

พิษเทียบปล้นของน้ำมันคืบ สารเคมีจัดการบน้ำมัน และสารละลายผสมร่วม ต่อกุ้งกุลาดำ
(*Penaeus monodon*) ้วยอ่อน



นางสาวศุภลิตี เนียมแสง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

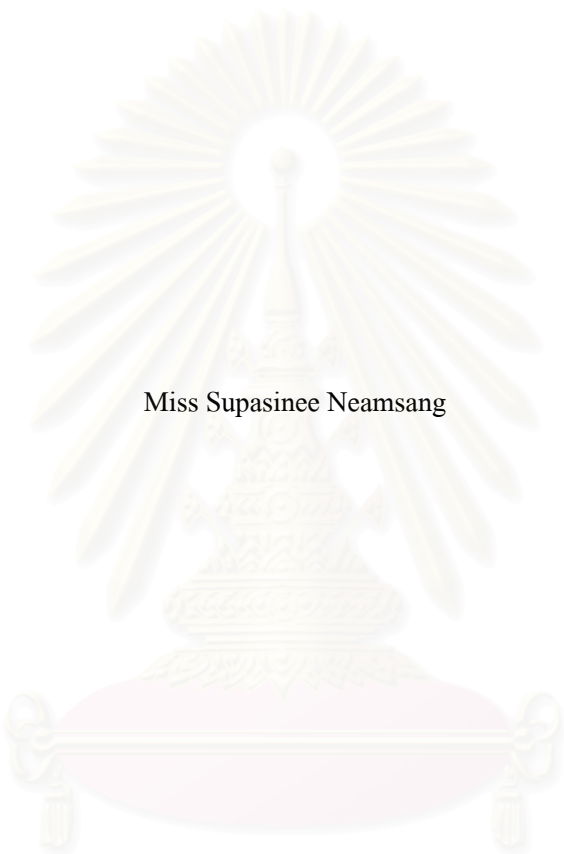
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5046-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACUTE TOXICITY OF CRUDE OIL, DISPERSANT AND THEIR MIXTURE ON
POSTLARVAE OF BLACK TIGER SHRIMP, *Penaeus monodon*



Miss Supasinee Neamsang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5046-3

ศุภสินี เนียมแสง : พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบ สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน และสารละลายผสมรวม ต่อกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) วิทย่ออน (ACUTE TOXICITY OF CRUDE OIL, DISPERSANT AND THEIR MIXTURE ON POSTLARVAE OF BLACK TIGER SHRIMP, *Penaeus monodon*), อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรจิตวิกรกุล, 112 หน้า. ISBN 974-17-5046-3

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบโอมานส่วนที่ละลายน้ำ (WSF) สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 และสารละลายผสมรวม ต่อกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ระยะ Postlarva (P₂₀) ด้วยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง ในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 28 °C ความเค็ม 20 ppt ทำการวิเคราะห์ความเป็นพิษในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น (LC₅₀) ในเวลา 96 ชั่วโมง ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่า 96-h LC₅₀ ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 32.93 (29.16-38.40) µg/l TPH และ 20.83 (19.86-22.03) mg/l ตามลำดับ ส่วนการทดลองหาแนวโน้มความเป็นพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน วิเคราะห์ข้อมูลความเป็นพิษด้วย Response surface analysis ความสัมพันธ์ของความเป็นพิษของน้ำมันดิบ ส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมที่เวลา 96 ชั่วโมง เป็นดังสมการ $M_{96} = -51.300 + 4.965476 \text{ OIL} - 0.345833 \text{ DISP} - 0.021259 \text{ OIL}^2 - 0.102381 \text{ DISP} * \text{OIL} + 0.156250 \text{ DISP}^2$ นอกจากนี้ยังพบว่า ลักษณะความเป็นพิษร่วมกันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมไม่แน่นอน โดยที่เวลา 24 ชั่วโมงเป็นแบบเสริมพิษกัน แต่หลังจากนั้นจะไม่เพิ่มความเป็นพิษกัน และอัตราการตายของกุ้งกุลาดำ วิทย่ออนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่รับสาร จากผลการทดลองที่ได้ สามารถประเมินระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัย (NOAEL) ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกุ้งกุลาดำวิทย่ออน โดยใช้ค่า safety factor หรือ uncertainty factor พบว่า ค่า NOAEL เท่ากับ 0.33 µg/l TPH และ 0.21 mg/l ตามลำดับ ส่วนค่าระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารละลายผสมรวมนั้น ไม่สามารถหาความเข้มข้นที่แน่นอนได้ เนื่องจากค่า 96-h LC₅₀ มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ในสารละลายผสม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

4389102520 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : TOXICITY / CRUDE OIL / DISPERSANT

SUPASINEE NEAMSANG : ACUTE TOXICITY OF CRUDE OIL, DISPERSANT AND THEIR MIXTURE ON POSTLARVAE OF BLACK TIGER SHRIMP, *Penaeus monodon*. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D. 112 pp. ISBN 974-17-5046-3

Static bioassay tests were conducted to determine acute toxicity of water soluble fraction (WSF) of crude oil (Oman crude oil), dispersant (Corexit 9527) and their mixtures on postlarva stage of black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. Acute toxicity of individual crude oil (WSF) and dispersant was tested to determine median lethal concentration (LC_{50}) with 95% confidence limit at 96 hours. The results showed that 96-h LC_{50} of crude oil (WSF) and dispersant were 32.93 (29.16-38.40) $\mu\text{g/l}$ TPH and 20.83 (19.86-22.03) mg/l , respectively. Acute toxicity of mixture of crude oil (WSF) and dispersant were analyzed by response surface analysis. Toxicity of their mixture for 96 hours was $M_{96} = - 51.300 + 4.965476 \text{ OIL} - 0.345833 \text{ DISP} - 0.021259 \text{ OIL}^2 - 0.102381 \text{ DISP} * \text{OIL} + 0.156250 \text{ DISP}^2$. The combined effect of the mixture of crude oil (WSF) and dispersant exhibited no clear additive effect. The mortality of shrimp increased with exposure time. In addition, no observed adverse effect levels (NOAEL) based on safety factor or uncertainty factor were calculated. The concentration that no observed adverse effect levels of individual crude oil (WSF) and dispersant on *Penaeus monodon* were 0.33 $\mu\text{g/l}$ TPH and 0.21 mg/l , respectively. The NOAEL of mixture of crude oil (WSF) and dispersant were not calculated because 96-h LC_{50} depended on the concentration of crude oil and dispersant in the mixture.

Field of study..... Environmental Science Student's signature.....

Academic year 2003 Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จสมบูรณ์ลงได้ หากไม่ได้รับความกรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิดาวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เฟื่องปรีชา รองศาสตราจารย์ ดร.อมรเพชรสม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิตินธรรมยง ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งคณาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆตลอดมา

ขอขอบคุณนักวิจัย ผู้ช่วยนักวิจัย เจ้าหน้าที่ และนิสิตที่ปฏิบัติงานในหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัยตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเฉลียว จากกษิณีฟาร์ม ต.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา ที่ให้ความอนุเคราะห์ลูกกุ้งเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณบริษัทบางจากปิโตรเลียมจำกัด มหาชน ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันดิบโอมาน ขอขอบคุณคลังน้ำมันคาร์ลเท็กซ์ ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 เพื่อใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณปกรณ์ ประเสริฐวงษ์ ผู้อำนวยการสำนักงานสิ่งแวดล้อม กรมเจ้าท่า ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว เป็นอย่างมากที่ได้ให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปีโตรเลียม.....	4
2.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันดิบ.....	5
2.1.2 องค์ประกอบของน้ำมันดิบ.....	5
2.1.3 มลพิษทางทะเลอันเนื่องมาจากน้ำมันดิบ.....	10
2.1.4 พฤติกรรมของน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล.....	10
2.1.5 ผลของน้ำมันดิบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล.....	15
2.1.6 ผลของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล.....	17
2.2 สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (Dispersant).....	24
2.2.1 ความเป็นมาของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน.....	26
2.2.2 ชนิดของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน.....	27
2.2.3 การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน.....	27
2.2.4 ข้อพิจารณาในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน.....	28
2.2.5 ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน.....	31
2.3 กุ้งกุลาดำ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	41
3.1 การเตรียมการทดลอง.....	42
3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำ.....	44
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	46
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	48
4. ผลการทดลอง.....	50
4.1 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและ สารเคมีจัดการบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกึ่งกลาคำวัยอ่อน.....	50
4.1.1 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อ กึ่งกลาคำวัยอ่อน.....	50
4.1.2 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารเคมีจัดการบน้ำมันต่อ กึ่งกลาคำวัยอ่อน.....	52
4.2 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมรวมของน้ำมันดิบและ สารเคมีจัดการบน้ำมัน.....	55
4.3 ระดับที่ปลอดภัยของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน.....	58
4.4 พฤติกรรมของกึ่งกลาคำวัยอ่อนเมื่อได้รับสารพิษ.....	61
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง.....	61
5. วิจัยผลผลการทดลอง.....	63
5.1 พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำในสภาพสารละลายเดี่ยว ต่อกึ่งกลาคำวัยอ่อน.....	63
5.2 พิษเฉียบพลันของสารเคมีจัดการบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยว ต่อกึ่งกลาคำวัยอ่อน.....	65
5.3 พิษเฉียบพลันของสารละลายผสมรวมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีจัดการบน้ำมัน.....	66
5.4 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง.....	68
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	69
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	69
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก.....	79
ภาคผนวก ข.....	83
ภาคผนวก ค.....	85
ภาคผนวก ง.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	112



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำมันดิบ.....	6
ตารางที่ 2-2 การศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบต่อสัตว์พวก Crustacean ที่มีการศึกษา.....	20
ตารางที่ 2-3 การศึกษาพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์ พวก Crustacean ที่มีการศึกษา.....	33
ตารางที่ 2-4 ช่วงความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน สำหรับใช้ในภูมิภาคอาเซียน.....	36
ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในการทดลอง พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	51
ตารางที่ 4-2 ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH) ที่ทำให้ กุ้งกุลาดำวัยอ่อนตาย ร้อยละ 50 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	51
ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในการทดลอง พิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	53
ตารางที่ 4-4 ความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l) ที่ทำให้ กุ้งกุลาดำวัยอ่อนตาย ร้อยละ 50 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	53
ตารางที่ 4-5 ระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ในสารละลายผสมรวม (น้ำมันดิบ: สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน).....	55
ตารางที่ 4-6 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในการทดลอง พิษเฉียบพลันของสารละลายผสมรวมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	56
ตารางที่ 4-7 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง.....	61

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนและที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ.....	9
ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงสู่ทะเล.....	13
ภาพที่ 2-3 กลไกการทำงานของสารเคมีจัดคราบน้ำมัน.....	25
ภาพที่ 3-1 ลูกกึ่งที่นำมาเลี้ยงไว้ในโรงเพาะเพื่อทำการปรับสภาพให้ชินกับสภาพแวดล้อมก่อนนำไปทดลอง.....	42
ภาพที่ 3-2 ลูกกึ่งกุลาตัวอ่อนขนาดประมาณ 1.2 – 1.5 เซนติเมตรที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	42
ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ.....	44
ภาพที่ 4-1 อัตราการตายสะสมของกึ่งกุลาตัวอ่อนในน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	52
ภาพที่ 4-2 อัตราการตายสะสมของกึ่งกุลาตัวอ่อนในสารเคมีจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง.....	54
ภาพที่ 4-3 อัตราการตายสะสมของกึ่งกุลาตัวอ่อนที่ได้รับสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดคราบน้ำมัน ที่เวลาต่างๆ.....	59
ภาพที่ 4-4 ปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมร่วมต่ออัตราการตายของกึ่งกุลาตัวอ่อน ที่เวลาต่างๆ.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการปนเปื้อนของน้ำมันเป็นปัญหาที่สำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการพัฒนาและการขยายตัวทางภาคอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการใช้น้ำมันในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น จึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปจากต่างประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันดิบ เนื่องจากแหล่งน้ำมันดิบภายในประเทศมีสำรองไม่เพียงพอ ซึ่งน้ำมันดิบที่นำเข้ามาเหล่านี้จะขนส่งทางทะเล โอกาสที่จะรั่วไหลลงสู่ทะเลจึงมีสูง โดยอาจเกิดจากขั้นตอนการขนถ่ายน้ำมัน การอับปางของเรือบรรทุกน้ำมัน อุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันชนกัน รวมถึงการลักลอบทิ้งน้ำมัน และการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์และถังเก็บน้ำมันบริเวณชายฝั่ง เป็นต้น ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี 1974-2003 พบว่า มีการรั่วไหลของน้ำมันจากสาเหตุต่างๆทั่วโลกทั้งสิ้นประมาณ 10,466 ครั้ง มีน้ำมันรั่วไหลกว่า 1,140,000 ตัน (ITOPF, 2004 b) สำหรับในประเทศไทยในช่วงปี 2540-2545 มีการรั่วไหลของน้ำมัน 76 ครั้ง โดยเป็นเหตุการณ์จากเรือบรรทุกน้ำมันดิบถึง 10 ครั้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ซึ่งแต่ละครั้งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นเป็นอย่างมาก เพราะมีน้ำมันดิบจำนวนมากรั่วไหลลงสู่ทะเล และเนื่องจากน้ำมันดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีความเป็นพิษสูง สามารถละลายน้ำและจับตัวเป็นก้อนแล้วจมตัวลง ไปสะสมที่ตะกอนท้องทะเลได้ ดังนั้นเมื่อมีการรั่วไหลลงสู่ทะเลก็จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศบริเวณนั้น โดยเฉพาะบริเวณใกล้ชายฝั่ง ถ้าน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งจะเกิดผลเสียต่อระบบนิเวศชายฝั่งทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นหาดทราย หาดเลน ป่าชายเลน และแนวหญ้าทะเล ซึ่งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนที่สำคัญ และยังมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง รวมถึงทัศนียภาพที่ไม่น่ามอง ซึ่งถ้าความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำหรือดินตะกอนสูงในระดับหนึ่ง ก็อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมถึงการถ่ายทอดความเป็นพิษไปตามห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งจากการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและตะกอนดินผิวหน้าจากบริเวณชายฝั่งทะเลจังหวัดระยองมาวิเคราะห์ พบว่าปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำทะเลมีค่าอยู่ในช่วง 0.05-11.84 ไมโครกรัมต่อลิตร และปริมาณนอร์มัลอัลเคนรวมในตะกอนดินผิวหน้ามีค่า 0.11-14.37 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้ง (กฤตยาพร ทัพพะทัต, 2538)

การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (Dispersant) เป็นวิธีที่นิยมวิธีหนึ่งในการขจัดคราบน้ำมัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง สะดวก และสามารถขจัดคราบน้ำมันปริมาณมากในพื้นที่กว้างได้อย่างรวดเร็ว สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะไปลดแรงตึงผิวของคราบน้ำมัน ทำให้คราบน้ำมันแตกตัวออกเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กซึ่งง่ายต่อการผสมรวมตัวกับน้ำแล้วเจือจาง หรือถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในทะเล แต่ถึงแม้ว่าการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ขณะเดียวกันการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันก็อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะทำให้คราบน้ำมันแตกตัวผสมกับมวลน้ำได้มากขึ้น ซึ่งจะเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันยังประกอบไปด้วยตัวทำลายสารลดแรงตึงผิว และสารเคมีอื่นๆอีกหลายชนิด ตัวของมันเองจึงอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงความเหมาะสมในการจะใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน้อยที่สุด

การศึกษาเพื่อให้ทราบระดับความเป็นพิษของมลพิษต่างๆที่มีต่อสัตว์น้ำนั้น สามารถทำได้โดยการประเมินจากการทดลองแบบชีววิเคราะห์ (Bioassay) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและรักษาแหล่งน้ำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ทั้งยังเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว มีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ และสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาประเมินและกำหนดมาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำได้

สำหรับน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้คือ น้ำมันดิบ เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีการขนส่งตลอดเวลาและจะบรรทุกในปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น น้ำมันดิบจำนวนมากจะปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายตามมา โดยน้ำมันดิบที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้คือ น้ำมันดิบโอมาน ซึ่งเป็นน้ำมันดิบชนิดหนึ่งที่มีการขนส่งกันมากในประเทศไทย ส่วนสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้คือ Corexit 9527 ซึ่งเป็นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและได้รับการยอมรับจากหลายประเทศ สำหรับสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการศึกษาค้างคือ กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในระยะวัยอ่อนจะดำรงชีวิตอยู่บริเวณชายฝั่ง โดยเฉพาะตามป่าชายเลนและแนวหญ้าทะเล ซึ่งถ้าบริเวณนั้นมีการปนเปื้อนของน้ำมันหรือมีการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ก็จะได้รับผลกระทบเป็นอย่างมาก เนื่องจากลูกกุ้งในระยะวัยอ่อนจะมีความไวต่อการเกิดพิษสูง นอกจากนี้ลูกกุ้งยังมีขนาดเล็ก สามารถเลี้ยงได้ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความเหมาะสมในทดลองความเป็นพิษของน้ำมันดิบ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

