั้นอาหารหยาบก่อนจะส่งไปที่กระเพาะอาหารส่วนล่าง ในบริเวณนี้อาหารที่ผ่านการบดละเอียดจะมีลักษณะคล้ายของเหลวผสมกับน้ำย่อยที่ผลิตออกมาโดย Digestive gland อาหารที่ผ่านการย่อยละเอียดเหล่านี้จะถูกส่งไปที่ Hepatic duct เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถย่อยได้จะผ่านต่อไปทางปลายของกระเพาะอาหาร ผ่านไปทางลำไส้ และออกทางรูที่เปิดสู่ภายนอกต่อไป (ประจวบ, 2527)

11.7 การหายใจ

โดยทั่วไปการหายใจของกุ้งจำแนกตามการเจริญเติบโตและชนิดของกุ้ง มี 3 ลักษณะ คือ

11.7.1 การหายใจทางผิวหนัง (Integumentary respiration) กุ้งที่มีการหายใจแบบนี้ คือกุ้งที่อยู่ในกลุ่ม Penaeid, Lucifer ส่วนมากลูกกุ้งวัยอ่อนจะมีการหายใจในลักษณะนี้

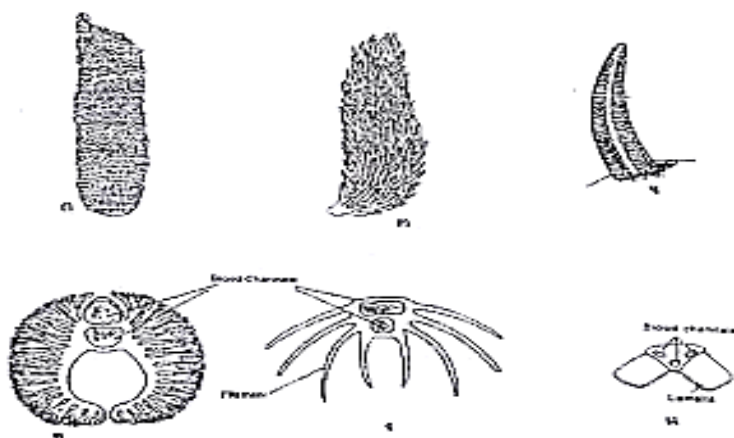
11.7.2 การหายใจทางทางเดินอาหาร (Intestinal respiration) น้ำจะผ่านเข้าทางด้านปากและผ่านออกทางทวาร (Anus) การหายใจแบบนี้จะพบในกุ้งวัยอ่อน

11.7.3 การหายใจทางเหงือก (Gill respiration) กุ้งขนาดโตเต็มวัยเกือบทุกชนิดหายใจทางเหงือก ซึ่งเหงือกของกุ้งแต่ละชนิดมีรูปร่างแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ ดังภาพที่ 6 คือ

1) เหงือกเดนโดรเบรังกิเอท (Dendrobranchiate gill) เหงือกชนิดนี้จะมีส่วนที่ยื่นออกมาด้านข้างจำนวน 2 ชุด เรียกว่าแขนงย่อย (Sub - branched) และในแต่ละแขนงจะมีแขนงย่อยๆ แยกออกไปอีก มีลักษณะซับซ้อนและอยู่รวมกันเป็นกระจุกแน่น (Extensive and complex) ส่วนใหญ่พบเหงือกชนิดนี้ในกุ้งที่มีวิวัฒนาการต่ำ (Primitive shrimp) ได้แก่ กุ้งใน Family Penaeidae

2) เหงือกไตรโคเบรังกิเอท (Trichobranchiate gill) เหงือกชนิดนี้ส่วนที่ยื่นออกทางด้านข้างจะมีลักษณะเป็นเส้น (Filament) จำนวนมากเรียงอยู่รอบๆ แกน ส่วนใหญ่พบเหงือกชนิดนี้ในกุ้งกลุ่ม Stenopodidea

3) เหงือกฟิโลเบรังกิเอท (Phyllobranchiate gill) เหงือกชนิดนี้มีส่วนที่ยื่นออกมาด้านข้างเช่นเดียวกับชนิดแรก แต่ส่วนที่ยื่นออกมามีลักษณะเป็นแผ่นแบนคล้ายจาน (Flattened plate like) แผลออกสองข้าง มีลักษณะเป็นแผ่นธรรมดา (Simple lamellar) ส่วนใหญ่พบเหงือกชนิดนี้ในกุ้งที่มีวิวัฒนาการสูง ได้แก่ กุ้งใน Family Caridae (ประจวบ, 2543)



ภาพที่ 6 ชนิดของเหงือกแบ่งตามโครงสร้างของเหงือก

- ก. เหงือกเคนโดรแบริงคิเอทของกุ้ง *Penaeus*
- ข. ภาพตัดขวางของเหงือกเคนโดรแบริงคิเอท
- ค. เหงือกไทรโคแบริงคิเอทของเครฟิส *Astacus*
- ง. ภาพตัดขวางของเหงือกไทรโคแบริงคิเอท
- จ. เหงือกฟิลโลแบริงคิเอทของกุ้ง *Palaemon*
- ฉ. ภาพตัดขวางของเหงือกฟิลโลแบริงคิเอท

ที่มา: นงนุช (2542)

ในสัตว์พวกที่มีระบบเลือด การนำออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมไปยังอวัยวะเป้าหมาย เกิดจากการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ผิวอวัยวะหายใจแล้วออกซิเจนจะถูกพาไปโดย Respiration pigment ไปกับกระแสเลือด

ในสัตว์จำพวกกุ้ง การขนส่งออกซิเจนผ่านผิวเหงือกทำได้โดยขบวนการแพร่ในเลือด Lockwood (1967) พบว่ามี 2 รูปแบบ คือ การที่ออกซิเจนละลายอยู่ในเลือดโดยตรงส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่ง ออกซิเจนจะเกาะติดไปกับ Respiration pigment แต่โดยทั่วไปออกซิเจนจะถูกนำไปในระบบเลือด โดยฮีโมไซยานินซึ่งเป็นพวกเม็ดสีที่มีทองแดง 8 อะตอม จับออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล ฮีโมไซยานินที่พบในเลือดโดยทั่วไปอยู่ในรูปสารละลาย พวกโมเลกุลใหญ่มักสูญเสียไปกับระบบขับถ่าย ฮีโมไซยานินที่มีออกซิเจนจะมีสีฟ้า และจะไม่มีสีเมื่อไม่มีออกซิเจนเกาะอยู่

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของกุ้ง

1. ปัจจัยภายใน เช่น ขนาดร่างกาย น้ำหนัก เพศ อายุ และระยะต่างๆ ในวงจรชีวิต รวมทั้งประเภทของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป และการย่อยสลายอาหาร