ที่ผ่านมาการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของน้ำมันดิบ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมถึงการศึกษาความเหมาะสมในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในประเทศไทยมีน้อยมาก นอกจากนี้มาตรการในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันก็ยังไม่ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาค้างนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันดิบ สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน และสารละลายผสมรวม

ต่อกึ่งกลาดำวยอ่อน เพื่อสามารถประเมินอันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในแหล่งน้ำ และสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันและแก้ไขผลอันเนื่องมาจากมลพิษจากน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์ทะเลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกึ่งกลาดำวยอ่อน ด้วยระดับความเป็นพิษที่ทำให้กึ่งกลาดำวยอ่อนตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง
2. ศึกษาแนวโน้มความเป็นพิษเฉียบพลันและปฏิสัมพันธ์ของสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกึ่งกลาดำวยอ่อน
3. ประเมินค่าระดับที่ปลอดภัยของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกึ่งกลาดำวยอ่อน เมื่อได้รับสารเป็นเวลา 96 ชั่วโมง

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงระดับความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน และสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำกับสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน รวมถึงปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสม ต่อกึ่งกลาดำวยอ่อนในห้องปฏิบัติการ
2. เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการติดตามตรวจสอบมลภาวะทางทะเลอันเนื่องมาจากน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยใช้กึ่งกลาดำวยอ่อนเป็นดัชนีชีวภาพ (Bio-indicator)
3. เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดมาตรการเพื่อป้องกันการเกิดผลกระทบอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อระบบนิเวศชายฝั่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปิโตรเลียม

ปิโตรเลียม หมายถึง ของผสมของสารพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) หรืออนุพันธ์ (Derivatives) ซึ่งมีอยู่ในรูปของก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานะความดันและอุณหภูมิ ส่วนประกอบของปิโตรเลียมโดยประมาณจะมีไฮโดรเจน 11-13 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอน 84-87 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนอยู่บ้าง ได้แก่ ออกซิเจน กำมะถัน ไนโตรเจน และซีลีเนียม

ปิโตรเลียมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันอยู่ในทะเลหรือบริเวณที่เคยเป็นทะเลมาก่อน ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย เหลือแต่ไขมัน (Fat) ไข (Waxes) และสารอื่นๆ ที่คงตัวซึ่งละลายอยู่ในไขมัน เช่น เรซิน (Resins) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) และอื่นๆ จากนั้นภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ CO_2 จาก Carboxyl group และน้ำ จาก Hydroxy acid + Alcohol หลุดออกมา เกิดการทับถมกันเป็นเวลานานหลายล้านปีจึงกลายเป็นน้ำมันดิบ (อรรถวุฒิ อิมพลูทรีพี้ และคณะ, 2536)

ปิโตรเลียมเกิดในชั้นหินดินดานซึ่งเรียกว่า หินต้นกำเนิด (Source rock) แล้วถูกแรงกดดันมากขึ้นจนไหลไปรวมกันที่หินทราย และหินปูนที่มีรูพรุน ดังนั้นเราจึงพบน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาตินี้จะแทรกอยู่ในชั้นหินที่มีรูพรุนซึ่งอยู่ระหว่างชั้นหินดินดาน ซึ่งเราเรียกว่าหินกักเก็บปิโตรเลียม (Reservoir rock) และเมื่อมีหินปิดกั้นปิโตรเลียม (Cap rock) มาปิดกั้นไว้ บริเวณที่ปิโตรเลียมสะสมอยู่จะถูกเรียกว่าแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม (Petroleum trap) ซึ่งมีโครงสร้างได้หลายลักษณะ เช่น โครงสร้างรูปกระทะคว่ำ (Anticline trap) โครงสร้างแบบรอยเลื่อนของชั้นหิน (Fault trap) โครงสร้างที่เกิดจากการเรียงลำดับชั้นหิน (Stratigraphic trap) เป็นต้น (ปตท., 2534 อ้างถึงใน สุนทรีย์ ภิรมย์, 2539)

สารประกอบปิโตรเลียมที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมดเป็นไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัว หรืออัลเคน (Alkane) ซึ่งโมเลกุลที่เล็กที่สุดได้แก่ มีเทน (Methane, CH_4) ซึ่งเป็นส่วนของก๊าซที่มีมากที่สุด ในก๊าซธรรมชาติที่พบส่วนใหญ่จะมี C_1 - C_4 ส่วนของเหลวที่เรียกว่าน้ำมันดิบจะมีคาร์บอนตั้งแต่ C_1 จนถึงมากกว่า C_{35} ส่วน ซึ่งในน้ำมันดิบนั้นนอกจากจะประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนเหลวแล้วยังรวมถึงก๊าซที่ละลายอยู่ในไข (Waxes) และสารบิทูบินัส (Bituminous) สำหรับส่วนที่เป็นของแข็งและเกือบแข็ง (Semisolid) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักและสารบิทูบินัส ได้แก่ บิทูเมน (Bitumen) และ ขางมะตอย (Asphalt)

น้ำมันดิบเป็นปิโตรเลียมเหลวชนิดหนึ่งที่มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนอยู่ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันดิบจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบสารอินทรีย์ต่างกันออกไป คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดิบแต่ละชนิดจึงมีคุณสมบัติเฉพาะตัวและขึ้นกับสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ (Kinghorn, 1983) ซึ่งจากการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อแยกสารด้วยกรรมวิธีต่างๆ จะสามารถแบ่งน้ำมันดิบออกได้อย่างหยาบๆ 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดิบชนิดหนัก ซึ่งน้ำมันดิบประเภทนี้จะมีสารที่ได้จากการกลั่นส่วนใหญ่เป็นน้ำมันเตา น้ำมันดิบชนิดกลางหรือที่เราเรียกพวกมิเดียม และน้ำมันดิบชนิดเบา ซึ่งสารที่ได้จากการกลั่นคือเบนซิน

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบเป็นของเหลวข้นหนืด (Viscous liquid) มีสีตั้งแต่ขาวใสเกือบเหมือนน้ำ สีเหลือง สีเขียว สีน้ำตาล จนถึงดำ มีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ประมาณ 0.80-0.97 (ปตท., 2534) อ้างถึงใน สุนทรีย์ ภิรมย์, 2536) น้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆจะมีลักษณะต่างกันไป บางแหล่งมีกลิ่นกำมะถัน บางแหล่งมีลักษณะขุ่นเหนียวคล้ายยางมะตอย มีความหนืดตั้งแต่ 0.7 จนถึงมากกว่า 42,000 เซนติพอยส์ (cSt)

2.1.2 องค์ประกอบของน้ำมันดิบ

องค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญในน้ำมันดิบ คือ คาร์บอน และไฮโดรเจน ซึ่งตามปกติแล้วในน้ำมันดิบจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 82-87 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 11-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในน้ำมันดิบยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ กำมะถัน ไนโตรเจน และออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งปริมาณองค์ประกอบพื้นฐาน

เหล่านี้จะมีอยู่อย่างจำกัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-1 ส่วนองค์ประกอบอื่นๆจะพบน้อยมาก ส่วนใหญ่จะพบเฉพาะนิเกิลและวานาเดียมปนอยู่เท่านั้น

องค์ประกอบในน้ำมันดิบแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำมันดิบนั้นๆ (Clark, 1992) แต่อย่างไรก็ตามในน้ำมันดิบจะมีองค์ประกอบของ Gasoline (C_5-C_{10}) อยู่ประมาณ 30%, Kerosene ($C_{11}-C_{15}$) อยู่ประมาณ 10%, Light distillate oil ($C_{20}-C_{40}$) อยู่ประมาณ 20%, และ Asphaltic bitumen (ตั้งแต่ C_{40}) ประมาณ 25% โดยเฉลี่ย (Yen, 1975 อ้างถึงใน เกสินี สรรวานิช, 2534)

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำมันดิบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

องค์ประกอบพื้นฐาน	ปริมาณ (%wt)
คาร์บอน	82-87
ไฮโดรเจน	11-15
ซัลเฟอร์	0-8
ไนโตรเจน	0-1
ออกซิเจน	0-0.5

น้ำมันดิบเป็นของผสมของสารที่มีโมเลกุลสลับซับซ้อนซึ่งแบ่งออกเป็น 2 จำพวกใหญ่ๆ ได้แก่ สารไฮโดรคาร์บอน และสารที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอน (ดังภาพที่ 2-1)

2.1.2.1 สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons)

สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามพื้นฐานโครงสร้างทางเคมีของสาร ได้แก่

1. แนฟทีน (Naphthenes หรือ Cycloalkanes หรือ Cycloparaffins)

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

2. พาราฟิน (Paraffins)

สารกลุ่มพาราฟินเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เป็นสารพวกอัลเคน (Alkanes) มีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n+2} ลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นตรง (Straight chain หรือ n-alkanes) หรือโซ่กิ่ง (Branched chain หรือ isoalkanes)

สารกลุ่มพาราฟินที่มีลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นตรงนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนกลุ่มที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด สารกลุ่มนี้ปรากฏในรูปของอนุกรมคาร์บอนที่มีลักษณะเหมือนกันและต่อเนื่องกันไป มักเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์จากการกลั่นส่วนใหญ่ ยกเว้นน้ำมันหล่อลื่น ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของสารกลุ่มนี้ในน้ำมันดิบบางครั้งอาจสูงถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์ แต่โดยมากจะมีค่าอยู่ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้วพาราฟินที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำจะมีมากที่สุด แต่ในน้ำมันดิบบางชนิดที่มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งจะมีสารที่มีคาร์บอนอะตอม 25-30 อะตอม อยู่มากที่สุด น้ำมันดิบจากอินโดนีเซียบางชนิดมีจุดเดือดสูงสุดประมาณเกือบเท่าสารที่มีจำนวนคาร์บอน 50-60 อะตอม ($nC_{50} - nC_{60}$)

ส่วนสารกลุ่มไอโซพาราฟินซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลเป็นโซ่กิ่ง มักจะพบในน้ำมันที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

น้ำมันดิบที่มีสารกลุ่มนี้เป็นองค์ประกอบมาก เรียกว่า Paraffin-based crude oil ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ มีเทน, อีเทน, โพรเพน และ บิวเทน จะมีสถานะเป็นก๊าซ ตั้งแต่ C_5H_{12} ไปจนถึง $C_{16}H_{34}$ มีสถานะเป็นของเหลว และ เฮปตะเดเคน (Heptadecane: $C_{17}H_{36}$) จะเป็นอัลเคนตัวแรกที่มีสถานะเป็นของแข็ง ในขณะที่ Paraffin wax เป็นของผสมของไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 18 ถึง 35 อะตอมต่อโมเลกุล โดยปกติในน้ำมันเบนซิน (Gasoline) จะมีพาราฟินสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ส่วนใหญ่แล้วน้ำมันดิบที่ให้น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) จะไม่มีพาราฟินเลย ถ้าพบพาราฟินถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าสูงมาก (อรรถวุฒิ อิมพลูทรีพี้ และคณะ, 2536)

3. อะโรมาติกส์ (Aromatics)

สารกลุ่มอะโรมาติกส์เป็นอนุพันธ์ของเบนซิน (Benzene) โดยมีวงเบนซิน 1 วง หรือมากกว่า เป็นสารไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbons) เนื่องจากคาร์บอนอะตอมเกาะกับไฮโดรเจนอะตอมเพียง 3 อะตอมเท่านั้น พันธะที่เหลือนี้จึงเกิดเป็นพันธะคู่ สารกลุ่มอะโรมาติกส์นี้มีสูตรโครงสร้างคือ C_nH_{2n-6} ซึ่งสารตัวแรกของกลุ่มนี้คือ สารประกอบเบนซิน และอนุพันธ์ของเบนซิน (Benzene derivative) นอกจากนี้ยังมีสารพวกแนฟทาเลน (Naphthalene) รวมถึง Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ซึ่งเมื่อนำหนักโมเลกุลสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำและระเหยจะลดลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

น้ำมันดิบทุกชนิดมีสารประกอบอะโรมาติกส์ประมาณ 10 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในรูปของ โทลูอิน (Toluene) และ ไซลีน (Xylene) ในน้ำมันเบนซินจะมีสารอะโรมาติกส์ทุกชนิด ส่วนอะโรมาติกส์ที่ไม่มีวงแนฟทีน (Naphthene ring) จะพบค่อนข้างน้อยในปิโตรเลียมส่วนหนัก เช่น น้ำมันหล่อลื่น (อรรถวุฒิ อิมพัลทรีพีย์ และคณะ, 2536)

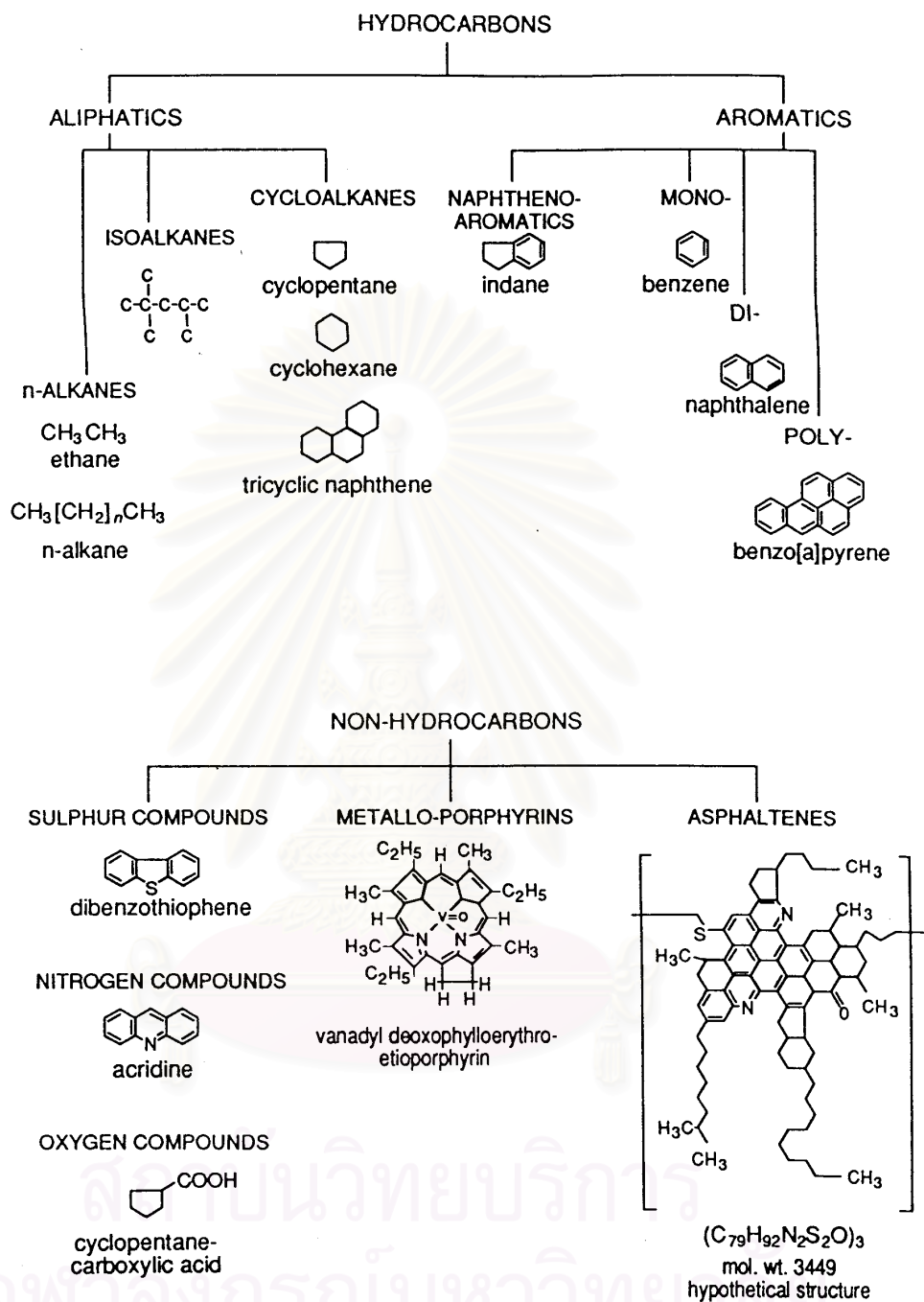
2.1.2.2 สารที่ไม่ใช่กลุ่มไฮโดรคาร์บอน (Non – hydrocarbons) (Kornberg, 1981)

สารประเภทต่างๆที่ไม่ใช่กลุ่มไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ ได้แก่

1. สารประกอบของซัลเฟอร์ โดยมากคือ Cyclic sulfides และ Thiophenes
2. สารประกอบของไนโตรเจน
3. สารประกอบของออกซิเจน โดยมากคือกรดแนฟทีนิก (Naphthenic acid) และ ฟีนอล
4. สารประกอบพวกโลหะอินทรีย์ (Organometallic compound) ซึ่งพบในปริมาณที่น้อยมาก ได้แก่ วานาเดียม และ นิกเกิล
5. พอร์ไฟรินส์ (Porphyrins)
6. สารแอสฟัลต์และเรซิน อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Colloidal suspension) ซึ่งจะไหลไปรวมตัวกัน และเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุดในน้ำมันดิบ

สารประกอบ 3 ประเภทแรกจะมีการกระจายตัวตามช่วงของจุดเดือดของน้ำมันดิบ แต่โดยมากจะหนาแน่นในช่วงที่มีจุดเดือดสูง ส่วนสารประกอบ 3 ประเภทหลังจะพบอยู่ในส่วนที่หลงเหลืออยู่ สารประกอบพวกโลหะอินทรีย์ วานาเดียม และ นิกเกิล จะพบเล็กน้อยในสารช่วงจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นหรือสูงกว่านั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของสารไฮโดรคาร์บอนและที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบในน้ำมันดิบ (Miller and Connell, 1982 อ้างถึงใน Wells และคณะ, 1993)

2.1.3 มลพิษทางทะเลอันเนื่องมาจากน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบที่รั่วไหลลงสู่ทะเลมีที่มาจากหลายแหล่ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการไหลซึมในมหาสมุทร จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตในทะเล หรือเกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันดิบเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการขยายตัวทางภาคอุตสาหกรรมดังที่ได้กล่าวมา ทำให้ความต้องการในการใช้น้ำมันในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น ประกอบกับการที่แหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติภายในประเทศมีสำรองไม่เพียงพอ จึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปจากต่างประเทศ ซึ่งน้ำมันดิบที่นำเข้ามาเหล่านี้จะขนส่งมาทางทะเล ทำให้โอกาสที่จะรั่วไหลลงสู่ทะเลมีสูง โดยอาจเกิดจากขั้นตอนการขุดเจาะน้ำมันในทะเล การรั่วไหลขณะลำเลียง ขนถ่ายน้ำมัน การอับปางของเรือบรรทุกน้ำมัน และอุบัติเหตุเรือบรรทุกน้ำมันชนกัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการปนเปื้อนของน้ำมันดิบในทะเล นอกจากนี้ยังอาจเกิดมาจากสาเหตุอื่นๆ ได้แก่ การลัดกลอบทิ้งน้ำมัน การล้างถังน้ำมันและคราบน้ำมันบนเรือ การเสียหายหรือชำรุดของท่อส่งน้ำมัน ใต้น้ำและถึงสำรองน้ำมันบริเวณชายฝั่ง น้ำทิ้งจากโรงกลั่นน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานปิโตรเคมี น้ำทิ้งจากชายฝั่งและบ้านเรือน นอกจากนี้ไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในบรรยากาศเมื่อมีฝนตกจะถูกชะลงสู่ทะเล การสำรวจและขุดเจาะน้ำมันบนบก รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนจากสิ่งมีชีวิตบางชนิด ซึ่งจากที่กล่าวมานี้ต่างก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันในทะเลทั้งสิ้น

2.1.4 พฤติกรรมของน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ภายหลังจากที่น้ำมันดิบรั่วไหลลงสู่ทะเลจะมีกระบวนการต่างๆเกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และทางชีวภาพ โดยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของน้ำมัน และสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ขณะเกิดการรั่วไหล ซึ่งได้แก่ สภาพของทะเล ความแรงของคลื่น ความเร็วลม ความเข้มของแสงแดด อุณหภูมิของอากาศและน้ำทะเล เป็นต้น (สุจิตรา เชาวน์ปรีชา, 2530; อรรถวุฒิ อิมพุลทรัพย์ และคณะ, 2536; สุนทรีย์ ภิรมย์, 2539; กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก; Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544) โดยกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้น (ดังภาพที่ 2-2) มีดังนี้

2.1.4.1 การแผ่กระจายตัวของน้ำมัน (Spreading)

น้ำมันที่รั่วไหลลงสู่ทะเลจะแผ่กระจายเป็นคราบน้ำมันปกคลุมผิวน้ำเรียกว่า Oil slick ซึ่งอัตราการแผ่กระจายตัวของน้ำมันนี้จะขึ้นกับปัจจัยสำคัญ คือ คลื่นลม กระแสน้ำ คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน ระยะเวลา และสภาพแวดล้อม โดยน้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะแผ่

กระจายไปได้เร็ว (ITOPF, 2004 a) นอกจากนี้องค์ประกอบของน้ำมันก็มีผลต่อการแผ่กระจาย โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจนอยู่ จะเคลื่อนที่ไปบนผิวน้ำได้ดี เพราะมีแรงตึงผิวสูง (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544) ตามปกติแล้วน้ำมันดิบทุกชนิด จะกระจายตัวโดยมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และมีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ในเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งถ้าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องการแผ่กระจายตัวจะเกิดต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งน้ำมันมีความหนาเพียงโมเลกุลเดี่ยว (Monomolecular thickness) หรือ 0.1 ไมโครเมตร โดยประมาณ ซึ่งจะสังเกตเห็นเพียงเป็นฟิล์มเงาสีเงินเท่านั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

2.1.4.2 การระเหย (Evaporation)

การระเหยจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากมีการที่มีการรั่วไหลของน้ำมัน ส่วนประกอบที่ระเหยได้ง่ายของน้ำมัน (Light ends) จะระเหยไปภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงแรก องค์ประกอบส่วนที่ระเหยได้น้อยกว่าจะยังคงเหลืออยู่และจะมีความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น จุดติดไฟ และจุด Pour point สูงขึ้น รวมถึงมีส่วนประกอบของกำมะถัน ตะกอนคาร์บอน ไซ สารแอสฟัลต์ และโลหะต่างๆมากกว่าก่อนการระเหย จากนั้นอัตราการระเหยจะค่อยๆลดลงตามระยะเวลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก) ซึ่งส่วนใหญ่ น้ำมันจะระเหยไป 1 ใน 3 ถึง 2 ใน 3 ของน้ำมันที่รั่วไหล (อรรถวุฒิ และคณะ, 2536) โดยอัตราการระเหยของน้ำมันจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศและน้ำทะเล สภาพทางทะเล ความเร็วลม ความเข้มของแสงแดด ความหนาของชั้นน้ำมัน พื้นที่ผิวของน้ำมันที่แผ่กระจาย คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน สารที่ระเหยได้ง่ายที่สุดคือ อัลเคน และ สารอะโรมาติก โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า C_{10} จะระเหยไปจากผิวน้ำ ภายใน 8 ชั่วโมง องค์ประกอบของน้ำมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมต่ำกว่า C_{15} จะระเหยไปจากผิวน้ำภายในระยะเวลา 2 - 3 วัน พวกไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอม C_{15} ถึง C_{25} จะระเหยได้เพียงเล็กน้อย ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอม C_{25} ขึ้นไปแทบจะไม่ระเหยเลย (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)

2.1.4.3 การกระจาย (Dispersion)

การกระจายของน้ำมันจะทำให้ น้ำมันที่แผ่ปกคลุมเป็นฟิล์มหนาแตกกระจายไปจากผิวน้ำ กลายเป็นหยดน้ำมันเล็กๆลงไปในพื้นที่น้ำ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการแตกตัวของน้ำมันบนผิวน้ำได้แก่ ความปั่นป่วนของน้ำ (Surface turbulence) อันเป็นผลมาจากการกระทำของคลื่น (ITOPF, 2004 a) การที่น้ำมันแตกตัวเป็นหยดเล็กๆนี้จะทำให้พื้นที่ผิวมีมากขึ้น จึงช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Colwell and Walker, 1977 อ้างถึงใน อรรถวุฒิ อัมพุลทรัพย์ และคณะ, 2536; ITOPF, 2004 a)

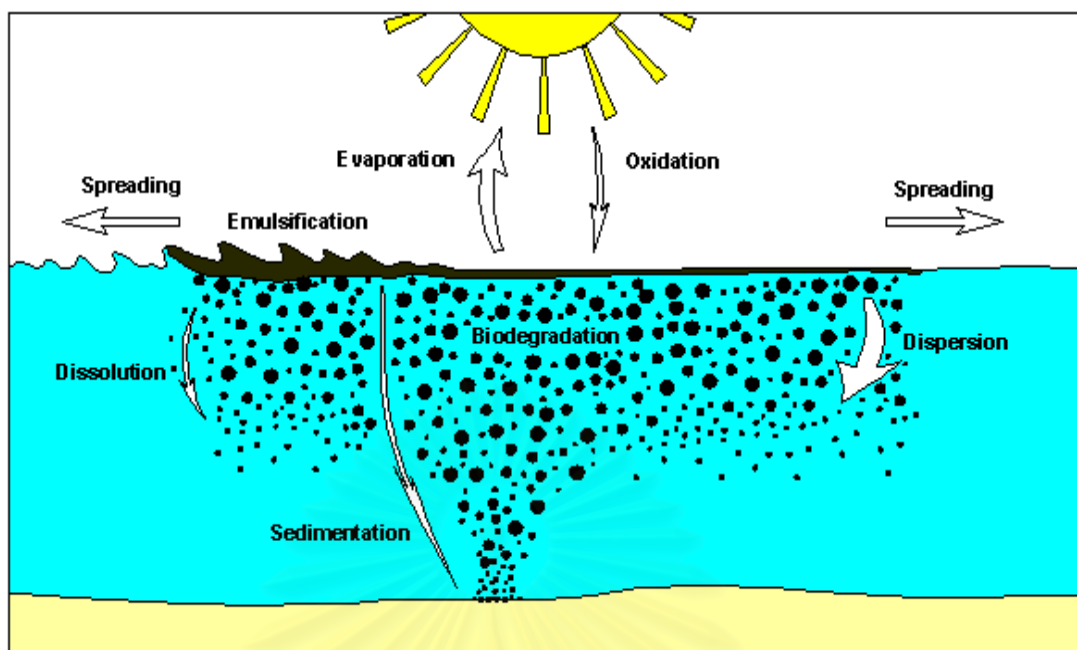
น้ำมันที่แตกตัวนี้จะกระจายออกเป็นหยดขนาดต่างๆ หยดน้ำมันที่มีขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ ส่วนหยดน้ำมันที่มีขนาดใหญ่จะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำและอาจเกิดการรวมตัวกันกลับเป็นคราบน้ำมันใหม่หรือแผ่ออกเป็นแผ่นฟิล์มบาง (ITOPF, 1991, 2004 a)

2.1.4.4 การละลายของน้ำมัน (Dissolution)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการละลายน้ำแตกต่างกัน โดยปกติพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะละลายน้ำได้ดีกว่าพวกที่มีโมเลกุลสูงๆ ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของคาร์บอน โครงสร้างโมเลกุล และธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (ITOPF, 2004 a) รวมถึงอิทธิพลของกระแส น้ำ คลื่นลม นอกจากนี้การย่อยสลาย ทางเคมี และชีวภาพก็มีผลต่อการละลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยเช่นกัน (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544) ตามปกติแล้วน้ำมันมีส่วนที่ละลายในน้ำได้น้อยแต่สิ่งสำคัญของน้ำมันส่วนที่ละลายในน้ำได้คือน้ำมันส่วนนี้เป็นสารประกอบอะโรมาติกชนิดเบาและสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ (Kornberg, 1981; อรรถวุฒิ อิมพุลทรัพย์ และคณะ, 2536)

2.1.4.5 การเกิดอิมัลชัน (Emulsification)

เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการกระจายของน้ำมันในน้ำจึงเกิดในลักษณะของอิมัลชันโดยอาศัยอิทธิพลของคลื่นลมและกระแสน้ำ โดยน้ำมันที่มีขนาดตั้งแต่ 5 ไมโครเมตร ไปจนถึงหลายมิลลิเมตร สามารถแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างได้ไกลเกินกว่า 200 กิโลเมตรและเกิดเป็นอิมัลชันได้ในน้ำ (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544) โดยอาจเกิดเป็น Oil-in-water หรือ Water-in-oil โดย Oil-in-water จะประกอบไปด้วยหยดน้ำมันเล็กๆลอยอยู่ในมวลน้ำ ส่วน Water-in-oil เป็นการรวมตัวกันของน้ำกับน้ำมัน (ซึ่งเหลือจากการระเหย) เป็นกลุ่มก้อนในน้ำซึ่งเรียกว่า Mousses จะเป็นส่วนของน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะและความหนืดสูง ในที่สุดก็จะจมสู่ท้องน้ำ (อรรถวุฒิ และคณะ, 2536) เมื่อเกิดอิมัลชันแล้วทำให้เกิดมีคราบน้ำมันลอยอยู่เป็นชั้นหนานี้เราเรียกว่า Chocolate mousses (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544; ITOPF, 2004 a) ซึ่ง Chocolate mousses นี้จะมีลักษณะเป็นก้อนน้ำมันกึ่งแข็ง (Semi-solid lumps) มักพบเมื่อน้ำเกิดอิมัลชันกับน้ำมันที่มีสารแอสฟัลต์ผสมอยู่มากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (ITOPF, 1991, 2004 a)



ภาพที่ 2-2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเมื่อรั่วไหลลงสู่ทะเล (ITOPF, 2004 a)

2.1.4.6 การเกิดปฏิกิริยาฟิโตออกซิเดชัน (Photooxidation reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่น้ำมันถูกออกซิไดซ์โดยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิโตออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบในน้ำมัน (ITOPF, 2004 a) สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนสภาพได้เร็วกว่าสารประกอบอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน และสารที่โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่กิ่งจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพวกที่โมเลกุลเป็นโซ่ตรง ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาฟิโตออกซิเดชันนี้ช่วงความยาวคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีผลต่อการย่อยสลายน้ำมัน (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)

ปฏิกิริยาฟิโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ผิวน้ำและจะเกิดเร็วที่สุดเมื่อน้ำมันมีการแผ่กระจายตัวเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ซึ่งกลไกการเกิดฟิโตออกซิเดชันนี้คาดกันว่าเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของน้ำมันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และผลที่เกิดตามมาของปฏิกิริยาคือการเพิ่มขึ้นของสารแอสฟัลต์ ความหนืด ความหนาแน่น รวมทั้งการลดลงของปริมาณซัลเฟอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จะเห็นได้ชัดว่าจะเกิดขึ้นกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้เร็วกว่าน้ำมันดิบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

2.1.4.7 การเกิดน้ำมันดิน (Tar balls formation)

น้ำมันดินเป็นส่วนที่เหลือของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดกระบวนการต่างๆไปแล้ว เป็นเป็นสารพวกที่มีจุดเดือดสูงที่ลอยตัวอยู่ในน้ำและรวมตัวกันเป็นก้อนในลักษณะของน้ำมันดิน ในบริเวณที่มีกระแสน้ำและคลื่นลมแรงจะทำให้ให้น้ำมันดินแตกออกเป็นอนุภาคเล็กๆกระจายตัวอยู่ที่ความลึกต่างๆ แต่การละลายน้ำก็ยังค่อนข้างต่ำ กระบวนการที่สำคัญของน้ำมันดิน คือ การตกตะกอน เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันดินเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงสามารถจมตัวลงสู่ท้องน้ำและทับถมในชั้นตะกอนได้ นอกจากนี้น้ำมันดินยังสามารถถูกซัดเข้าสู่ฝั่งและขึ้นมาบนชายหาดได้โดยคลื่นลม ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายน้ำมันดินได้น้อยลง เพราะพื้นที่ผิวน้อยลงและออกซิเจนผ่านได้น้อย (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)

ในทะเลบริเวณที่มีน้ำมันดินปนเปื้อน พบว่าเมื่อได้รับแสงแดดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น (สุนทรีย์ ภิรมย์, 2539)

2.1.4.8 การจมตัวและการตกตะกอน (Sinking and sedimentation)

การจมตัวและการตกตะกอนของน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการที่น้ำมันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหลังจากการระเหยและการละลายขององค์ประกอบที่เบากว่า รวมถึงการรวมตัวกันของอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ การดูดซึมและดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของอนุแวนลอยที่อยู่ในน้ำอีกด้วย ซึ่งน้ำมันที่จมตัวลงทับถมเป็นตะกอนนี้จะสามารถคงทนอยู่ได้เป็นเวลานานโดยเฉพาะที่สะสมตัวอยู่ในบริเวณลึกๆ ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)

2.1.4.9 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำเข้าไปย่อยสลายคราบน้ำมันที่อยู่บนผิวน้ำ (ITOPF, 1991) ซึ่งการย่อยสลายทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยในการกำจัดน้ำมันออกจากสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะส่วนที่ไม่ระเหย (Non - volatile) ของน้ำมัน (อรรถวุฒิ อิมพลทรัพย์ และคณะ, 2536) อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน จำนวนของจุลินทรีย์ รวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม และความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซึ่งมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (ITOPF, 2004 a)

อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการแผ่กระจายตัวเป็นชั้นบางๆของน้ำมันและการแตกตัวของน้ำมันในน้ำ ซึ่งจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการจับกินของจุลินทรีย์ได้ ในทางกลับกันการรวมตัวของน้ำกับน้ำมันเป็นอิมัลชันในน้ำจะทำให้อัตราการย่อยสลาย

ทางชีวภาพลดลงเนื่องจากการลดพื้นที่ผิวสัมผัส ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหาร และออกซิเจน (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

การที่อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญของจุลชีพเพิ่มขึ้น การทำงานของจุลชีพเพิ่มขึ้น อัตราการย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้การที่อุณหภูมิสูงขึ้นยังทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง ทำให้เกิดการแตกตัวได้มากขึ้นซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำมันทำให้การย่อยสลายของจุลชีพเกิดได้มากขึ้น

2.1.4.10 การคั่งและสะสมโดยสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันสามารถเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ในลักษณะต่างๆ ทั้งในรูปของคราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ น้ำมันที่ละลายอยู่ในน้ำ อิมัลชัน หรือในรูปของตะกอน โดยการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การดูดซับบนผิวอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ การได้รับสารไฮโดรคาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยตรงโดยผ่านทางเหงือกหรือกินน้ำและอาหาร (Clark, 1997 อ้างถึงใน วราภรณ์ ศรีมูล, 2544)

2.1.5 ผลของน้ำมันดิบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล

เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันดิบลงสู่ทะเลไม่ว่าจะเนื่องมาจากสาเหตุใดก็ตาม ย่อมจะก่อให้เกิดผลกระทบและความเสียหายต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ซึ่งระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่

(1) ชนิดและปริมาณของน้ำมัน

น้ำมันดิบแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกันออกไป จะมีผลทำให้ความสามารถในการแผ่กระจาย การละลาย และการคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมต่างกัน ขึ้นกับองค์ประกอบในน้ำมัน

(2) ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศและน้ำทะเล สภาพคลื่นลมในทะเล เป็นต้น

(3) แหล่งที่เกิดการรั่วไหล

ความรุนแรงของผลที่เกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันจะขึ้นกับแหล่งที่เกิดการรั่วไหลของน้ำมันรวมถึงสภาพภูมิประเทศในบริเวณนั้นๆด้วย เช่น การเกิดการรั่วไหลของน้ำมันกลางมหาสมุทรจะก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่าใกล้ชายฝั่ง ซึ่งมีระบบนิเวศที่สำคัญหลายระบบและสามารถกำจัดได้ยากกว่า

(4) ระยะเวลาที่น้ำมันคงอยู่

ถ้าน้ำมันที่รั่วไหลคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน ผลกระทบที่ตามมาจะเกิดความรุนแรงมากยิ่งขึ้น

(5) ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากร

ผลกระทบของน้ำมันจะมีความรุนแรงมากถ้าในบริเวณที่เกิดการรั่วไหลหรือบริเวณใกล้เคียงเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยหรือเป็นระบบนิเวศที่สำคัญ เช่น แนวปะการัง แหล่งหญ้าทะเล หรือ ป่าชายเลน เป็นต้น

ซึ่งสามารถแบ่งผลกระทบของน้ำมันดิบได้ ดังนี้

2.1.5.1 ผลกระทบทางกายภาพ

คราบน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะมีผลในการบดบังหรือกั้นแสงแดดไม่ให้ส่องผ่านลงไปใต้น้ำที่ระดับลึก ทำให้มีผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช และยังเป็นแผ่นกั้นระหว่างน้ำกับอากาศทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างน้ำและอากาศไม่สามารถเกิดขึ้นได้ มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และจากการที่น้ำมันมีสีทึบหรือสีดำโดยเฉพาะน้ำมันดิบจึงสามารถดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น

2.1.5.2 ผลกระทบทางชีวภาพ

เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่ทะเลจะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเล โดยเฉพาะบริเวณทรัพยากรที่มีความอ่อนไหว (Sensitive area) ได้แก่ ป่าชายเลน แนวปะการังและหญ้าทะเล และบริเวณแหล่งอาศัยของนกน้ำ

ป่าชายเลนเป็นทรัพยากรที่สำคัญ เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำวัยอ่อน เมื่อเกิดการรั่วไหลของน้ำมันและน้ำมันถูกพัดเข้าหาฝั่งก็จะเกิดผลกระทบต่อป่าชายเลน โดยเมื่อเกิดคราบน้ำมันไปเกาะก็จะส่งผลกระทบต่อการรับออกซิเจนของต้นไม้และเมื่อน้ำมันซึมเข้าสู่รากจะทำให้ต้นไม้ตายได้ คราบน้ำมันที่ติดอยู่ตามพื้นดินทำให้เมล็ดที่ตกลงไปไม่สามารถงอกได้ (Clark, 1992) นอกจากนี้สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อาศัยในบริเวณนั้น โดยเฉพาะสัตว์น้ำวัยอ่อน (ITOPF, 1991)

แนวปะการังและหญ้าทะเลก็เป็นแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหวและมีความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตอีกแห่งหนึ่ง เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันบริเวณแนวปะการังหรือแหล่งหญ้าทะเล จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อแนวปะการัง เช่น มีผลต่อการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์ ทำให้เกิดพฤติกรรมที่ผิดปกติ หรืออาจทำให้ตายได้ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในบริเวณนั้นอีกด้วย (ITOPF, 1991; IMO, 1988)

เมื่อมีการปนเปื้อนของน้ำมันบริเวณแหล่งที่อยู่อาศัยของนกน้ำ จะทำให้นกน้ำได้รับสารพิษโดยตรงจากการกินน้ำและอาหารที่มีน้ำมันปนเปื้อนเข้าไป นอกจากนี้จะทำให้มีน้ำมันติดตามขนของนกทำให้ความสามารถในการกั้นน้ำลดลง ทำให้สมดุลความร้อนในร่างกายของนกเสียไป ซึ่งจะมีผลทำให้มีการวางไข่น้อยลง อัตราการเจริญน้อยลง หรืออาจตายได้ (ITOPF, 1991)

2.1.5.3 ผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม

คราบน้ำมันที่ปนเปื้อนบริเวณชายฝั่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อการประมงและแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น การเลี้ยงปลาในกระชัง ทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำลง เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันและน้ำมันถูกคลื่นซัดลอยเข้าหาฝั่งจะก่อให้เกิดคราบน้ำมันสะสมตามชายหาด โขดหิน ทำให้ทัศนียภาพของชายหาดหมดความงดงามเป็นที่น่ารังเกียจ และซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยว

2.1.6 ผลของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

2.1.6.1 การรับน้ำมันดิบเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในทะเล

สิ่งมีชีวิตในทะเลสามารถรับน้ำมันดิบเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการสัมผัสคราบน้ำมันที่ผิวหนังโดยตรง หรือได้รับน้ำมันที่กระจายอยู่ในน้ำและตะกอนท้องทะเล โดยผ่านทางเหงือก ผิวหนัง และโดยการกิน และเนื่องจากในน้ำมันดิบประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดี โดยเฉพาะพวกสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตในทะเลจึงสามารถรับสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายได้ จากการศึกษาพบว่าสัตว์ทะเลชนิดต่างๆ สามารถรับสารไฮโดรคาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (McAuliffe, 1966) ซึ่งอัตราการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนในสิ่งมีชีวิต จะขึ้นกับชนิดของสิ่งมีชีวิต โดยพวกกุ้งและปลาจะสามารถดึงดูดและสะสมสารไฮโดรคาร์บอนได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่พวกหอยมีแนวโน้มที่จะสะสมได้ช้ากว่า แต่มีการสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ได้รับสาร (Neff and Anderson, 1981) เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบจะกระจายตัวไปสะสมตามอวัยวะเป้าหมาย (Target organ) ต่างๆ เช่น เหงือก ตับ ไต ผิวหนัง และอวัยวะอื่นๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยส่วนที่มีการสะสมของสารไฮโดรคาร์บอนมากที่สุดในกุ้ง คือ ต่อมย่อย (Digestive gland) ในปลา คือ ถุงน้ำดี (Gall bladder) (Neff and Anderson, 1981) และในหอยสองฝา (Clam) พบมากในลำไส้ (Intestine) และตับอ่อน (Hepatopancreas) (Fong, 1976)

ส่วนการขับกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนจากร่างกายสิ่งมีชีวิตในทะเลนั้น โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะสามารถกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนที่สะสมอยู่ในร่างกายได้โดยการขับถ่ายและการแพร่ของสารออกนอกร่างกาย (Neff and Anderson, 1981) โดยพวกกุ้งและปลามีแนวโน้มที่จะกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนออกจากร่างกายได้เร็วกว่าพวกหอย อาจเนื่องมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (McAuliffe, 1966) ซึ่งส่วนของร่างกายที่มีการกำจัดสารไฮโดรคาร์บอนได้เร็วที่สุดในกุ้งคือ

กล้ามเนื้อส่วนท้อง (Abdominal muscle) และในปลา คือ กล้ามเนื้อ (Somatic musculature) (Neff and Anderson, 1981)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงดูดและการกำจัดสารอะโรมาติกของสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ ชนิด อายุของสิ่งมีชีวิต ระยะเวลาที่ได้รับสาร กิจกรรมของเมตาบอลิซึม รวมถึงสภาวะแวดล้อมซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม เนื่องจากอุณหภูมิและความเค็มมีผลต่อการละลายน้ำของสารไฮโดรคาร์บอน นอกจากนี้ยังมีผลต่อลักษณะทางสรีระวิทยาและเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต รวมถึงปัจจัยทางกายภาพอื่นๆ ซึ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจะยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากมีกระบวนการทางชีวภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่ง Neff and Anderson (1981) พบว่า ความเค็มมีผลต่อการดึงดูด Naphthalene และ Phenantrene ของ กุ้ง *Palaemonetes pugio* อย่างมีนัยสำคัญ โดยการดึงดูดของกุ้งจะลดต่ำลงที่ระดับความเค็มซึ่งกุ้งมี Osmoregulate เนื่องจาก Osmoregulate นี้สามารถควบคุมอัตราการแลกเปลี่ยนสารไฮโดรคาร์บอนในร่างกายของสิ่งมีชีวิตและสภาวะแวดล้อม

2.1.6.2 ความเป็นพิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

พิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบในน้ำมันดิบนั้น โดยสารพิษส่วนใหญ่ในน้ำมันดิบจะเป็นพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งน้ำมันดิบจะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตในทะเลตายได้ โดยเฉพาะสัตว์น้ำขนาดเล็กที่เคลื่อนไหวได้ช้าซึ่งจะได้รับผลกระทบมากกว่าสัตว์น้ำขนาดใหญ่ที่สามารถเคลื่อนที่หนีไปได้ โดยน้ำมันดิบจะไปจับที่ซึ่งเหงือกทำให้ระบบการหายใจของสัตว์น้ำเสียไป หรือน้ำมันดิบจะไปมีผลทำให้สัตว์น้ำมีเมื่อย การทรงตัว ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ หรือไม่สามารหหาอาหารได้ นอกจากนี้บริเวณที่มีการปนเปื้อนอาจมีหยดน้ำมันเล็กๆผสมอยู่ในน้ำ ซึ่งสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของสัตว์ เป็นสาเหตุที่ทำให้สัตว์ตายได้

องค์ประกอบในน้ำมันดิบที่มีผลทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลมาจากสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนใหญ่ (Anderson et al., 1974; Moore and Dwyer, 1974; Percy and Mullin, 1977; NRC, 1985) โดยแนวโน้มความเป็นพิษของสารไฮโดรคาร์บอนจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนนั้นสูงขึ้น เนื่องจากละลายในน้ำได้น้อยลง (Kornberg, 1981) โดยกลุ่มสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจุดเดือดต่ำจะทำให้สัตว์สลบ (Anaesthesia) หรือเกิดอาการมีเมื่อย (Narcosis) (Duffus, 1982; Sherertz, 1998) กลุ่มสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นพวกที่มีความเป็นพิษมากที่สุดและละลายน้ำได้ดีที่สุด เช่น Benzene, Toluene, Naphthalene และ Phenantrene เป็นต้น ซึ่งความเป็นพิษเฉียบพลันจะมาจากสารในกลุ่มนี้ (McAuliffe, 1966; Anderson et al., 1974) นอกจากนี้จะไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด

มีผลต่อระบบหายใจและกระตุ้นหรือกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง เป็นสารก่อกลายพันธุ์ (Mutagen) และสารที่ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) กลุ่มสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวและมีจุดเดือดสูง ไม่ค่อยเป็นพิษมากนัก แต่จะมีผลต่อพฤติกรรมบางอย่าง เช่น การรับรู้และตอบสนองต่อเพศผิดปกติไป (Duffus, 1982) กลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อกลายพันธุ์เช่นเดียวกับสารพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำ โดยพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความเป็นพิษต่ำ อาจเนื่องมาจากละลายน้ำได้น้อยส่วนใหญ่จะเป็นสาเหตุให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรัง (Neff, 1979) Barron และคณะ (1999) ศึกษาผลของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อ Mysid shrimp (*Mysitopsis bathia*) พบว่า ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำจะไม่เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของ PAH_s ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม PAH_s ก็อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันได้ ซึ่งพิษเฉียบพลันของ PAH_s ต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำมีค่า 0.2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Neff, 1979)

จากการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าผลที่เกิดจากน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลนั้น มักจะเป็นแบบพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ก็จะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตนั้นตายในทันที ซึ่งความเป็นพิษจะมาจากสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ในน้ำมันดิบ (Anderson et al., 1974; Percy and Mullin, 1977; Edwards, 1978; Anderson et al., 1987; Clark, 1992) และการที่น้ำมันดิบซึ่งกระจายเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในมวลน้ำไปเกาะที่ซีเหงือกทำให้สูญเสียการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (Edwards, 1978; Singer et al, 1994; Bo Liu, 2003) ซึ่งการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตพวก Crustacean ชนิดต่างๆ ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2-2

สำหรับการศึกษาผลของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลที่ผ่านมานั้นพบว่า น้ำมันดิบจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยา เมตาบอลิซึม และพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตต่อ ซึ่งได้แก่ การหายใจ การขับถ่าย การกินอาหาร การเจริญเติบโต การว่ายน้ำ (McAuliffe, 1966; Anderson et al., 1974) และมีผลทำให้การลอกคราบใช้เวลานาน เมื่อเทียบกับสภาวะปกติ (Percy และ Mullin, 1977)

ตารางที่ 2-2 ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบต่อสัตว์พวก Crustacean ที่มีการศึกษา

Crude oil	Species	Size/ age/ stage	Stat/flow	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	Exposure (h)	LC ₅₀ (mg/l)	References
South Louisiana	<i>Palaemonetes pugio</i>	Postlarva		20±2		96	>19.8	Anderson et al. (1974)
		Postlarva				96	>16.8	Neff et al. (1976)
	<i>Penaeus azetecus</i>	Postlarva		20±3		96	> 19.8	Anderson et al. (1974)
		Postlarva				96	19.8	Neff et al. (1976)
	<i>Mysidopsis almyra</i>	Postlarva				96	8.7	Neff et al. (1976)
	<i>Leander tenuicornis</i>	Postlarva				96	6	Neff et al. (1976)
	<i>Litopenaeus setiferus</i>	Juvenile	Stat	22-23	8-9	96	6.49	Bo Liu (2003)
Kuwait	<i>Palaemonetes pugio</i>	Postlarva		20±2		96	>10.2	Anderson et al. (1974)
	<i>Penaeus azetecus</i>	Postlarva		20±2		96	> 10.2	Anderson et al. (1974)
Venezuela	<i>Homarus americanus</i>	Larva	Stat	20±1	27-31	96	0.86-4.90	Well and Sprague (1976)
Cook inlet	<i>Pandulus hypsinotus</i>	Juvenile	Stat	7-10	28-30	96	2.7 (±0.2)	Rice et al. (1979)
	<i>Pandulus hypsinotus</i>	Juvenile	Flow	7-11	28-31	96	1.4 (±0.2)	Moles (1998)
Alaskan north slope	<i>Litopenaeus setiferus</i>	Juvenile	Stat	22-23	8-9	96	6.59	Bo Liu (2003)

ตารางที่ 2-2 (ต่อ) ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบต่อพวก Crustacean ที่มีการศึกษา