2. ปัจจัยภายนอก ได้แก่ ลักษณะของสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม แสง ออกซิเจน กิจกรรมและสารปนเปื้อนต่างๆ (ประจวบ, 2543)

11.8 การบริโภคออกซิเจน (Oxygen consumption)

ความต้องการออกซิเจนของสัตว์น้ำมีผลต่อการเจริญเติบโต กิจกรรมและอัตราการรอดในสัตว์ต่างชนิดกันก็มีอัตราการใช้ออกซิเจนต่างกัน กุ้งจะใช้ออกซิเจนในขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ของร่างกาย โดยทั่วไปการตอบสนองต่อปริมาณออกซิเจนของสัตว์น้ำจะเป็นไปใน 2 ลักษณะ (Vernberg, 1971) คือ

11.8.1 แบบที่ขึ้นอยู่กับการปริมาณออกซิเจน (Oxygen dependent pattern) การบริโภคออกซิเจนของสัตว์จะเป็นสัดส่วน หรือแปรผันตามปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ เรียกสัตว์ในกลุ่มที่มีการตอบสนองแบบนี้ว่า “Oxyconformer”

11.8.2 แบบที่ไม่ขึ้นอยู่กับการปริมาณออกซิเจน (Oxygen independent pattern) การบริโภคออกซิเจนในลักษณะนี้จะคงที่ในระดับหนึ่งที่ปริมาณออกซิเจนเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงจำกัด ช่วงหนึ่ง จนกระทั่งปริมาณออกซิเจนลดลงถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว เรียกสัตว์กลุ่มนี้ว่า “Oxyregulator”

การปรับตัวตอบสนองภาวะการขาดแคลนออกซิเจนนั้น เป็นการปรับตัวของระบบหมุนเวียนโลหิต และระบบระบายน้ำผ่านเหงือก ตลอดจนระบบการลำเลียงออกซิเจน การปรับตัวอย่างฉับพลันเกิดขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณน้ำไหลผ่านเหงือกมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับการที่ออกซิเจนลดปริมาณลงในแต่ละหน่วยปริมาตรของน้ำ การเคลื่อนที่หรือการว่ายน้ำของกุ้งเป็นการตอบสนองในรูปแบบหนึ่งที่สามารถทำให้ปริมาณน้ำไหลผ่านเหงือกมากขึ้น ระดับการตอบสนองนี้อาจจะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของภาวะการขาดแคลนออกซิเจน รวมทั้งพลังงานที่สูญเสียไปในการ

เคลื่อนที่นั้น ถ้าปริมาณออกซิเจนในน้ำยังลดต่ำกว่าเดิมต่อไปอีก กลวิธีการปรับตัวของกุ้งจะเปลี่ยนไปเป็นการสว่นพลังงานโดยหยุดการเคลื่อนไหว ซึ่งในระยะเวลาต่อมาอาจจะเริ่มใช้ออกซิเจนสำรองจากแหล่งกักตุนภายในร่างกาย เช่น จากฟองอากาศของ Respiratory pigment (Vernberg, 1971) หรือเริ่มดึงพลังงานจากเนื้อเยื่อออกมาโดยกระบวนการ Anaerobic respiration เพื่อรักษาชีวิตไว้ก่อน

การใช้ออกซิเจนมีความแตกต่างกันมาก ระหว่างชนิดและในชนิดเดียวกันที่อยู่ในสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกต่างกัน เช่นในโคพีพอดชนิดที่อยู่ในทะเล บริโภคออกซิเจนจำนวน 580-1280 $\mu\text{O}_2/\text{mg wet weight/hr}$ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ *Libinia dubia* ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส บริโภคออกซิเจน 25.2 $\mu\text{O}_2/\text{mg wet weight/hr}$ (Waterman, 1960) ดังแสดงในตารางที่ 8 การบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ที่ความเค็ม 25 ppt ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บริโภคออกซิเจน 0.5 มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง (Liao and Murai, 1986) นอกจากนี้ สุทธิ (2539) พบว่า กุ้งกุลาดำระยะ Post larva 20 ที่ความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 ppt อัตราการบริโภคออกซิเจนมีค่าเป็น 2.96 ± 1.64 , 3.13 ± 2.02 , 2.94 ± 1.82 , 1.99 ± 1.54 และ 2.49 ± 1.71 $\text{mgO}_2/\text{gdw/hr}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ความต้องการบริโภคออกซิเจน (Oxygen consumption) ของครัสเตเชียบางชนิด (QO_2)^a

ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	μO_2 /น.น.ตัวเป็นกรัม/ชั่วโมง
Branchiopoda		
<i>Artemia salina</i>	23.5	236-739
Copepoda		
Marine species	20	580-1820 ^b
Isopoda		
<i>Ligia oceanica</i>	25	179-400
Amphipod		
<i>Gammarus limnaeus</i>	10	25-290
Mysidacea		
<i>Haemimysis lamornae</i>	10	32

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	μIO_2 /น.น.ตัวเป็นกรัม/ชั่วโมง
Caridea		
<i>Palaemon serratus</i>	13-17.3	99-131
<i>Pandalus borealis</i>	6.5	75
Macrura		
<i>Astacus astacus</i>	15	30-54
<i>Homarus americanus</i>	15	20
<i>Procambarus alleni</i>	25.1	66
<i>Palinurus elephas</i>	15	44
Brachyura		
<i>Calappa hepatica</i>	26	242
<i>Metagrapsus messor</i>	28	88
<i>Libinia dubia</i>	27	25.2
<i>Uca minax</i>	27	76.8
Stomatopoda		
<i>Squilla mantis</i>	24-25	119-136
Average of 54 crustaceans	ร้อยละ 15	108

^a ปริมาณออกซิเจนโดยประมาณ เนื่องจากไม่มีข้อมูลประกอบที่แน่ชัดเกี่ยวกับขนาด, ฤดูกาล, กิจกรรม, แหล่งที่พบ เป็นต้น

^b คำนวณจากน้ำหนักแห้ง ซึ่งความจริง น้ำหนักน้ำหายไปร้อยละ 90

ที่มา: Waterman (1960)

อัตราการใช้ออกซิเจนของกุ้งเป็นค่าแสดงปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในขบวน การออกซิเดชันซึ่งเป็นตัวกำหนดอัตราเมตาบอลิซึม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการบริโภคออกซิเจนสูงขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันอัตราการบริโภคออกซิเจนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง (จารุวัฒน์ และ สมนึก, 2530)

จารุวัฒน์ และสมนึก (2529) ศึกษาอัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำ ในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ พบว่า อัตราการบริโภคออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 อัตราการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ

ระยะกุ้งกุลาดำ	อัตราการบริโภคออกซิเจน * (มิลลิกรัม / ชั่วโมง / 10 ⁴ ตัว)
ไข่ (E)	2.20 ± 1.44 มิลลิกรัม / ชั่วโมง / 10 ⁴ ฟอง
Nauplius 1 (N1)	2.83 ± 1.41 – 6.88 ± 2.65
Zoea 2 (Z2)	9.23 ± 4.61 – 15.61 ± 11.21
Mysis2 (M2)	15.78 ± 6.77 – 27.60 ± 16.95
Post Larva 2 (P2)	17.22 ± 6.56 – 31.58 ± 13.23
Post Larva 8 (P8)	47.31 ± 40.28
Post Larva 10 (P10)	33.35 ± 10.84 – 49.69 ± 16.59
Post Larva 15 (P15)	51.76 ± 16.53
Post Larva 17 (P17)	96.99 ± 21.96

* อัตราการบริโภคออกซิเจน หรือ Routine metabolism (R) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อชั่วโมง คำนวณมาจากสูตร

$$OC = (Ot_1 - Ot_2) / N(t_1 - t_2) \times V \times 10^4$$

โดย OC คือ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกบริโภค (มิลลิกรัมต่อชั่วโมง)

O_{t_1} คือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เวลา t_1 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

O_{t_2} คือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เวลา t_2 (มิลลิกรัมต่อลิตร)

t คือ เวลา (ชั่วโมง)

V คือ ปริมาตรของ Respiration chamber (ลิตร)

N คือ จำนวนลูกกุ้งใน Chamber (ตัว)

โดยให้ $t_1 - t_2 = 1$ ชั่วโมง ระหว่างระยะเวลาการทดลองแต่ละครั้ง แล้วนำค่า OC ที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย

$$R = \overline{OC}$$

ที่มา: ปรับปรุงจาก จารุวัฒน์ และสมนึก (2529)

สำหรับระดับการบริโภคออกซิเจนขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนจากระยะไข่จนถึง P15 แม้ว่าจะมีแนวโน้มลดลงในระยะการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมสำหรับกุ้งกุลาดำวัยอ่อนคือ สูงกว่า 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป และลูกกุ้งระยะ P2 – P15 คือสูงกว่า 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป

อรพินท์ (2530) ศึกษาการใช้ออกซิเจนของกุ้งในระบบน้ำไหลผ่าน โดยคำนวณตามสูตร

$$VO_2 = \overline{F} (O_{in} - O_{out})$$

เมื่อ $\overline{VO_2}$ คือ อัตราการใช้ออกซิเจน (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อชั่วโมง)

$\overline{F}$ คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของน้ำระหว่างต้นชั่วโมงกับปลายชั่วโมง (ลิตรต่อชั่วโมง)

O_{out} คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำที่ไหลออกจากขวดวัดอัตราการใช้ออกซิเจนที่มีตัวอย่างสัตว์ทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

O_{in} คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำที่ไหลออกจากขวดวัดอัตราการใช้ออกซิเจนที่ไม่มีตัวอย่างสัตว์ทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จากการศึกษา พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนของกุ้งแช่บ๊วย (*Penaeus indicus*) ขนาด 1 – 20 กรัม มีค่า 1.56 – 4.87 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง กุ้งตะกาด (*Metapenaeus ensis*) ขนาด 1–10 กรัม มีค่า 0.78 – 1.62 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และกุ้งหัวมัน (*Metapenaeus brevicornis*) ขนาด 1–10 กรัม มีค่า 1.23 – 1.97 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ที่ระดับความเค็มต่างๆ อัตราการใช้ออกซิเจนต่อตัวมีค่าสูงขึ้นเมื่อกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่อัตราการใช้ออกซิเจนต่อหน่วยน้ำหนักมีค่าลดลง เมื่อกุ้งมีขนาดใหญ่ขึ้น และไม่มีความแตกต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนของกุ้งชนิดเดียวกันที่ระดับความเค็ม 10, 20, 30 ppt เมื่อกุ้งมีการปรับตัวให้คุ้นเคยกับความเค็มมาก่อนแล้ว 1 วัน

นอกจากนี้ Thomas (1954) ศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของกุ้ง *Homarus vulgaris* พบว่า กุ้งขนาด 300 – 800 กรัม มีอัตราการใช้ออกซิเจนเท่ากับ 0.013 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงต่อ 1 กรัม น้ำหนักตัว ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นออกซิเจนในน้ำที่มีค่า 1.0 – 5.5 มิลลิลิตรต่อลิตร ที่ 15 องศาเซลเซียส

11.9 การขับถ่าย

ผลผลิตที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (Waste Product) ในรูปของไนโตรเจนเมตาบอลิซึมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำส่วนมากคือ แอมโมเนีย (NH_3) แม้ว่าจะมีพิษสารที่มีไนโตรเจนอื่นๆ แต่มีปริมาณไม่มาก ดังนั้นจึงนับว่าครัสเตเชียเป็นแอมโมนิเทล (Ammonotelic) สิ่งขับถ่ายต่างๆ ของครัสเตเชียประกอบด้วย แอมโมเนีย กรดยูริก ยูเรีย อะมิโนไนโตรเจน และพิวรีนไนโตรเจน (ประจวบ, 2543) ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยสัตว์จำพวก Decapod crustaceans มีปริมาณการขับถ่ายแอมโมเนียประมาณร้อยละ 60-70 ของการขับถ่ายไนโตรเจนทั้งหมด นอกนั้นจะมีการขับถ่ายในรูปอื่นๆ (Regnault, 1987)

ตารางที่ 10 สิ่งขับถ่ายในรูปของไนโตรเจนต่างๆ ของครัสเตเชีย

(หน่วย: mg/ 100 cc.)						
Species	Habitat	NH_3	Urea	Uric acid	Amino N.	Purine N.
<i>Maja squinado</i>	Marine	9	4	2	16	4
<i>Cancer pagurus</i>	Marine	43	13	13	20	10
<i>Carcinus maenas</i>	Marine	68	4	1.2	4	2.5
<i>Eriocheir sinensis</i>	Marine	63	5	Trace	-	-
<i>Marinogammarus pirloti</i>	Marine	87	0	0	2	-
<i>Orchestia</i> sp.	Littoral	70	1	0	-	-
<i>Ligia oceanica</i>	Littoral	83	0	0	-	6
<i>Gammarus locusta</i>	Brackish water	80	1	0	7	-

ที่มา: ปรับปรุงจาก Waterman (1960)