Crude oil	Species	Size/ age/ stage	Stat/flow	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	Exposure (h)	LC ₅₀ (mg/l)	References
Sample from California coastal.	<i>Mysitlopsis bathia</i>	7 days	Stat	25	20	96	1.6	Barron et al. (1999)
Arabian light	<i>Penaeus merguien</i>	5-7 days	Stat	28±1		24	0.28	มนัส เพ็ชรทองคำ (2522)
	<i>Penaeus merguien</i>	45-60 days	Stat	23±1		96	0.54	มนัส เพ็ชรทองคำ (2522)
	<i>Penaeus merguien</i>	45-60 days	Stat	28±1		96	0.078	มนัส เพ็ชรทองคำ (2522)
	<i>Penaeus merguien</i>	45-60 days	Stat	32±1		96	0.74	มนัส เพ็ชรทองคำ (2522)
Dubai	<i>Penaeus monodon</i>	Early juvenile	Stat	28±1	14	96	0.0815	วรวรรณ ศุภระฤกษ์ (2542)
	<i>Penaeus monodon</i>	Early juvenile	Stat	28±2	21	96	0.0135	วรวรรณ ศุภระฤกษ์ (2542)
	<i>Penaeus monodon</i>	Early juvenile	Stat	28±3	28	96	0.0406	วรวรรณ ศุภระฤกษ์ (2542)
	<i>Penaeus monodon</i>	Early juvenile	Stat	28±4	35	96	0.08	วรวรรณ ศุภระฤกษ์ (2542)
	<i>Penaeus monodon</i>	45-60	Stat	27-28	20	96	0.35-0.74	ศิริกานต์ นิเทศวรวิทย์ (2533)

จากการศึกษาพบว่า น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำจะมีผลต่อสภาพเนื้อเยื่อของเหงือกมากที่สุด เนื่องจากเหงือกมีเซลล์เยื่อบุผิวที่บางมากและสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ทำให้ได้รับสารตลอดเวลา โดยจะทำให้มีการบวมตัวของเนื้อเยื่อเหงือก (ซึ่งมีผลมาจากตัวตั้งคราะห์พลาสติก โปรตีนได้น้อย สมดุลของพลาสติกในเลือดเสียไป) เหงือกจะมีจำนวนเซลล์เยื่อบุผิวเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเหงือกเชื่อมติดกัน และมีการโป่งพองของเส้นเลือด (ซึ่งเป็นเซลล์ค้ำจุน Secondary lamellae ชำรุด ทำให้ Blood sinusoid ขยายตัว) จึงทำให้พื้นที่การแลกเปลี่ยนออกซิเจนของเหงือกลดลง ซึ่งจะไปมีผลต่อเมตาบอลิซึม ซึ่งเมื่อเมตาบอลิซึมลดลงจะมีผลทำให้การทำงานของร่างกายผิดปกติ ร่างกายไม่สามารถนำไขมันไปใช้ได้ตามปกติ การสะสมของไขมันในตับจึงเพิ่มขึ้นจนมากกว่าปกติ ทำให้ตับเสื่อมสภาพ (Capuzzo and Lancaster, 1982) นอกจากนี้สารไฮโดรคาร์บอนยังมีผลต่อเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต โดยจะทำให้เซลล์สูญเสียหน้าที่ สารไฮโดรคาร์บอนจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นไขมันที่ผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์สูญเสียการควบคุมการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในกับภายนอกเซลล์ ในกรณีที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจะทำให้ผนังเซลล์แตก ทำให้สารภายในไหลออกจากเซลล์ (Kornberg, 1981)

น้ำมันดิบจะมีผลทำให้อัตราการหายใจลดลง เนื่องจากน้ำมันดิบที่กระจายเป็นหยดเล็กๆ อยู่ในมวลน้ำจะไปจับที่เหงือก ทำให้สูญเสียการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (Edwards, 1978; Capuzzo and Lancaster, 1982; Singer et al, 1994; Bo Liu, 2003) นอกจากนี้สารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งเป็นพวกที่มีความเป็นพิษสูงและละลายน้ำได้ดี จะมีผลต่อระบบหายใจ โดยไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด และลดประสิทธิภาพของเซลล์ในการแลกเปลี่ยนออกซิเจน (Edwards, 1978) ในขณะที่อัตราการขับถ่ายของกุ้งที่ได้รับน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นจากการศึกษาที่ผ่านมา Capuzzo and Lancaster (1982) พบว่า น้ำมันดิบ South Louisiana มีผลทำให้อัตราการหายใจของ American lobster (*Homarus americanus*) ลดลง ส่วนอัตราการขับถ่ายเพิ่มขึ้น Edwards (1978) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการหายใจของ *Cragon cragon* ลดลงและมีอัตราการขับถ่ายเพิ่มขึ้น Carr and Lindane (1984) พบว่า น้ำมันดิบ North sea ส่วนที่ละลายน้ำ มีผลทำให้อัตราการหายใจของ *Cragon cragon* และ *Homarus americanus* ลดลง วรวรรณ ศุกระฤกษ์ (2542) พบว่า ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและความเค็มมีผลต่อการหายใจของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*. อย่างไรก็ตาม จากการการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำกับอัตราการหายใจและอัตราการขับถ่ายนั้นมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน (Edwards, 1978)

น้ำมันดิบจะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตกินอาหารน้อยลง (John and Peachnix, 1980; Derby and Atema, 1981; Pearson et al., 1981; Stickle et al., 1987) โดยการศึกษาใน *Cancer irrotatus* ระยะ

Larva พบว่า เมื่อได้รับน้ำมันส่วนที่ละลายน้ำ อัตราการกินอาหารของกุ้งลดลง (John and Peachnix, 1980) เช่นเดียวกับใน *Pandulus borralis* ที่พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันดิบ Cook Inlet ที่ได้รับสูงขึ้น อัตราการกินอาหารของกุ้งจะลดลง (Strickle et al., 1987) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจาก องค์ประกอบในน้ำมันจะไปมีผลต่อการรับรู้ ทำให้มีนิมง ไร้ความรู้สึก (John and Miller, 1978) มีปัญหาในการหาตำแหน่งของอาหาร การแยกแยะอาหาร รวมถึงการกระตุ้นให้เกิดความต้องการอาหาร (Derby and Atema, 1981; Pearson et al., 1981)

สิ่งมีชีวิตที่ได้รับน้ำมันดิบจะมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปกติ (Tatem, 1977; Laughlin and Neff, 1980; Strickle et al., 1987) โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ค่า SFG (Scope for growth) ใน Pink shrimp (*Penaeus borealis*) จะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส เนื่องจากกุ้งนำพลังงานไปใช้ในการหายใจและขับถ่ายมากกว่านำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต (Strickle et al., 1987) ในขณะที่ วรวรรณ ศุภระฤกษ์ (2542) พบว่า ค่า SFG ใน *Penaeus monodon* เป็นลบ เนื่องจากค่าพลังงานที่ใช้ในการหายใจและการขับถ่ายมากกว่าค่าพลังงานที่ได้รับจากการกินอาหาร และกุ้งต้องใช้พลังงานเพื่อซ่อมแซมส่วนที่เสียหายและรักษาร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติ จึงทำให้การเจริญเติบโตลดลง Barron และคณะ (1999) ศึกษาผลของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อ Mysid shrimp (*Mysitlopsis bathia*) โดยทดลองจากน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำซึ่งเก็บจากชายฝั่ง California พบว่า ที่ความเข้มข้น 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเริ่มมีการตายเกิดขึ้น และความเข้มข้นเป็นสาเหตุให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.1.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

โดยปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเป็นพิษของน้ำมันดิบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่

(1) ปัจจัยทางชีวภาพ

ปัจจัยทางชีวภาพ ซึ่งมีผลต่อความเป็นพิษของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ชนิด อายุ และช่วงชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีความไวต่อพิษต่างกัน และสิ่งมีชีวิตที่อายุน้อยกว่าจะมีความไวต่อพิษมากกว่าเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน (Neff et al., 1976; Makarian et al., 1995) ช่วงชีวิตของสิ่งมีชีวิตก็มีผลต่อความเป็นพิษ โดยพวกกุ้งจะมีความไวต่อพิษของน้ำมันมากในระยะลอกคราบ (Fucik et al, 1995) นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับตัวของสัตว์และที่อยู่อาศัยของสัตว์จะมีผลต่อการรับสารพิษ โดยกุ้งและปลาในทะเลจะมีความไวต่อพิษของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำมากกว่าสิ่งมีชีวิตพวก Intertidal เนื่องจาก พวก Intertidal สามารถ

ปรับตัวให้มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยน้ำมันในระยะเวลาอันสั้นได้ โดยการเคลื่อนตัวออกจากบริเวณที่มีการปนเปื้อน นอกจากนี้ยังสามารถปรับพฤติกรรมของตนเองเพื่อลดการสัมผัสต่อสารพิษ เช่น การลดเมตาบอลิซึม การมุดตัวลงในทราย โคลน หรือ การปิดเปลือกของหอย เป็นต้น (Rice et al., 1979)

(2) ชนิดและคุณสมบัติของน้ำมันดิบ

น้ำมันดิบแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบและคุณสมบัติต่างกัน จึงมีผลทำให้การละลาย การคงอยู่ในน้ำ และความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำต่างกันออกไป (Anderson et al, 1974)

(3) ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อความเป็นพิษของน้ำมันดิบได้แก่ อุณหภูมิและความเค็ม กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้ความเป็นพิษของน้ำมันดิบเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืด การละลาย และการคงอยู่ของน้ำมันในน้ำ (Rice et al, 1977) โดยเมื่ออุณหภูมิสูงความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตจะสูงเนื่องจากสาร Aromatic hydrocarbon ละลายน้ำได้มากขึ้น และสัตว์ทดลองจะมี Metabolism และ Activity เพิ่มขึ้น (Neff and Anderson, 1981) นอกจากนี้ความเค็มก็มีผลต่อความเป็นพิษของน้ำมันดิบ เนื่องจากในน้ำที่มีความเค็มสูงน้ำมันดิบสามารถละลายในน้ำได้น้อย ความเป็นพิษของน้ำมันดิบจึงต่ำ (Percy and Mulline, 1976; Shaw, 1977)

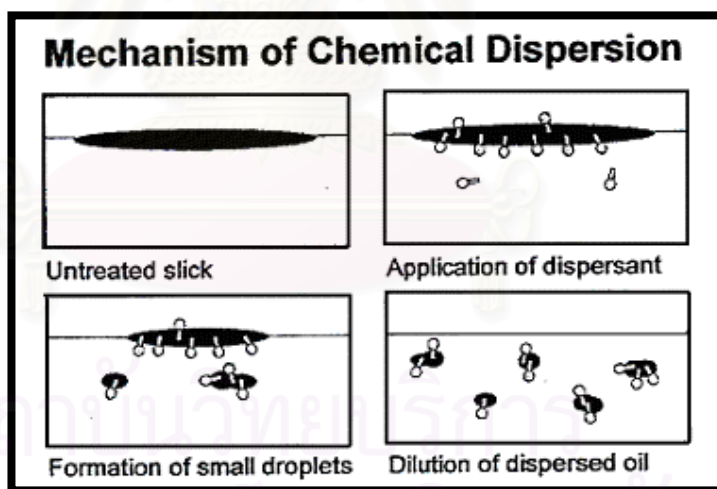
2.2 สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (Dispersant)

สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน มีองค์ประกอบ 2 ส่วนที่สำคัญ คือ สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) และตัวทำละลาย นอกจากนี้บางชนิดยังมีส่วนผสมของสารบางตัวที่สามารถควบคุมการแพร่ของน้ำมันที่แตกตัวในทะเล (NRC, 1989; AMSA, 2001) ซึ่งส่วนประกอบของสารที่มีอยู่ในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นกับการผลิตและการพัฒนาของแต่ละบริษัท อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทั่วไปของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจะคล้ายคลึงกัน

สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีคุณสมบัติไปลดแรงตึงผิวของคราบน้ำมัน ทำให้คราบน้ำมันแตกตัวออกเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในมวลของน้ำและมองไม่เห็นคราบน้ำมันที่ผิวน้ำได้อีก หยดน้ำมันเหล่านี้จะถูกเจือจางอย่างรวดเร็วโดยน้ำทะเลและลดโอกาสที่จะผสมรวมตัวกับน้ำซึ่งจะก่อให้เกิดสารประกอบที่คงตัวและกำจัดได้ยาก นอกจากนี้การแตกตัวของหยดน้ำมัน

ออกเป็นหยดเล็กๆยังทำให้จุลินทรีย์ในทะเลสามารถย่อยสลายหยดน้ำมันเหล่านั้นได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่หยดน้ำมันนั้นก็ยังคงสภาพอยู่และต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งจึงถูกย่อยสลายไปด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ดังนั้นการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจึงอาจถูกมองว่าเป็นเพียงกระบวนการที่ทำให้คราบน้ำมันบนผิวน้ำเคลื่อนย้ายลงไปอยู่ในมวลน้ำเท่านั้น ไม่ใช่การกำจัดคราบน้ำมันอย่างสมบูรณ์ แต่กระบวนการนี้ก็สามารถปกป้องพื้นที่ชายฝั่งมิให้ได้รับความเสียหายได้ (NRC, 1989)

กลไกการทำงานของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (ภาพที่ 2-3) ในการทำให้คราบน้ำมันแตกตัว มีขั้นตอน คือ เมื่อทำการฉีดพ่นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันลงบนคราบน้ำมัน โมเลกุลของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ซึ่งมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายในน้ำมัน (Oleophilic) และส่วนที่ละลายในน้ำ (Hydrophilic) จะพยายามแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างน้ำมันกับน้ำ ทำให้แรงดึงดูดของน้ำมันลดลง และแตกตัวออกเป็นหยดน้ำมันขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในมวลของน้ำ โดยมีโมเลกุลของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันล้อมรอบอยู่ ซึ่งส่วนที่ละลายในน้ำของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันนี้จะเป็นตัวกันไม่ให้หยดน้ำมันกลับเข้ามารวมตัวกันเป็นแผ่นได้อีก ซึ่งหยดน้ำมันที่แตกตัวออกไปจะมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้หยดน้ำมันเหล่านี้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในทะเลได้อย่างรวดเร็ว (ITOPF, 1991; AMSA, 2001; IPTECA, 1993, 2001)



ภาพที่ 2-3 กลไกการทำงานของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (ITOPF, 1991)

2.2.1 ความเป็นมาของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

แนวคิดของการนำหลักการขจัดไขมันด้วยการนำมาผสมรวมเข้ากับสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพื่อแยกตัวน้ำมัน (เช่น สบู่ ผงซักฟอก) แล้วล้างออกนั้น ได้มีการนำมาใช้ตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1960 เพื่อขจัดคราบน้ำมันบนชายหาดแห่งหนึ่งในประเทศอังกฤษ สารผสมในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันและตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (ซึ่งทางภาคอุตสาหกรรมใช้ในการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ล้างคราบน้ำมันจากเครื่องยนต์และทำความสะอาดถังเก็บ) เมื่อนำมาใช้กับรอยเปื้อนที่เป็นน้ำมันปนน้ำ (Emulsifying stranded) หรือน้ำมันที่ลอยน้ำ พบว่ามีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีความเป็นพิษสูงด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารละลายอะโรมาติก

ในปี 1960 มีการทดลองหลายครั้งที่แสดงให้เห็นว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้อยู่สามารถกระจายคราบน้ำมันก่อนที่จะมาถึงฝั่งได้ และสามารถใช้ในการทำความสะอาดชายฝั่งได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ รวมถึงเริ่มมีการใช้สารเคมีเพื่อขจัดคราบน้ำมันที่รั่วไหลในทะเลเนื่องจากอุบัติเหตุทางเรือ ในขณะเดียวกันที่ห้องปฏิบัติการของ Ministry of Agriculture Fisheries and Food ได้ทดสอบความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยใช้สิ่งมีชีวิตต่างๆในทะเล พบว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันทุกชนิดมีค่าความเป็นพิษสูงมาก

ในปี 1967 เมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลจากเรือ Torry Canyon ขึ้นนอกชายฝั่งประเทศอังกฤษ ได้มีการใช้สารดังกล่าวเพื่อขจัดคราบน้ำมันที่รั่วไหลจากเหตุการณ์ครั้งนั้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพในการขจัดน้ำมันเป็นอย่างดี แต่ระดับความเข้มข้นที่ใช้ก็มีความเป็นพิษสูงจนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล จึงมีข้อถกเถียงกันเรื่องการอนุญาตให้ใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน และได้ทำการตกลงว่าจะอนุญาตให้ใช้ได้ในพื้นที่ที่อยู่ในทะเลเปิดขนาดใหญ่ และมีคลื่นลมแรงจัดอยู่เสมอ และต้องมีอัตราการเจือจางมากพอที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

หลังจากเหตุการณ์เรือ Torry Canyon ได้มีการปรับปรุงองค์ประกอบสารเคมีขจัดคราบน้ำมันใหม่เพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลง โดยไม่ใช้สารละลายอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบอีกต่อไป แต่ใช้สารที่มีอะโรมาติกปริมาณน้อย หรือใช้ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เป็นสารอะโรมาติก (เช่น Low-aromatic kerosene หรือ High-boiling solvents containing branched saturated hydrocarbon) ทำให้มีความเป็นพิษน้อยลงถึง 1 พันเท่า ถึงแม้ว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ปรับปรุงใหม่นี้จะมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันน้อยกว่าในอดีตที่ผ่านมา แต่ด้วยความเป็นพิษน้อยทำให้ใช้กันมาก ซึ่งสารดังกล่าวนี้ยังคงใช้กันตราบถึงปัจจุบัน (สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในยุคนี้เรียกว่า Second generation)

สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในเวลาต่อมามักเรียกกันว่า Concentrates เริ่มนำมาใช้ในทศวรรษที่ 1970 สารนี้เป็นส่วนผสมของ Emulsifier, Wetting agents และ Oxygenated solvents มีความเป็นพิษน้อยกว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในยุค Second generation และยังสามารถเจือจางก่อนฉีดลงน้ำได้

ด้วย สาร Concentrates ซึ่งมีความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันสูงแต่มีสารตัวทำละลายน้อย ทำให้ฉีดจากเครื่องบินได้ สารเคมีขจัดคราบน้ำมันส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจำพวกนี้ (สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในยุคนี้เรียกว่า Third generation)

2.2.2 ชนิดของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน สามารถแบ่งตามลักษณะของตัวทำละลายได้ 3 ประเภท (AMSA, 2001) ได้แก่

1. Conventional Hydrocarbon based เป็น สารเคมีขจัดคราบ น้ำมัน ที่มี สารไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวทำละลาย โดยสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นตัวทำละลายจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 15-25 มักจะนำไปใช้งาน โดยไม่ต้องผสมกับน้ำ อัตราส่วนที่ใช้ของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อน้ำมันคือ 1:3-1:5 สารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดนี้ใช้กับคราบน้ำมันในทะเลหรือตามชายฝั่งทั่วไปและใช้งานได้ดีกับคราบน้ำมันที่มีความหนืดสูงเนื่องจากตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจะมีส่วนช่วยลดความหนืดของคราบน้ำมันลง (2nd Generation)

2. Water diluted concentrate หรือสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย สารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดนี้จะไม่เข้มข้นสามารถนำไปใช้ได้ทันที หรือจะผสมกับน้ำก่อนนำไปใช้ก็ได้ สารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดนี้มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดจึงไม่เป็นที่นิยม อย่างไรก็ตามสามารถนำไปใช้ได้ดีสำหรับป้องกันชายหาดและการทำความสะอาดคราบน้ำมันหลังจากการขจัดคราบน้ำมันโดยวิธีอื่น (3nd Generation)

3. Concentrate หรือสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่สามารถกระจายตัวได้ในน้ำ ซึ่งตัวทำละลายจะเป็นสารประกอบไฮดรอกซี (Hydroxy compound) เช่น ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether) และจะมีสารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นสูงประกอบอยู่ด้วย สารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดนี้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องผสม หรือนำมาผสมกับน้ำก่อนใช้งานก็ได้โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพลดลงไป เป็นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยอัตราส่วนที่ใช้ของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อน้ำมันคือ 1:5-1:30 (3nd Generation)

2.2.3 การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันสามารถใช้ได้ทั้งจากการฉีดพ่นบนเรือ จากเครื่องบินและเฮลิคอปเตอร์ ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ได้แก่

1. ความหนืดของน้ำมัน สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีประสิทธิภาพดีก็ต่อเมื่อใช้กับน้ำมันที่มีค่าความหนืดไม่เกิน 2,000 เซนติสโตค (Centistokes, cSt) (AMSA, 2001)
2. จุดไหลเทของน้ำมัน (Pour point) สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีขีดจำกัด เมื่อใช้กับน้ำมันที่มีจุดไหลเทใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ
3. สารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิด จะมีความเหมาะสมในการขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิด รวมถึงประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน
4. ประสิทธิภาพของการขจัดคราบน้ำมันจะลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างสารเคมีขจัดคราบน้ำมันกับน้ำมันลดลง และสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ฉีดลงบนผิวของคราบน้ำมันควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดประมาณ 500-700 ไมโครเมตร
5. พลังงานจากคลื่น ลม และกระแสน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เนื่องจากคลื่นลมจะช่วยให้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันได้ดีขึ้น ดังนั้นสภาพผิวน้ำควรจะมีคลื่นพอสมควรและความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 10 น็อต (5 เมตร ต่อวินาที) (ซรัตน์ รุ่งเรืองศิลป์, 2533)
6. อุณหภูมิจะมีผลต่อประสิทธิภาพของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันสูงขึ้น เนื่องจากจะทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงจึงมีผลให้ประสิทธิภาพในการแทรกซึมของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันดีขึ้น
7. ความเค็มของน้ำ สารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบน้ำมันที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน

2.2.4 ข้อพิจารณาในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการปนเปื้อนของน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่สภาพแวดล้อมนั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันก็สามารถใช้ได้เพียงบางสถานการณ์ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้รวมถึงเนื่องจากการที่สารเคมีขจัดคราบน้ำมันประกอบไปด้วยสารเคมี ดังนั้นถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไปควรจึงอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.2.4.1 ข้อดีของการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

1. เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถขจัดคราบน้ำมันบริเวณกว้างได้อย่างรวดเร็ว
2. สามารถใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสภาพทะเลที่มีคลื่นลมและกระแสน้ำรุนแรงในทะเลได้ดีกว่าการขจัดคราบน้ำมันโดยใช้เครื่องมือกล

3. ลดความเป็นไปได้ที่คราบน้ำมันจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบที่รุนแรงตามมาไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนแหล่งที่อยู่อาศัยของนกทะเล แนวปะการัง แหล่งหญ้าทะเล และป่าชายเลน ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญ

4. ป้องกันหยดน้ำมันไม่ให้กลับมารวมตัวกันเป็นคราบน้ำมันที่ผิวน้ำใหม่
5. ยับยั้งไม่ให้น้ำมันรวมตัวกับน้ำก่อตัวเป็น Chocolate mousse
6. เพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำมัน ช่วยให้การย่อยตามธรรมชาติเกิดได้ดียิ่งขึ้น

2.2.4.2 ข้อจำกัดในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

1. มีช่วงเวลาในการใช้จำกัด โดยการจะใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันให้มีประสิทธิภาพดีต้องใช้ภายใน 24 ชั่วโมง ภายหลังจากรั่วไหลของน้ำมัน และเมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพในการกระจายคราบน้ำมันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะลดลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ข)
2. สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีประสิทธิผลกับน้ำมันบางชนิดและบางสภาพการณ์
3. สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะใช้ไม่ได้กับน้ำมันที่มีค่าความหนืดสูงกว่า 2,000 เซนติสโตค (AMSA, 2001)
4. ในสภาพทะเลที่ไม่มีคลื่นลม การทำงานของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะไม่มีประสิทธิภาพและมีโอกาสที่คราบน้ำมันจะกลับมารวมตัวกันที่ผิวน้ำได้ใหม่
5. สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเป็นตัวกระจายคราบน้ำมันให้แตกออกเป็นหยดน้ำมันเล็กๆ รวมตัวกับมวลน้ำได้มากขึ้น ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ
6. สารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีส่วนประกอบเป็นสารเคมีบางชนิด ซึ่งสารเคมีเหล่านี้อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้โดยตรง

2.2.4.3 เหตุการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเป็นวิธีขจัดคราบน้ำมันออกจากผิวทะเลอย่างรวดเร็ว เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมาจากการปกคลุมของคราบน้ำมัน โดยการพิจารณาในการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันนั้นจะต้องคำนึงถึงผลประโยชน์สุทธิทางด้านสิ่งแวดล้อม (Net environmental benefit analysis) (ASTM, 1977) เนื่องจากการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในมวลน้ำและเนื่องจากทรัพยากรบางชนิดอาจมีความอ่อนไหวต่อน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในมวลน้ำมากกว่าคราบน้ำมันที่ปกคลุมอยู่บนผิวน้ำ ดังนั้นในสถานการณ์ที่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน การตัดสินใจใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันก่อนที่น้ำมันจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งจะก่อให้เกิดผลดีกว่า เพื่อให้มีน้ำมันมีเวลาเพียงพอที่จะกระจายตัวและถูก

เจือจางลงจนถึงระดับที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เนื่องจากถ้าปล่อยให้มีการปนเปื้อนบริเวณชายฝั่งจะมีความเสียหายตามมามากกว่า ซึ่งการเลือกใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีความเหมาะสมเมื่อใช้ในสภาพการณ์ดังต่อไปนี้ (IPIECA, 1991)

1. เมื่อน้ำมันที่รั่วไหลมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่ง ซึ่งมีแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหว (Sensitive area) และเป็นแหล่งอาศัยและเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ
2. เมื่อการขจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีอื่นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ
3. เมื่อสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีอื่น
4. เมื่อการกระจายตัวตามธรรมชาติของน้ำมันไม่เพียงพอ

แต่เนื่องจากการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันในมวลน้ำ และยังเป็น การเพิ่มสารเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งเขตการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยพิจารณาตามความสำคัญของทรัพยากร ซึ่งพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันได้นั้นจะต้องเป็นแหล่งทรัพยากรที่ไม่มีความอ่อนไหวสูงต่อน้ำมันที่กระจายตัว และจะต้องมีความลึกของน้ำไม่น้อยกว่า 10 เมตร ซึ่งช่วยให้เกิดการเจือจางได้อย่างรวดเร็ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2544 ก)

ในบางพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรที่อ่อนไหวต่อน้ำมันที่กระจายตัว จึงไม่ควรใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เพราะจะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก พื้นที่บริเวณนี้ ได้แก่

1. บริเวณชายฝั่งที่มีน้ำตื้นและการไหลเวียนของมวลน้ำต่ำ
2. แหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค
3. แหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ
4. พื้นที่อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน
5. แนวปะการัง
6. แหล่งหญ้าทะเล
7. พื้นที่ป่าชายเลน

แต่ในบางกรณีการป้องกันพื้นที่ดังกล่าวมิให้ได้รับความเสียหายจากการปนเปื้อนของคราบน้ำมันเป็นสิ่งที่ไม่ได้ยาก การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจึงเป็นหนทางหนึ่งซึ่งช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในพื้นที่เหล่านี้จึงต้องพิจารณาให้รอบคอบ โดยสิ่งสำคัญที่จะต้องตระหนักถึง ได้แก่

1. การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในพื้นที่ชายฝั่งเขตน้ำขึ้น-น้ำลง พื้นที่ชายฝั่งที่เป็นหาดทราย หาดกรวด หรือพื้นที่อ่าว จะสามารถใช้ได้หากพื้นที่นั้นมีการหมุนเวียนน้ำที่ดี ทำให้มีการเจือจางได้อย่างรวดเร็ว

2. การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในพื้นที่หาดเลน จะสามารถใช้ได้ในขณะที่คราบน้ำมันยังลอยที่ผิวน้ำหรือใช้ในขณะที่น้ำขึ้น แต่ถ้าพื้นที่นั้นไม่มีการหมุนเวียนน้ำที่ดีควรหลีกเลี่ยงการใช้

3. การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำมันบริเวณที่อยู่อาศัยของนกทะเลหรือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเป็นวิธีการที่เหมาะสม เพราะจะช่วยป้องกันสัตว์เหล่านั้นมิให้ได้รับอันตรายจากคราบน้ำมัน แต่ต้องไม่นิยดสารเคมีขจัดคราบน้ำมันไปยังสัตว์เหล่านั้นโดยตรง

4. บริเวณแหล่งหญ้าทะเลเป็นพื้นที่ที่ไม่ควรใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ยกเว้นกรณีทีบริเวณนั้นมีน้ำลึกเกิน 10 เมตรหรือมีการหมุนเวียนของมวลน้ำที่ดี และได้มีการประเมินแล้วว่าหากปล่อยคราบน้ำมันไว้จะก่อให้เกิดความเสียหายมากกว่า

5. แนวปะการังมีความไวต่อทั้งคราบน้ำมันและน้ำมันที่กระจายอยู่ในมวลน้ำ ดังนั้นการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจึงต้องใช้ก่อนที่คราบน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าถึงแนวปะการัง และห้ามใช้สารเคมีขณะที่คราบน้ำมันลอยอยู่เหนือหรือใกล้แนวปะการัง เนื่องจากน้ำมันที่กระจายตัวอยู่ในมวลน้ำจะสัมผัสกับปะการังโดยตรง ทำให้ปะการังตายได้

6. การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในพื้นที่ป่าชายเลนจะช่วยป้องกันความเสียหายระยะยาว และก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการปล่อยให้คราบน้ำมันเข้าไปปนเปื้อน การใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันควรใช้ในช่วงน้ำขึ้นและใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ถ้าพื้นที่นั้นมีการหมุนเวียนของมวลน้ำต่ำต้องช่วยล้างน้ำมันที่แตกตัวแล้วออกไปโดยเร็ว

2.2.5 ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

แม้ว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีความเป็นพิษต่ำลงเมื่อเทียบกับสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้กันในอดีต แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันก็อาจจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ เนื่องจากสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะทำให้หยดน้ำมันกระจายอยู่ในมวลน้ำมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนในน้ำให้สูงขึ้น นอกจากนี้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเองอาจเป็นตัวเพิ่มมลพิษแก่แหล่งน้ำ

ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันนั้น มาจากองค์ประกอบของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ได้แก่ ตัวทำละลาย และสารลดแรงตึงผิว ที่เป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงสารประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่ในสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ได้แก่ Heavy metals, Cyanide และ Chlorinated hydrocarbon ซึ่งความเป็นพิษจะมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับ ชนิดของตัวทำละลาย (NRC, 1989; AMSA, 2001) โดย

ความเป็นพิษของตัวทำละลายในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเรียงจากมากไปหาน้อย คือ Aromatic hydrocarbons > Saturated hydrocarbons > Glycol ethers > Alcohols (Nagell et al, 1974; Wells et al, 1985) ปริมาณสาร Aromatic hydrocarbons ที่เป็นองค์ประกอบในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจึงมีผลต่อความเป็นพิษ (AMSA, 2001) ซึ่งสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในปัจจุบันส่วนใหญ่มีตัวทำละลายเป็น Ethers และ Alcohols ความเป็นพิษจึงน้อยกว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในอดีตซึ่งมีตัวทำละลายเป็น Aromatic hydrocarbons (Wells et al., 1985; NRC, 1989) นอกจากนี้ สารเคมีขจัดคราบน้ำมันยังประกอบไปด้วยสารลดแรงตึงผิวพวก Nonionic surfactant อย่างน้อย 1 ชนิด ส่วนใหญ่ได้แก่ Sorbitan monooleate และ Ethoxylate sorbitan monooleate พวก Anionic surfactant ได้แก่ Sulfosuccinate ethers และ Oxyalkylate C₁₂-C₁₅ alcohols (NRC, 1989) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ โดยความเป็นพิษจะมีความสัมพันธ์กับ Functional groups และ โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (AMSA, 2001) ซึ่งได้แก่การจับตัวกันของ Ethylene oxide และ Alkyl phenolic (Dodd, 1974) สารลดแรงตึงผิวในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะไปลดแรงตึงผิวระหว่างเซลล์เยื่อบุผิวที่เหงือก ทำให้เกิดการบวมน้ำของเยื่อบุผิว ส่งผลต่อการควบคุมการซึมผ่านของสารที่อยู่รอบๆ ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง ขาดออกซิเจน จนกระทั่งสลบและตายได้ (Swedmark et al., 1971; Wells, 1984; NRC, 1989; Singer et al, 1994) นอกจากนี้พวกโลหะหนักซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีผลต่อการหายใจเช่นเดียวกัน โดยโลหะหนักส่วนใหญ่มีผลทำให้เกิดการบวมน้ำ การอักเสบ และการหลุดลอกของเซลล์ Epithelium ในเหงือก ทำให้การควบคุมการซึมผ่านของเซลล์เหงือกลดลง ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและทำให้สูญเสียเกลือแร่ในร่างกาย (Clark, 1992) ดังนั้นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจึงมีความเป็นพิษแตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบ รวมถึงความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันและความคงทนในสิ่งแวดล้อมของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันด้วย (AMSA, 2001) และนอกจากองค์ประกอบในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแล้วความเป็นพิษยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ระยะเวลาที่ได้รับสาร และปัจจัยจากสัตว์ คือ ชนิด ขนาด และอายุของสัตว์ (AMSA, 2001)

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (NRC, 1989; AMSA, 2001) เนื่องจากอุณหภูมิมีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การรับสารเข้าสู่ร่างกายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิไปกระตุ้นการหายใจ ทำให้สัตว์มีเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงการละลายของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในน้ำจะดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตจึงมากขึ้น (NRC, 1989) โดยการศึกษาใน Grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) พบว่า เมื่ออุณหภูมิลดลง ความเป็นพิษของ Corexit 9527 จะลดลงด้วย โดย ค่า LC₅₀ ในเวลา 96 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 27 °C และ 17 °C มีค่าเท่ากับ 640 และ 840 ppm ตามลำดับ