จากการรายงานของ Cockcroft and McLachlan (1987) พบว่า กุ้ง *Macropetasma africanus* จะขับถ่ายไนโตรเจนส่วนใหญ่ในรูปแอมโมเนีย และในบางครั้งอาจอยู่ในรูปยูเรียและกรดอะมิโนด้วย แต่พบในปริมาณที่น้อยกว่า ในน้ำที่มีระดับความเค็มต่ำซึ่งมีลักษณะเป็น Hypotonic solution สัตว์น้ำสูญเสียโซเดียมออกจากร่างกาย สัตว์น้ำจะชดเชยโดยการนำเอาโซเดียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันจะมีการขับแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Regnault (1987) พบว่า กุ้ง *Crangon crangon* มีการขับถ่ายแอมโมเนียต่ำที่สุดช่วงการลอกคราบ และเพิ่มสูงสุดทันทีหลังจากการลอกคราบ นอกจากนี้ Chen and Lin (1995) ทำการทดลองในกุ้ง *Penaeus chinensis* พบว่า การขับถ่ายแอมโมเนียของกุ้งสูงขึ้น เมื่อกุ้งอยู่ในน้ำที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำลง

Wickins (1985) ได้ทำการทดลองหาปริมาณแอมโมเนียที่ขับถ่ายจากกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ที่มีขนาด 1.9 และ 27 กรัม พบว่า กุ้งกุลาดำที่มีขนาด 1.9 กรัมจะมีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียสูงกว่าขนาด 27 กรัม คือมีการขับถ่าย 0.93 และ 0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกรัมต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณแอมโมเนียที่ขับถ่ายออกมาสูงสุดในชั่วโมงที่ 3, 9 และ 15 หลังจากการให้อาหาร และ พรศรี (2541) พบว่า กุ้งกุลาดำขนาด 1.17 กรัม มีการขับถ่ายแอมโมเนียร้อยละ 56.45-87.40 กุ้งกุลาดำขนาด 5.25 กรัม มีการขับถ่ายแอมโมเนียร้อยละ 62.53 - 88.35 และกุ้งขนาด 14.68 กรัม มีการขับถ่ายแอมโมเนียร้อยละ 59.61 – 90.11 นอกจากนี้ ที่ระดับความเค็ม 10, 15, 20, 25 และ 30 ppt กุ้งกุลาดำระยะ Post larva 20 มีอัตราการขับถ่ายแอมโมเนียเป็น 5.89 ± 2.73 , 6.18 ± 2.53 , 6.06 ± 2.55 , 6.03 ± 2.39 และ 5.58 ± 2.27 10^{-6} mole-nitrogen/gdw/hr ตามลำดับ

ในขณะที่กุ้งมังกร *Hamarus gammarus* ขนาด 300 กรัม มีการขับถ่ายไนโตรเจนเพียงประมาณ 0.3 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกรัมต่อวัน และมีการขับถ่ายแอมโมเนียสูงสุดในชั่วโมงที่ 6 และ 12 หลังจากการให้อาหาร และยังพบว่า การขับถ่ายไนโตรเจนจะลดลงในสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

อุปกรณ์ และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ Post larva 10 (P10) และระยะ Post larva 30 (P30)
2. น้ำทะเล
3. บ่อเตรียมน้ำ
4. ถังไฟเบอร์กลาส
5. ถังน้ำพลาสติก
6. เครื่องปั้มน้ำ ถุงผ้ากรองน้ำทะเล สายยาง สายอากาศ หัวทราย
7. โหลแก้วขนาดความจุ 3 ลิตรและ 10 ลิตร
8. ตู้ทดลองขนาด 50 ลิตร
9. ผ้าแสดนดำพรางแสง
10. ปิเปต (Pipette) ขนาด 0.1 1 5 และ 10 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางอุด
11. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100 250 และ 500 มิลลิลิตร
12. กระบอกตวง ขนาด 10 50 และ 100 มิลลิลิตร
13. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 100 และ 500 มิลลิลิตร
14. ขวดรูปชมพู่ (Elymentary flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
15. ขวดแก้วสีชา ขนาด 3 ลิตร
16. กรวยแยก (Separatory funnel)
17. แผ่นกรองชนิดแยกสาร (Phase Separators) ชนิด Whatman 1 PS
18. เครื่องอ่างน้ำ (Water bath)
19. ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer)
20. เครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง (4 – Digital electrical balance)
21. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
22. เครื่องวัดความเค็ม (Refractometer)
23. เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH Meter)
24. เครื่องวัดปริมาณการละลายของออกซิเจน (DO Meter) ยี่ห้อ YSI Model รุ่น 52
25. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 250 และ 50 มิลลิลิตร

26. โถดูดความชื้น (Dessicators)
27. เครื่องบดเนื้อเยื่อ (Homogenizer)

สารเคมี

1. น้ำมันดีเซลชนิดหมุนช้า (Low speed diesel)
2. น้ำมันเตาเบอร์ 2 (No. 2 fuel oil)
3. น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเรือประมง SEATECH 4000 (SAE 40)
4. สารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ คือ Sodium Dodecyl Sulphate (SDS)
5. อะซีโตน (Acetone)
6. เฮกเซน (N-hexane)
7. ไครซีน (Chrysene)
8. โซเดียมซัลเฟตแห้ง (Anh. Na_2SO_4)
9. คลอรีน (Chlorine: Cl)
10. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide: KI)
11. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
12. ฟอรัมาลิน (Formalin)

วิธีการ

1. การเตรียมกุ้งกุลาดำสำหรับการทดลอง

นำกุ้งกุลาดำระยะ Post larva 10 (P10) และระยะ Post larva 30 (P30) จากฟาร์มเพาะเลี้ยง
 เอกชนที่ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มาปรับสภาพเพื่อให้มีความเคยชินกับสภาพ
 สิ่งแวดล้อมในถังพัก มีการให้อากาศแก่น้ำตลอดเวลา ให้อาหารด้วยอาร์ทีเมีย และเปลี่ยนถ่ายน้ำ
 ประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณน้ำที่มีอยู่ พร้อมกับการดูดตะกอนของเสียที่อยู่ตามพื้นถังพัก ซึ่งจะ
 ช่วยลดการสะสมของของเสียต่างๆ ที่เป็นปัจจัยที่ทำให้คุณภาพน้ำในถังพักไม่ดี จะส่งผลโดยตรง
 ต่อการอนุบาลกุ้งกุลาดำ

ก่อนที่จะนำกุ้งไปใช้ในการทดลอง ต้องปรับสภาพกุ้งให้อัดอาหารประมาณ 12 ชั่วโมง โดยแยกออกจากบ่อพักมาแยกเลี้ยง เนื่องจากกุ้งมีขนาดเล็ก อ่อนแอมากจะมีผลกระทบถ้าหยุดให้อาหารก่อนการทดลอง 1-2 วัน (สิริ, 2527)

2. การเตรียมน้ำสำหรับการทดลอง

นำน้ำทะเลที่มีความเค็ม 30 ppt ที่กรองด้วยถุงผ้ากรองน้ำทะเลมาพักให้ตกตะกอนในบ่อพัก ใส่คลอรีนระดับความเข้มข้น 30 ppm ลงไปเพื่อฆ่าเชื้อ ให้อากาศอย่างแรงจนคลอรีนสลายหมด กรรณิการ์ (2525) กล่าวว่า น้ำที่ใช้เลี้ยงควรปราศจากการตกค้างของคลอรีนในน้ำ เพราะคลอรีนที่ตกค้างเพียงเล็กน้อย อาจมีผลเกี่ยวข้องกับอัตราการตายของกุ้งกุลาดำ ทดสอบโดยเมื่อใส่โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เล็กน้อยลงไป ถ้าน้ำใสไม่เกิดสี แสดงว่าไม่มีคลอรีนตกค้าง แต่ถ้าน้ำเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่ามีคลอรีนตกค้างอยู่ ต้องรอให้คลอรีนสลายหมดก่อน หรือกำจัดคลอรีนที่เหลือด้วยโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 10 ppm หลังจากนั้นจึงนำน้ำทะเลที่ผ่านการกรองได้ ความเค็มที่ต้องการไปใช้ในการทดลอง

3. การเตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบความเป็นพิษ

เตรียมสารละลายสำหรับการทดลองเป็นน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำ (Water Soluble Fraction: WSF) ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Anderson *et al.* (1974) กล่าวคือ ใช้น้ำมัน 1 ส่วน ผสมกับน้ำทะเล 9 ส่วน ใส่ถังแล้วกวนช้าๆ ด้วย Homogenizer เป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ทำการปิดปากถังเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมันที่ระเหยง่าย (Volatile oil) ความเร็วของการกวนให้สังเกตจากการปรับให้วงกรวยของสารละลายลึกลงไม่เกิน 1/4 (ร้อยละ 25) ของสารละลายทั้งหมด (ร้อยละ 25) เมื่อกวนครบ 20 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อให้แยกชั้น แล้วจึงดูดส่วนที่ละลายน้ำข้างล่างไปใช้ โดยถือว่าสารละลายที่ได้มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 100 ของส่วนที่ละลายน้ำ (ร้อยละ 100 WSF) เมื่อต้องการเตรียมสารละลายในระดับความเข้มข้นต่างๆ ให้เติมน้ำทะเลลงไปเจือจางตามสัดส่วน

4. การวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำตัวอย่างนี้ใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV Fluorescence Spectrophotometry, UVF) ดำเนินการตามวิธีการของ IOC (1984) เทคนิคนี้เป็นการวัดค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์แทนการวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยสารประกอบที่มีโครงสร้างแบบอะโรมาติกเมื่อถูกคลื่นแสงช่วงอุลตราไวโอเลต (310 นาโนเมตร) จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายใน เมื่อกลับลงสู่สภาวะเดิมจะมีการคายคลื่นแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความถี่เฉพาะออกมา โดยสารแต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานในการกระตุ้นและคลื่นแสงที่คายออกมาเฉพาะแตกต่างกัน เทคนิคนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 10 ไมโครกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับเทคนิคอุลตราไวโอเลตแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (UV Absorption Spectrophotometry) แต่เทคนิคนี้มีความไวต่อการวิเคราะห์มากกว่า จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเล นอกจากนี้ยังมีความสะดวก รวดเร็ว มีวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและให้ข้อมูลที่ถูกต้อง

การเตรียมเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

ทำการล้างเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองด้วยน้ำยาทำความสะอาดและน้ำให้สะอาด ล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น แล้วชะด้วยอะซิโตน อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ประมาณ 12 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนนำอุปกรณ์ไปใช้ทุกครั้งให้ชะด้วยเฮกเซนก่อนใช้ทุกๆ ครั้ง (IOC, 1984)

การเตรียมสารตัวอย่างในการนำไปวิเคราะห์

1. นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จากภาชนะทดลองปริมาตร 50 มิลลิลิตร ถ่ายลงในกรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำทะเลลายเฮกเซน 50 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 2-3 นาที วางขวดตั้งตรง คลายจุกอย่างช้าๆ เพื่อลดความดัน และเขย่าต่อจนครบ 5 นาที เพื่อสกัดเอาน้ำมันที่ละลายน้ำออกมาอยู่ในเฮกเซนเนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายสารไฮโดรคาร์บอนได้ดี และเหมาะสมกว่าสารละลายอื่นๆ แยกเอาชั้นเฮกเซนซึ่งอยู่ชั้นบนใส่ในขวดแก้วที่เตรียมไว้

2. ทำการสกัดน้ำตัวอย่างเดิมอีก 2 ครั้ง โดยเติมเฮกเซนครั้งละ 50 มิลลิลิตร สกัดเหมือนครั้งแรก แล้วแยกชั้นเฮกเซนออกมารวมกับเฮกเซนที่ทำการสกัดแล้วในครั้งที่ 1

3. กำจัดน้ำที่ยังหลงเหลืออยู่ในเฮกเซนโดยการใส่โซเดียมซัลเฟตแห้ง ($\text{Anh. Na}_2\text{SO}_4$) ปริมาณเล็กน้อยลงในสารละลายที่สกัดได้

4. นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตร โดยใช้เครื่องมือระเหยสารแบบลดความดัน (Rotary Evaporator) จนเกือบแห้ง ละลายส่วนที่เหลืออยู่ด้วยเฮกเซน ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วจุกเกลียว ปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมและปิดฝาขวดให้แน่น นำไปวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนต่อไป

การวิเคราะห์น้ำตัวอย่างโดยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรเมตรี

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานไครซีน โดยชั่งสารประกอบไครซีน 0.010 กรัม ละลายด้วยเฮกเซนในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจางสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้นเป็น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานตั้งต้น (Stock standard solution)

2. นำสารละลายมาตรฐานตั้งต้น (จากข้อ 1) มาเจือจางให้มีความเข้มข้นต่างๆ โดยกำหนดให้อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.1 – 1.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นสารละลายมาตรฐานในการทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

3. ทำการวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมไว้ที่ความยาวคลื่นเอกไซเตชัน (Excitation wavelength) 310 นาโนเมตร และความยาวคลื่นอิมิชชัน (Emission wavelength) 360 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้กับค่าความเข้มข้นมาพล็อตเป็นกราฟมาตรฐาน

4. และวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในสภาวะเดียวกับสารละลายมาตรฐาน

5. นำค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้ไปคำนวณหาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำตัวอย่างได้ดังนี้

นำตัวอย่างเริ่มต้น 50 มิลลิลิตร นำมาสกัดปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนให้อยู่ในเฮกเซน 10 มิลลิลิตร

ให้ x เป็นค่าความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโครซีน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) จะได้ว่า

สารละลายเฮกเซน 1 มิลลิลิตรมีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน x ไมโครกรัม
 สารละลายเฮกเซน 10 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน $10x$ ไมโครกรัม
 จากตัวอย่างเริ่มต้น 50 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน $10x$ ไมโครกรัม
 ดังนั้นในตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน $10x/50$ ไมโครกรัม

5. การเตรียมสารที่ใช้ทดลอง

ทำการเตรียมสารที่ใช้ทดลองได้แก่ น้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนการทดลอง โดยเจือจางจากสารละลายตั้งต้น (Stock solution)

การเตรียมสารที่ใช้ทดลองใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น (Stock solution)

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายตั้งต้น (Stock solution)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่นำมาทดสอบ (Test solution)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายที่นำมาทดสอบ (Test solution)

6. การทดลอง

การทดลองผลของความเป็นพิษของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ ต่อกุ้งกุลาดำ 2 ระยะ คือ ระยะ Post larva 10 (P10) และระยะ Post larva 30 (P30) แบ่งการทดลองเป็นขั้นตอนดังนี้

6.1 การทดลองความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity test)

ในการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ และสารมาตรฐาน SDS นั้น ดำเนินการทดลองกับกุ้งกุลาดำระยะ P10 โดยใช้โหลแก้ว ขนาดความจุ 3 ลิตร ใส่สารที่ใช้ทดลอง 2 ลิตร และใส่กุ้งโหลละ 10 ตัว ส่วนการทดลองกับกุ้งระยะ P30 ใช้ตู้ทดลองขนาดความจุ 50 ลิตร ใส่สารที่ใช้ทดลองตู้ละ 20 ลิตร ใส่กุ้งตู้ละ 10 ตัว โดยมีช่อกันแยกกุ้งไว้ช่องละ 1 ตัว เพื่อป้องกันเรื่องการกินกันเองขณะลอกคราบ

สำหรับการคัดเลือกกุ้งกุลาดำที่ใช้ทดลองนั้น ใช้วิธีการสุ่มกุ้งที่มีขนาดเท่าๆ กัน และอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันครั้งนี้ไม่ได้ใช้วิธีการเดิมอากาศ เพราะการเดิมอากาศจะมีผลให้ระดับความเข้มข้นของน้ำมันระเหยเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้อาจไม่ถูกต้อง ทำการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำตลอดการทดลองไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำและอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิห้องทดลองทุกๆ 12 ชั่วโมง เพื่อเป็นการตรวจสอบยืนยันว่าการตายของกุ้งกุลาดำเกิดจากพิษของน้ำมัน มิใช่การตายเพราะขาดออกซิเจน และใช้ผ้าแสตนดีดาคลุมโหลและตู้ทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกุ้งกุลาดำตลอดการทดลอง

ทำการทดลองโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบชีววิเคราะห์ระบบน้ำนิ่ง (Static bioassay) ดัดแปลงตาม Sprague (1969) แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ

6.1.1 การทดลองขั้นต้น (Preliminary test)

เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นในช่วงกว้างๆ ของน้ำมันดีเซล น้ำมันเตา น้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ และ สารมาตรฐาน SDS ที่ระดับความเข้มข้นที่ทำให้กุ้งตายร้อยละ

ละ 100 และความเข้มข้นที่กุ้งไม่ตายเลยร้อยละ 0 ในเวลา 96 ชั่วโมง โดยสุ่มเตรียมความเข้มข้นของสารที่ใช้ทดลอง ได้แก่ น้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) และสารมาตรฐาน SDS เพิ่มไปที่ละ 10 เท่า โดยแต่ละความเข้มข้นทำการทดลอง 3 ซ้ำ สังเกตและบันทึกจำนวนกุ้งที่ตายภายใน 96 ชั่วโมง และนำค่าความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้สำหรับการกำหนดระดับความเข้มข้นของสารที่เหมาะสมในการทดลองอย่างละเอียดต่อไป

6.1.2 การทดลองอย่างละเอียด (Full-scale test)

เป็นการทดลองที่นำช่วงระดับความเข้มข้นของสารที่ได้จากการทดลองขั้นต้น มาแบ่งออกเป็นความเข้มข้น 5 ระดับ ตามมาตราส่วนลอการิทึม สำหรับทดลองเพื่อหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปของค่ามัธยฐานที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 (Median lethal concentration: LC_{50}) ระยะเวลา 96 ชั่วโมง

การทดลองทั้ง 2 ขั้นตอนจะมีชุดควบคุม (Control group) ซึ่งไม่มีการเติมสารลงไป สำหรับการทดลองอย่างละเอียดจะทำการทดลองระดับความเข้มข้นของสาร 5 ระดับ ในแต่ละความเข้มข้นของสารมีจำนวนซ้ำของการทดลอง 3 ซ้ำ (Replication) แต่แต่ละการทดลองสังเกตบันทึกผลการทดลองการตายสะสมของกุ้งกุลาดำหลังการใส่สารต่างๆ ช่วงเวลา 0.5, 1, 1.5, 2.5, 4, 6, 10 และทุกๆ 12 ชั่วโมง จนครบ 96 ชั่วโมง (4 วัน) ถือเกณฑ์ตัดสินว่า กุ้งที่ตายแล้วจะไม่มี การตอบสนองใดๆ เมื่อใช้แท่งแก้วตะเบาๆ ที่ตัวกุ้ง โดยจะตักกุ้งออกทันทีที่พบการตายเกิดขึ้นเพื่อป้องกันมิให้เกิดน้ำเสีย นำจำนวนกุ้งที่ตายในแต่ละระดับความเข้มข้นไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นพิษ LC_{50} ที่ระยะเวลาต่างๆ

6.2 การทดลองความเป็นพิษเรื้อรัง (Chronic toxicity test)

ใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าความเป็นพิษเฉียบพลัน 3 ระดับ คำนวณจากผลการทดลองเป็น 1/4, 1/3 และ 1/2 ส่วนค่าของ LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ของกุ้งกุลาดำทั้ง 2 ระยะ คือ ระยะ P10 และระยะ P30 ระดับละ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่เติมน้ำมัน โดยศึกษาความเป็นพิษเรื้อรังจากการวัดการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของกุ้งกุลาดำ