ความเค็มของน้ำมีผลต่อความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (George Ares and Clark, 2000; AMSA, 2001) โดยความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์น้ำจะต่ำในน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นเนื่องจากสารละลายในน้ำได้น้อย และอาจเกี่ยวข้องกับ Osmotic stress ของสิ่งมีชีวิต

ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์น้ำจะขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส ซึ่งถ้าได้รับสารในระดับความเข้มข้นที่จะก่อให้เกิดผลเป็นระยะเวลานานเพียงพอ ก็อาจทำให้สัตว์น้ำได้รับอันตรายจนถึงตายได้ ซึ่งเมื่อระยะเวลาที่ได้รับสารเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันก็จะเพิ่มขึ้น (NRC, 1989; George Ares and Clark, 2000; AMSA, 2001)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตนั้น อาจเกิดจากปัจจัยภายในของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง ซึ่งได้แก่ ชนิด ขนาด อายุ และการปรับตัวของสัตว์ (AMSA, 2001) อายุและขนาดของสัตว์นั้นมีผลต่อความต้านทานพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยสัตว์ที่อายุน้อยจะมีความต้านทานต่อความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันน้อยกว่า (นิภาวรรณ บุศราวิศ, 2540) นอกจากนี้ในช่วงที่สัตว์มีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการ เช่น การลอกคราบ ความต้านทานต่อความเป็นพิษจะเปลี่ยนไป ดังเช่นพวกกุ้งจะมีความไวต่อความเป็นพิษมากที่สุดในช่วงเวลาลอกคราบ (Fucik et al, 1995)

ซึ่งการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตพวก Crustacean ชนิดต่างๆ ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2-3

ความเป็นพิษของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล นอกจากจะมาจากองค์ประกอบของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแล้ว ยังมีผลมาจากการที่เมื่อเติมสารเคมีขจัดคราบน้ำมันลงไป จะทำให้องค์ประกอบในน้ำมันสามารถละลายในน้ำได้มากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะทำให้น้ำมันกระจายเป็นหยดเล็กๆ ไปเกาะที่ซึ่งเหงือกได้มากขึ้น ความเป็นพิษของสารต่อสิ่งมีชีวิตจึงมากกว่าน้ำมันหรือสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพียงอย่างเดียว (Mackay et al., 1982; Peakall et al, 1987.; NRC, 1989; Bo Liu, 2003) การศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันที่ถูกกระจายโดยสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์พวก Crustacean และปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Singer et al. (1998) พบว่าสารละลายผสมน้ำมันดิบ Prudhoe bay กับ Corexit 9527 ที่อัตราส่วน 50:1 ต่อ Mysid shrimp (*Mysitopsis bathia*) มีความเป็นพิษมากกว่าน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพียงชนิดเดียว Bo Liu (2003) ศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบ South Louisiana กับ Corexit 9500 และ น้ำมันดิบ

ตารางที่ 2-3 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์พวก Crustacean ที่มีการศึกษา

Dispersant	Species	Size/ age/ stage	Stat/flow/ Field	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	Exposure (h)	LC ₅₀ (mg/l)	References
Corexit 9527	<i>Penaeus monodon</i>	P-11	Stat	26-30	32	96	1.46	นิภาวรรณ บุศราวิศ (2540)
	<i>Penaeus monodon</i>	P-20	Stat	26-30	32	96	34.42	นิภาวรรณ บุศราวิศ (2540)
	<i>Penaeus monodon</i>	P-29	Stat	26-30	32	96	39.14	นิภาวรรณ บุศราวิศ (2540)
	<i>Penaeus monodon</i>					96	35-45	Fucik et al. (1995)
	<i>Penaeus vannemei</i>					96	35-46	Fucik et al. (1995)
	<i>Penaeus setiferus</i>	Postlarva	Field			96	11.9	Fucik et al. (1995)
	<i>Palaemonetes pugio</i>		Field	17		96	840	NRC (1989)
	<i>Palaemonetes pugio</i>		Field	27		96	640	NRC (1989)
	<i>Mysidopsis bahia</i>					96	29.2 (19-34)	Pace and Clark (1993); George-Ares et al. (1999)
	<i>Mysidopsis bahia</i>					48	24.1	Inchcape Testing Services (1995)
	<i>Holmesimysis costata</i>		Field			96	2.4-10.1	Pace and Clark (1993);
	<i>Holmesimysis costata</i>	Juvenile	Field	12-15		96	4.3-7.3	Singer et al. (1990)
	<i>Holmesimysis costata</i>					96	15.3	Coelho and Aurand (1996)

ตารางที่ 2-3 (ต่อ) ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสัตว์พวก Crustacean ที่มีการศึกษา

Dispersant	Species	Size/ age/ stage	Stat/flow/ Field	Temperature (°C)	Salinity (ppt)	Exposure (h)	LC ₅₀ (mg/l)	References
	<i>Mysidopsis bahia</i>					48	32.2	Inchcape Testing Services (1995)
	<i>Penaeus monodon</i>	Larva	Field			96	48	MFRI (1998)
	<i>Litopenaeus setiferus</i>	Juvenile	Stat	22-23	8-9	96	31.1	Bo Liu (2003)
Noble superdispersant-25	<i>Penaeus monodon</i>	P-11	Stat	26-30	32	96	2.16	นิภาวรรณ บุศราวาศ (2540)
	<i>Penaeus monodon</i>	P-20	Stat	26-30	32	96	<32	นิภาวรรณ บุศราวาศ (2540)
	<i>Penaeus monodon</i>	P-29	Stat	26-30	32	96	38.3	นิภาวรรณ บุศราวาศ (2540)
OD4000	<i>Penaeus monodon</i>	Juvenile	Stat			96	4.97	สมควร ไช้แก้ว (2544)

Alaskan north slope กับ Corexit 9500 ที่อัตราส่วน 20:1 ต่อ White shrimp (*Litopenaeus setiferus*) ระยะ Juvenile พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันแบบพิษรวมกัน (Additive effect)

แต่ก็มีบางงานวิจัยที่พบว่าน้ำมันที่ถูกกระจายโดยสารเคมีจัดคราบน้ำมัน ไม่มีผลทำให้ความเป็นพิษเพิ่มขึ้น (NRC, 1989) ถึงแม้ว่าสารเคมีจัดคราบน้ำมันทำให้ความเข้มข้นของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น (Fucik, 1995; Long and Holdway, 2001) โดย Anderson และคณะ (1974) อธิบายว่า พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำมาจากสารไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าพวก PAH_s ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในขณะที่การเติมสารเคมีจัดคราบน้ำมันจะไปทำให้ PAH_s ละลายน้ำได้มากขึ้น จึงไม่ทำให้ความเป็นพิษเฉียบพลันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จะขึ้นกับองค์ประกอบของน้ำมันดิบแต่ละชนิด

ดังนั้น การใช้สารเคมีจัดคราบน้ำมันของบางประเทศจึงมีข้อจำกัดและต้องได้รับอนุญาตก่อน โดยต้องมีการทดสอบความเป็นพิษก่อนนำไปใช้ สำหรับประเทศไทยการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารเคมีจัดคราบน้ำมันและความเหมาะสมในการใช้สารเคมีจัดคราบน้ำมันมีน้อยมาก นอกจากนี้มาตรการในการใช้สารเคมีจัดคราบน้ำมันก็ยังไม่ชัดเจน การดำเนินงานส่วนใหญ่จึงใช้หลักเกณฑ์ของต่างประเทศ ซึ่งในการประชุม UNEP/EAST ASEAN SEAS PLAN PROJECT EAS 12: Cooperative research on oil and dispersant toxicity (1987) ได้กำหนดช่วงความเป็นพิษของสารเคมีจัดคราบน้ำมันสำหรับใช้ในภูมิภาคอาเซียนไว้ในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ช่วงความเป็นพิษของสารเคมีจัดคราบน้ำมัน สำหรับใช้ในภูมิภาคอาเซียน

(UNEP/EAST ASEAN SEAS)

48 h-LC ₅₀ (µl/l)	Description
>10000	Practically non-toxic
10000-1000	Slightly toxic
1000-100	Moderately toxic
100-10	Toxic
<10	Very toxic

2.3 กุ้งกุลาดำ

Phylum Arthropoda

Class Crustacia

Subclass Malacostraca

Order Decapoda

Suborder Dendrobranchiae

Superfamily Penaeoidea

Family Penaeidae

ชื่อไทย: กุ้งกุลาดำ กุ้งกุลากุ้ง กุ้งทะเล กุ้งเสือดำนก กุ้งเสื่อ กุ้งลาย

ชื่อภาษาอังกฤษ : Black tiger shrimp

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Penaeus monodon* fabricius, 1798

ลักษณะลำตัวลำตัวเป็นสีม่วงแดง มีแถบสีน้ำตาลหรือสีดำพาดขวาง ลำตัวเป็นปล้องๆ โคนขาว่ายน้ำมีแถบสีเหลืองเป็นปล้องๆ เปลือกหุ้มเกลี้ยง ไม่มีขน หนวดมีสีดำไม่มีลาย ฟันกรีด้านบนมี 7-8 ซี่ ด้านล่างมี 3 ซี่ ร่องข้างกรีดทั้งสองด้านมีลักษณะแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีดอันสุดท้ายและที่ขาเดินคู่ที่ 5 ไม่มีระยางค์อันนอก

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในวงศ์ Penaeidae ถิ่นอาศัยของกุ้งกุลาดำ ได้แก่ บริเวณน่านน้ำแถบใต้หวัน ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และที่พบมาก ได้แก่ ออสเตรเลีย และอินเดีย กุ้งชนิดนี้อยู่ในเขตร้อน ชอบอาศัยบริเวณน้ำลึกห่างจากฝั่ง และชอบพื้นทะเลที่เป็นดินทรายสามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำ เช่น บริเวณป่าชายเลน ได้

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำวางไข่ในทะเล กุ้งที่มีอายุ 12- 18 เดือน จะวางไข่ในทะเลลึกที่ระดับน้ำประมาณ 15-30 เมตร ไข่ที่ฟักในท้องทะเล กุ้งที่มีขนาด 70-150 กรัม จะวางไข่ครั้งละประมาณ 1,000,000-1,200,00 ฟอง กุ้งกุลาดำส่วนมากจะผสมพันธุ์กันในเวลากลางคืน โดยตัวผู้จะสอดอวัยวะเพศที่เรียกเพ็ทสมา (Petesma) เข้าไปในอวัยวะเพศเมียที่เรียกว่า ทีไลคัม (Thelycum) พร้อมกับปล่อยน้ำเชื้อเข้าไปเก็บไว้ในถุงเก็บน้ำเชื้อเพื่อรอโอกาสที่จะผสมกับไข่ในระยะหลัง เมื่อไข่แก่และสุกเต็มที่ก็จะถูกขับออกมาทางช่องเพศไข่ตรง โคนขาเดินคู่ที่สาม และจะได้รับการผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้ซึ่งจะไหลออกจากถุงเก็บน้ำเชื้อทางรูเปิดเล็กๆที่บริเวณขาเดินคู่ที่สี่ของตัวเมีย แม่กุ้งจะใช้เวลาวางไข่ครั้งหนึ่ง

ประมาณ 3-5 นาที ไข่ที่ผสมแล้วขณะปล่อยสู่น้ำทะเลใหม่ๆจะมีลักษณะกลม ไข่จะค่อยๆ พัฒนาจนฟักเป็นตัวภายในเวลาประมาณ 15 ชั่วโมง กุ้งวัยอ่อนจะมีพัฒนาการและเปลี่ยนรูปร่างไปตามขั้นตอน และจะอาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งจนกระทั่งโตเต็มวัยจึงกลับลงสู่ทะเลและผสมพันธุ์วางไข่ต่อไปอีก

การพัฒนาการและการเปลี่ยนรูปร่างของกุ้งวัยอ่อน

1. ลูกกุ้งวัยอ่อนในระยะหนึ่ง (ระยะนอเพเลียส) เป็นลูกกุ้งที่ฟักออกจากไข่ใหม่ๆ จะมีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งหมด 6 ครั้ง ภายใน 40-50 ชั่วโมง ระยะนี้ลูกกุ้งยังไม่กินอาหาร แต่จะได้รับอาหารส่วนใหญ่จากถุงอาหารที่ติดตัวมาและจะใช้ชีวิตส่วนใหญ่อยู่ตามหน้าดิน

นอเพเลียสที่ 1 ลำตัวมีขนาดประมาณ 0.3 มิลลิเมตร รูปร่างค่อนข้างกลม หัวโตเรียวยาวเล็กไปทางด้านหาง มีระยางค์ 3 คู่ มีตาอันเดียวอยู่ระหว่างระยางค์คู่ที่ 1

นอเพเลียสที่ 2 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.30-0.36 มิลลิเมตร ระยางค์เริ่มแบ่งออกเป็นปล้อง หนามปลายหางใหญ่และยาวออก

นอเพเลียสที่ 3 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.36-0.38 มิลลิเมตร เริ่มปรากฏฐานของระยางค์ท้อง ปลายหางเรียวยาวเล็ก มีหนาม 3 คู่

นอเพเลียสที่ 4 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.38-0.40 มิลลิเมตร ปลายของระยางค์ท้องแยกออกเป็นสองแฉก มีหนามที่ปลายหาง 4 คู่

นอเพเลียสที่ 5 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.40-0.44 มิลลิเมตร เริ่มมีเปลือกหัว ขากรรไกรกลม ลำตัวยาวออก ปลายหางแยกเป็นสองแฉก

นอเพเลียสที่ 6 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.42-0.50 มิลลิเมตร เปลือกหัวใหญ่ขึ้น ขากรรไกรยาวออก มีหนามที่ปลายหาง 7 คู่

2. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่สอง (ระยะโปรโตซูเอีย) ลูกกุ้งจะมีลำตัวยาวขึ้น ส่วนหัวโตขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ลูกกุ้งจะค่อยๆ ลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำและเริ่มกินอาหาร อาหารลูกกุ้งระยะนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกแพลงก์ตอนพืชเล็กๆ และลูกกุ้งจะเริ่มเข้าสู่ฝั่ง ลูกกุ้งจะอยู่ในระยะที่สองประมาณ 4 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยจะลอกคราบ 3 ครั้ง

โปรโตซูเอียที่ 1 ลำตัวมีความยาวประมาณ 0.85-1.00 มิลลิเมตร ลำตัวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว ส่วนอก และ ส่วนท้อง ส่วนหัวมีเปลือกคลุมตลอด ตายังอยู่ภายในเปลือกมองเห็นเป็นจุดดำแยกออกเป็น 2 ตา แต่ยังไม่มีการมองเห็น ส่วนอกแยกเป็น 6 ปล้อง ระยางค์คู่ที่ 3 เปลี่ยนหน้าที่จากการช่วยในการว่ายน้ำมาทำหน้าที่ช่วยในการกินอาหาร ปลายหางมีหนาม 7 คู่ ระบบทางเดินอาหารเห็นได้ชัดเจนตลอดลำตัว

โปรโตซัวเอียที่ 2 ลำตัวมีความยาวประมาณ 1.20-1.40 มิลลิเมตร ตาโผล่พ้นเปลือกหัว มีก้าน ตายาวกริแหลมยื่นไปข้างหน้าและงุ้มลงด้านล่างเล็กน้อย ระหว่างตามีหนาม 1 คู่ บนเปลือกหัว เปลือกหัวเริ่มขยายออกคลุมส่วนอก ที่ส่วนท้องเริ่มแบ่งเป็น 5 ปล้อง ส่วนหางแยกเป็น 2 แฉก และมีขนข้างละ 7 เส้น

โปรโตซัวเอียที่ 3 ลำตัวมีความยาวประมาณ 1.50-2.00 มิลลิเมตร แพนหางชั้นนอกจะมี ขนาดใหญ่กว่าแพนหางอันใน รอบๆแพนหางมีขน มีระยางค์ว่ายน้ำเกิดขึ้นที่ปล้องอกทั้ง 5 ปล้อง

3. ลูกกุ้งวัยอ่อนระยะที่สาม (ระยะไมซิส) ลูกกุ้งในระยะนี้จะมีลักษณะคล้ายพ่อแม่มากขึ้น สามารถมองเห็นได้ชัด ลูกกุ้งจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 7 วัน มีการเปลี่ยนแปลง 3 ระยะ

ไมซิสที่ 1 ลำตัวมีความยาวประมาณ 2.50-3.00 มิลลิเมตร ส่วนหัวกับส่วนอกเชื่อมติดกัน ระยางค์ออกยังคงทำหน้าที่ว่ายน้ำ ปลายระยางค์แบ่งเป็น 2 แฉก ส่วนท้องแบ่งออกเป็น 6 ปล้อง หนามบนปล้องท้องที่ 1 และ 2 หายไป ปลายหางมีหนามมีหนาม 8 คู่ หนวดคู่ที่ 1 เริ่มแบ่งเป็น 3 ปล้อง ปลายหางเป็น 2 แฉก