6.2.1 อัตราการลอกคราบ (Molting rate)

กึ่งกุลาดำมีการเจริญเติบโตด้วยการลอกคราบจึงหาอัตราการลอกคราบโดยสังเกตการลอกคราบของกึ่งกุลาดำระยะ P10 และ P30 ทุกวัน บันทึกระยะเวลาของวงจรการลอกคราบจากคราบที่ 1 ถึง คราบที่ 2 ดำเนินการทดลองในตู้ทดลองขนาดความจุ 50 ลิตร ใส่สารที่ใช้ทดลองตู้ละ 20 ลิตร ใส่กุ้งตู้ละ 10 ตัว โดยมีช่องกันแยกกุ้งไว้ช่องละ 1 ตัว ใช้ผ้าแสลนสีดำคลุมตู้ทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกึ่งกุลาดำตลอดการทดลอง

6.2.2 อัตราการกินอาหาร (Feeding rate)

กำหนดโดยใช้อัตราส่วนของอาหารเป็นตัวทดสอบเพื่อหาอัตราการกินอาหารของกึ่งกุลาดำในเวลา 1 ชั่วโมง คัดจากการกินอาหารเข้าไปของกึ่งกุลาดำ ดำเนินการทดลองในโหลแก้วขนาดความจุ 3 ลิตร ใส่สารทดลอง 2 ลิตร กึ่งกุลาดำระยะ P10 จำนวน 10 ตัว และกึ่งกุลาดำระยะ P30 จำนวน 10 ตัว ใช้ผ้าแสลนสีดำคลุมโหลทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกึ่งกุลาดำตลอดการทดลอง การทดลองจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยคำนวณจากปริมาณเริ่มต้นทั้งหมดของอาร์ทีเมียจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในการนับจำนวนอาร์ทีเมียมีการใส่ฟอर्मาลินเพื่อให้อาร์ทีเมียหยุดการเคลื่อนที่ (Fix) นำกุ้งในแต่ละการทดลองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักกุ้ง และนำจำนวนของอาร์ทีเมียที่ถูกใช้ไปในการกินอาหารไปคำนวณหาอัตราการกินอาหารตามสูตร

$$F_{\text{exp}} = (A_1 - A_2)/\text{gdw}/t$$

โดยที่ F_{exp} คือ อัตราการกินอาหาร (mg Artemia/gdw/hr)

A_1 คือ น้ำหนักของอาร์ทีเมียตั้งแต่เริ่มการทดลอง (mg)

A_2 คือ น้ำหนักของอาร์ทีเมียเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (mg)

gdw คือ น้ำหนักแห้งของกุ้งที่ใช้ทดลอง (g)

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง (hr)

6.2.3 ประสิทธิภาพการดูดซึม (Absorption efficiency: Ab)

การหาประสิทธิภาพการดูดซึมแสดงถึงประสิทธิภาพของสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซึมจากส่วนประกอบของอาหารนำเข้าไปในร่างกายโดยทางปาก ดำเนินการทดลองในโหลแก้ว ขนาดความจุ 3 ลิตร ใส่สารทดลอง 2 ลิตร กุ้งกุลาดำระยะ P10 จำนวน 30 ตัว และกุ้งกุลาดำระยะ P30 จำนวน 15 ตัว ใช้ผ้าเสลดสีดำคลุมโหลทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกุ้ง กุลาดำตลอดการทดลอง โดยดัดแปลงข้อมูลตามวิธีวิเคราะห์ของ Conover (1966)

1. อบกระดาษกรอง (Whatman GF/C) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในแต่ละการทดลอง
2. หลังจาก 24 ชั่วโมง เปิดดูดูขี้กุ้งที่มีอยู่ทั้งหมด สำหรับอาร์ทีเมียเปิดส้อมมา 5 ครั้งๆ ละ 10 มิลลิลิตร
3. กรองขี้กุ้งและอาร์ทีเมียในแต่ละความเข้มข้นโดยใช้ Vacuum pump และล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดเกลือที่อาจตกค้างอยู่ในขี้กุ้งและ อาร์ทีเมีย
4. นำกระดาษกรองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา มากกว่า 24 ชั่วโมง ใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในแต่ละการทดลอง
5. นำกระดาษกรองไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในแต่ละการทดลอง
6. นำกุ้งในโหลทดลองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักกุ้งในแต่ละการทดลอง และนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซึม ตามสูตร

$$Ab = \{(F - E) / [(1 - E) F]\} / \text{gdw/t}$$

โดยที่ Ab คือ ประสิทธิภาพการดูดซึม (Ratio/gdw/hr)

F คือ (น้ำหนักแห้งที่เผาแล้ว/ น้ำหนักแห้งที่อบแล้ว) ของอาหาร

E คือ (น้ำหนักแห้งที่เผาแล้ว/ น้ำหนักแห้งที่อบแล้ว) ของขี้กิ้ง
 gdw คือ น้ำหนักแห้งของกิ้ง (g)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการทดลอง (hr)

6.2.4 อัตราการหายใจ (Respiration rate)

การทดสอบผลของความเป็นพิษของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดต่ออัตราการหายใจของกิ้งกุลาดำนั้น ดำเนินการโดยใช้ BOD bottle technique ทดสอบในขวด BOD กับกิ้งกุลาดำระยะ P10 จำนวน 12 ตัว และกิ้งกุลาดำระยะ P30 จำนวน 6 ตัว ใช้ผ้าแอสบนสีด้าคลุมขวด BOD เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกิ้งกุลาดำตลอดการทดลอง หลังจากระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำน้ำมาวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ดัดแปลงตามวิธีวิเคราะห์ของ APHA, AWWA and WPCF (1995) และนำกิ้งในแต่ละการทดลองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักกิ้ง และนำไปคำนวณหาอัตราการหายใจตามสูตร

$$R_{\text{exp}} = (Ot_1 - Ot_2) / \text{gdw} / (t_1 - t_2)$$

โดยที่ R_{exp} คือ อัตราการหายใจ ($\text{mg O}_2/\text{gdw}/\text{hr}$)
 Ot_1 คือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เวลา t_1 (mg/l)
 Ot_2 คือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เวลา t_2 (mg/l)
 gdw คือ น้ำหนักแห้งของกิ้ง (g)
 t_1 คือ เวลาที่เริ่มต้นการทดลอง
 t_2 คือ เวลาที่สิ้นสุดการทดลอง

กำหนดให้ $t_1 - t_2 = 1$ ชั่วโมง ระหว่างระยะเวลาการทดลองแต่ละครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย

6.2.5 อัตราการขับถ่าย (Excretion rate)

ภายหลังจากการกินอาหาร กิ้งกุลาดำจะมีการขับถ่ายแอมโมเนียออกมาซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่สำคัญตัวหนึ่ง การทดลองหาอัตราการขับถ่ายนี้หาจากปริมาณรวม

ทั้งหมดของแอมโมเนียในรูปแบบของ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่ถูกขับถ่ายออกมา ดำเนินการทดลองในโหลแก้ว ขนาดความจุ 3 ลิตร ใส่สารทดลอง 2 ลิตร กุ้งกุลาดำระยะ P10 จำนวน 10 ตัว และกุ้งกุลาดำระยะ P30 จำนวน 10 ตัว ใช้ผ้าแกลอนสีดำคลุมโหลทดลอง เพื่อลดแสงที่อาจก่อให้เกิดความเครียดต่อกุ้ง กุลาดำตลอดการทดลอง ทำการวัดปริมาณแอมโมเนียรวมจากน้ำตัวอย่างก่อนการทดลอง และ หลังจากการทดลองเสร็จสิ้น ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง นำมาหาปริมาณรวมทั้งหมดของแอมโมเนีย คัดแปลงข้อมูลตามวิธีวิเคราะห์ของ Grasshoff (1976)

6.2.6 อัตราการเจริญเติบโต (Scope for Growth: SFG)

การศึกษาทางด้านสรีรวิทยาของกุ้งกุลาดำเมื่อได้รับสารพิษ จะศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เข้าไปในร่างกาย และพลังงานที่ถูกใช้ไป โดยคัดแปลงข้อมูลตามวิธีวิเคราะห์ของ Widdows (1993)

$$\text{SFG} = (F_c \times \text{Ab}) - (R_c + E_c)$$

โดยที่ SFG คือ อัตราการเจริญเติบโต (Scope for Growth; J/gdw/hr)

F_c คือ พลังงานที่ได้จากการกินอาหาร (Feeding energy; J/gdw/hr)

Ab คือ ประสิทธิภาพการดูดซึม (Absorption efficiency; Ratio/gdw/hr)

R_c คือ พลังงานที่ใช้ในการหายใจ (Respiration energy; J/gdw/hr)

E_c คือ พลังงานที่ใช้ในการขับถ่าย (Excretion energy; J/gdw/hr)

อนึ่ง การหาอัตราการเจริญเติบโต (Scope for Growth) นั้นจะนำอัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการดูดซึม อัตราการหายใจ และอัตราการขับถ่าย ที่คำนวณได้จากขั้นตอนมาปรับให้อยู่ในรูปของหน่วยพลังงาน ดังนี้

$$F_c = F_{\text{exp}} \times 23.5^*$$

โดยที่ F_c คือ พลังงานที่ได้จากการกินอาหาร (J/gdw/hr)

F_{exp} คือ อัตราการกินอาหารที่ได้จากการทดลอง (mg Artemia/gdw/hr)

$$R_c = R_{exp} \times 0.456^*$$

โดยที่ R_c คือ พลังงานที่ใช้ในการหายใจ (J/gdw/hr)

R_{exp} คือ อัตราการหายใจที่ได้จากการทดลอง (mg O₂/gdw/hr)

$$E_c = E_{exp} \times 0.349^*$$

โดยที่ E_c คือ พลังงานที่ใช้ในการขับถ่าย (J/gdw/hr)

E_{exp} คือ อัตราการขับถ่ายที่ได้จากการทดลอง (mg NH₃/gdw/hr)

หมายเหตุ * ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับค่า (Conversion factor) เหล่านี้ได้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยด้านสรีรวิทยาของ Widdows (1993) และ Widdows and Salkeld (1992)

7. การหาค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารพิษที่ใช้ในการทดลองต่อกุ้งก้ามกราม

ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารพิษ หมายถึง ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารพิษที่มีอยู่ได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ การดำรงชีวิต การอยู่รอดของไข่ ตัวอ่อน รวมทั้งผลผลิตของสัตว์น้ำทั้งหมด

การศึกษาระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารพิษทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่ละลายน้ำ คำนวณตามวิธีวิเคราะห์ของ Sprague (1971)

$$\text{ระดับปลอดภัย (ppm)} = 0.1 \times LC_{50} \text{ ที่ 48 ชั่วโมง}$$

8. การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ในการศึกษาความเป็นพิษ นำน้ำที่ใช้ในการทดลองมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำในช่วงก่อนการทดลอง และหลังการทดลองทุกครั้ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง ได้แก่ การตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ความเต็ม

ของน้ำ (Salinity) โดยใช้เครื่องวัดความเค็ม (Refractometer) ความเป็นกรด - ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH Meter) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณการละลายของออกซิเจน (DO Meter) รวมทั้งการวิเคราะห์แอมโมเนีย (Ammonia: NH_3) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ของ Grasshoff (1976) และการวิเคราะห์ไนไตรท์ (Nitrite: NO_2^-) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ของ APHA, AWWA and WPCF (1995)

9. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำมัน 3 ชนิดคือ น้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ที่เป็นพิษ และสารมาตรฐานที่ใช้คือ SDS จากระดับความเข้มข้นของสารที่ทำให้กึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 ตายร้อยละ 50 ในระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EFFL จากโครงการ Asian Canada

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างและความแปรปรวนทางสถิติด้านสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการลอกคราบ อัตราการกินอาหาร ประสิทธิภาพการดูดซึม อัตราการหายใจ อัตราการขับถ่าย และอัตราการเจริญเติบโต ของกึ่งกลาดำระยะ P10 และ P30 ที่ทำการทดลองในน้ำมันดีเซล (ส่วนที่ละลายน้ำ) น้ำมันเตา (ส่วนที่ละลายน้ำ) และน้ำมันหล่อลื่น (ส่วนที่ละลายน้ำ) ในแต่ละความเข้มข้น ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS ด้วยวิธี Chi – square และ Univariate Analysis ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (เพ็ญแข, 2546 และ ดำรงค์, 2545)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรังของน้ำมันในส่วนที่ละลายน้ำต่อกึ่งกลาดำ
2. เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาผลกระทบของน้ำมันในรูปที่ละลายน้ำต่อสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ

3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดมาตรการป้องกันการเกิดผลกระทบเนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง

สถานที่ทำการวิจัย

1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. สถานีวิจัยประมงศรีราชา ฝ่ายสนับสนุนวิชาการ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี
3. ห้องปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ คณะทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
4. ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง อ่าวไทยฝั่งตะวันออก จังหวัดระยอง

ระยะเวลาทำการทดลอง

เดือนตุลาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549