ไมซิสที่ 2 ลำตัวมีความยาวประมาณ 3.00-3.45 มิลลิเมตร ส่วนหัวกับส่วนอกเชื่อมติดกัน อย่างสมบูรณ์ มีเปลือกหัวคลุมตลอดระยางค์คู่ที่ 1 ถึง 3 ตรงปลายเปลี่ยนเป็นก้ามหนีบ ระยางค์ว่ายน้ำที่ปล้องท้องเจริญขึ้น หนามบนปล้องที่ 3 หางเว้าเล็กน้อย

ไมซิสที่ 3 ลำตัวมีความยาวประมาณ 4.04-4.50 มิลลิเมตร ขาวว่ายน้ำเจริญขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ปล้อง มีฟันกริ 1-2 อัน ที่สันกริบน

4. ลูกกุ้งวัยอ่อนในระยะที่ 4 (ระยะโพสลาวา) ระยะโพสลาวา คือ ระยะตัวอ่อนขั้นสุดท้าย ลูกกุ้งในระยะนี้ลำตัวจะมีความยาวประมาณ 5.50 มิลลิเมตร ลูกกุ้งมีระยางค์ครบเหมือนกุ้งตัวเต็มวัย ลูกกุ้งจะมีพัฒนาการไปเรื่อยๆจนกระทั่งเข้าสู่วัยรุ่น โดยจะแบ่งเป็น 25 ระยะ ภายใน 25 วัน เรียก ระยะโพสลาวาที่ 1 (พี 1) ไปจนถึงโพสลาวาที่ 25 (พี 25) โดยหลังการลอกคราบแต่ละครั้งรูปร่าง ลักษณะของลูกกุ้งจะเปลี่ยนแปลงสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ลูกกุ้งจะมีสีเหลืองใส มีลายหรือจุดเกิดขึ้น กริยาว ออก หนามบนตัวหายไปหมด ลูกกุ้งจะอาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลนหรือแหล่งน้ำกร่อยจนกระทั่ง ประมาณ 3-4 เดือนก็จะเติบโตเป็นกุ้งวัยรุ่น และเมื่ออายุได้ประมาณ 6 เดือน กุ้งจะเดินทางสู่ทะเล เพื่อผสมพันธุ์ต่อไป

ในการพัฒนาแต่ละระยะของกุ้งนั้น กุ้งจำเป็นจะต้องลอกคราบเพื่อการเจริญเติบโต ทั้งนี้ เนื่องจากเปลือกกุ้งไม่สามารถเพิ่มขนาดได้ ดังนั้นในการเพิ่มขนาดตัวของกุ้งแต่ละครั้งจึงต้องสลัด เปลือกอันเก่าทิ้งไปและสร้างเปลือกใหม่ที่มึขนาดใหญ่มากกว่ามาทดแทน โดยกุ้งจะเริ่มลอกคราบตั้งแต่ ฟักออกจากไข่เพียงไม่กี่ชั่วโมง และจะลอกคราบเรื่อยๆไปจนตลอดชีวิต ก่อนที่กุ้งจะลอกคราบจะมี

การสะสมอาหารในร่างกายมากกว่าปกติ โดยเฉพาะสารที่สร้างเปลือก เพราะหลังจากลอกคราบออกหมดแล้ว ลำตัวจะขยายใหญ่ขึ้นและเปลือกที่สร้างขึ้นมาใหม่จะต้องแข็งตัวโดยเร็วภายใน 3-8 ชั่วโมง ซึ่งการลอกคราบของกิ้งแต่ละครั้งจะอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทส่วนกลางและฮอร์โมนสองชนิดที่อยู่ในก้านตา ดังนั้นถ้ามีการตัดตาออกจะทำให้กิ้งลอกคราบได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปการลอกคราบของกิ้งจะช้าหรือเร็วนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วัยของกิ้ง อาหาร แสง และ อุณหภูมิ ซึ่งถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม กิ้งจะลอกคราบห่างกันครั้งละประมาณ 20-30 วัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันแบบชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง (Static bioassay) ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน การทดลองส่วนแรกเป็นการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในรูปสารละลายเดี่ยว ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในรูปของสารละลายผสมรวม โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังนี้

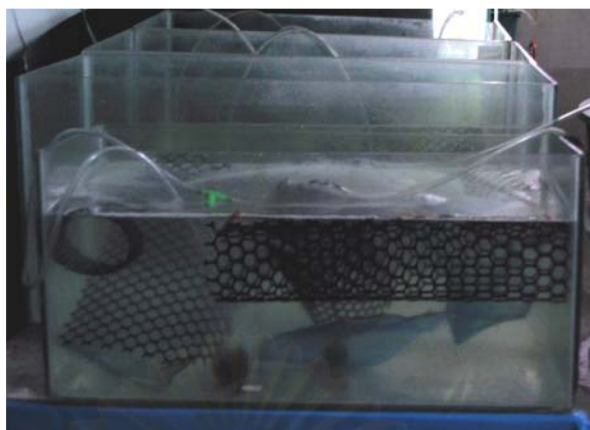
3.1 การเตรียมการทดลอง

3.1.1 สัตว์ทดลอง

สัตว์ทดลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ระยะวัยอ่อน (Postlarva) โดยนำกุ้งกุลาดำวัยอ่อนจากฟาร์มที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีอายุประมาณ 14 วัน มาเลี้ยงไว้ในตู้กระจกในโรงเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 3-1) เพื่อปรับสภาพให้ชินกับสภาพแวดล้อมที่จะใช้ในการทดลอง (Acclimation) ประมาณ 7 วัน โดยใช้น้ำทะเลความเค็ม 20 ppt ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และมีการเติมอากาศตลอดเวลา ให้น้ำเค็ม (*Artemia salina*) เป็นอาหารวันละ 3 มื้อ เช้า เที่ยงวัน เย็น และงดให้อาหารก่อนทำการทดลอง 24 ชั่วโมง โดยเลือกลูกกุ้งที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ประมาณ 1.2 – 1.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 3-2) มาใช้ในการทดลอง

3.1.2 การเตรียมน้ำทะเลสำหรับทดลอง

นำน้ำทะเลความเค็ม 120 ppt มากรองแล้วเจือจางด้วยน้ำประปาให้ได้ ความเค็ม 20 ppt นำมาพักไว้เพื่อไล่คลอรีน พร้อมทั้งเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจึงนำไปใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3-1 ลูกกุ้งที่นำมาเลี้ยงไว้ใน โรงเพาะเพื่อทำการปรับสภาพให้ชินกับสภาพแวดล้อม ก่อนนำไปทดลอง



ภาพที่ 3-2 ลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนขนาดประมาณ 1.2 – 1.5 เซนติเมตร ที่นำมาใช้ในการทดลอง

3.1.3 การเตรียมสารที่จะใช้ในการทดลอง

สารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ และสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน โดยน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ น้ำมันดิบโอมาน ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัททางจากปิโตรเลียมจำกัด มหาชน และสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ Corexit 9527 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากคลังน้ำมันคาร์ลเท็กซ์ ประเทศไทย

การเตรียมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ (Water soluble fraction, WSF)

เตรียมสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากการทดลองของ Anderson และคณะ (1974) โดยมีวิธีเตรียม ดังนี้

นำน้ำมันดิบ 1 ส่วน ผสมกับน้ำทะเลที่เตรียมไว้ 9 ส่วน ในบีกเกอร์ขนาด 5 ลิตร แล้วกวนช้าๆ ด้วย Magnetic stirrer เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ระหว่างกวนปิดปากบีกเกอร์เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมันส่วนที่ระเหยง่าย (Volatile oil) และใช้พลาสติกสีดำคลุมรอบถังเพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์โดยแสง (ภาพที่ 3-3) โดยความเร็วในการกวนที่ใช้ดูจากการปรับวงกรวย (Vertex) ของสารละลายไม่เกิน 1/4 ของความลึกของสารละลาย จากนั้นตั้งทิ้งไว้เพื่อให้แยกชั้นประมาณ 6 ชั่วโมง เพื่อให้แยกชั้นอย่างสมบูรณ์แล้วจึงดูดส่วนที่ละลายน้ำส่วนล่างไปใช้ โดยให้น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ได้นี้เป็น 100% น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ (100% WSF) จากนั้นนำไปเจือจางด้วยน้ำทะเลที่เตรียมไว้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นระดับต่างๆที่ต้องการ โดยสมการ

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- เมื่อ M_1 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเริ่มต้น (100%WSF)
 M_2 คือ ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ต้องการ
 V_1 คือ ปริมาตรของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเริ่มต้น
 V_2 คือ ปริมาตรของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ต้องการ

การเตรียมสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

สารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ใช้ทดลอง เตรียมตามวิธีของ EPA (1973) เตรียมสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยผสมสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน 1 มิลลิลิตร กับน้ำทะเลที่เตรียมไว้ 1,000 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำไปเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้นระดับต่างๆที่ต้องการ ตามสมการ (1)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ (ก) ผสมน้ำมันดิบกับน้ำทะเลที่เตรียมไว้โดยใช้ Magnetic stirrer กวนช้าๆ ให้เข้ากันเป็นเวลา 20 ชั่วโมง (ข) ระหว่างการกวนจะใช้วัสดุปิดปากถังเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมันและใช้พลาสติกสีดำคลุมรอบถังเพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์โดยแสง (ค) หลังจากกวนครบ 20 ชั่วโมง จะตั้งทิ้งไว้ประมาณ 6 ชั่วโมงเพื่อให้แยกชั้นอย่างสมบูรณ์

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำของน้ำมันดิบในการทดลองนี้ใช้วิธีเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตเมตรี (Fluorescence Spectrophotometry) (IOC, 1984 อ้างถึงใน สุจิตรา เขาวนัปรีชา, 2530) โดยใช้โครซินเป็นสารละลายมาตรฐาน เนื่องจากความเป็นพิษของน้ำมันดิบส่วนใหญ่มาจากสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ละลายน้ำได้ โดยโครซินเป็นตัวแทนของกลุ่มสารประกอบอะโรมาติกที่ละลายน้ำได้ดีและเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากที่สุด จึงให้รูปแบบของกราฟสารละลายมาตรฐานตรงกับสารตัวอย่างน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลอง โดยความเข้มข้นของน้ำมันดิบที่ได้จากกราฟมาตรฐานที่ได้จะเป็น มิลลิกรัมต่อลิตรของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TPH)

3.2.1 การเตรียมสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้น

3.2.1.1 นำตัวอย่างของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำมา ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในกรวยแยก เติมหะกษณลงไป ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงให้เข้ากันประมาณ 5 นาที แล้วแยกเอาชั้นหะกษณออกไปใส่ขวดสีขาที่เตรียมไว้

3.2.1.2 ทำการสกัดสารส่วนน้ำอีก 2 ครั้ง โดยเติมหะกษณลงไป ครั้งละ 50 มิลลิลิตร นำชั้นหะกษณที่แยกได้ใส่ขวดสีขารวมกันในขวดเดิม ปิดฝาขวดให้แน่น

3.2.1.3 กำจัดน้ำที่เหลืออยู่ในหะกษณ โดยนำไปผ่านโซเดียมซัลเฟตแห้ง ($\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{anh.}$)

3.2.1.4 นำสารละลายที่สกัดได้ไปลดปริมาตร โดยใช้เครื่องมือระเหยสารแบบลดความดัน (Rotary evaporator) จนเกือบแห้ง ละลายส่วนที่เหลืออยู่ด้วยหะกษณให้มีปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วปิดฝาให้แน่นและปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไครซีน

3.2.2.1 ชั่งไครซีน (Chrysene, $\text{C}_{18}\text{H}_{12}$) 0.01 กรัม ละลายด้วยนอร์มัลหะกษณในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานตั้งต้น (Stock standard solution) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 100 ppm

3.2.2.2 นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ มาเจือจางให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1-1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการทำกราฟมาตรฐาน (Standard calibration curve)

3.2.2.3 วัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ ที่ความยาวคลื่นเอกไซเตชัน (Excitation wavelength) 310 นาโนเมตร และความยาวคลื่นอิมิชชัน (Emission wavelength) 360 นาโนเมตร พร้อมทั้งสารตัวอย่าง

3.2.2.4 คำนวนความเข้มข้นของปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่าง ค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์ในตัวอย่างที่วัดได้ นำไปคำนวณหาปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน ดังนี้

ตัวอย่างน้ำเริ่มต้น 50 มิลลิลิตร นำมาสกัดปริมาณปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนให้อยู่
ในนอร์มัลเฮกเซน 10 มิลลิลิตร

ให้ X เป็นความเข้มข้นที่ได้จากกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างค่าความเข้ม ฟลู
ออเรสเซนซ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ไครซีน

จะได้ว่า	ในนอร์มัลเฮกเซน	1 มิลลิลิตร	มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน	X	มิลลิกรัม
	ในนอร์มัลเฮกเซน	10 มิลลิลิตร	มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน	10X	มิลลิกรัม
หรือ	ตัวอย่างน้ำเริ่มต้น	50 มิลลิลิตร	มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน	10X	มิลลิกรัม
ดังนั้น	ตัวอย่างน้ำ	1 มิลลิลิตร	มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน	<u>10X</u>	มิลลิกรัม
				50	

เครื่องมือที่ใช้คือ Fluorescence spectrometer Perkin-Elmer LS55 Luminescence
spectrometer

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การหาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัด
ครบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกิ้งกูดำวัยอ่อน

เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสาร
เคมีขจัดครบน้ำมันที่ทำให้กิ้งกูดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ของจำนวนกิ้งกูดำวัยอ่อนทั้งหมด ใน
เวลา 96 ชั่วโมง (96-h LC₅₀) ด้วยวิธีการทดสอบแบบชีววิเคราะห์น้ำนิ่ง โดยการทดลองหาความ
เป็นพิษเฉียบพลันของสารในรูปสารเดี่ยวนี้ จะดำเนินการทดลอง 2 ขั้นตอนได้แก่ การทดลอง
ขั้นต้น (Preliminary test) และ การทดลองขั้นละเอียด (Full scale test)

การทดลองขั้นต้น (Preliminary test) เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้นใน
ช่วงกว้างๆของสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดครบน้ำมันที่ทำให้กิ้งกูดำ
วัยอ่อนตายตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 100 ในเวลา 96 ชั่วโมง โดยเตรียมสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลาย
น้ำและสารเคมีขจัดครบน้ำมัน ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ 5 ระดับ และทำการเปลี่ยนความเข้มข้น
ไปเรื่อยๆ เพื่อหาช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการทดลองขั้นละเอียดต่อไป

การทดลองขั้นละเอียด (Full scale test) เป็นการทดลองเพื่อหาระดับความเข้มข้น
ของสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดครบน้ำมันที่ทำให้กิ้งกูดำวัยอ่อนตาย

ร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง โดยนำผลที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นมากำหนดความเข้มข้นของสารให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยใช้ระดับความเข้มข้น 5 ระดับ

3.3.1.1 การหาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อกึ่งกุลาดำวัยอ่อน

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นมากำหนดความเข้มข้น 5 ระดับ ที่จะใช้ในการหาระดับความเข้มข้นที่ทำให้กึ่งกุลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ของจำนวนกึ่งกุลาดำวัยอ่อนทั้งหมด ในเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งได้แก่ 0, 20.81, 27.74, 34.68 และ 41.61 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำการทดลองโดยนำสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ใส่ในโหลทดลอง แต่ละความเข้มข้นจะใส่สารละลายทั้งหมด 10 โหล ทุกโหลเติมสารละลาย 200 มิลลิลิตร และใส่กึ่งกุลาดำวัยอ่อนที่ทำการปรับสภาพให้ชินกับสภาวะแวดล้อมแล้วลงไปโหลทดลองจำนวนโหลละ 1 ตัว แต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ชุด ระหว่างการทดลองไม่มีการให้อาหารและเติมอากาศ สังเกตอาการของกึ่งกุลาดำวัยอ่อนระหว่างการทดลองและบันทึกการตายสะสมที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยตัดสินการตายเมื่อลูกกึ่งเสียการทรงตัวและนอนตะแคงอยู่บนโหล และเมื่อตรวจพบว่ามี การตายให้นำกึ่งที่ตายออกทันที

3.3.1.2 การหาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีจัดคราบน้ำมันต่อกึ่งกุลาดำวัยอ่อน

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองขึ้นต้นมากำหนดความเข้มข้น 5 ระดับ ที่จะใช้ในการหาระดับความเข้มข้นที่ทำให้กึ่งกุลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ของจำนวนกึ่งกุลาดำวัยอ่อนทั้งหมด ในเวลา 96 ชั่วโมง ซึ่งได้แก่ 0, 18, 20, 22 และ 24 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองโดยนำสารเคมีจัดคราบน้ำมันความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ใส่ในโหลทดลอง แต่ละระดับความเข้มข้นจะใส่สารละลายทั้งหมด 10 โหล ทุกโหลเติมสารละลาย 200 มิลลิลิตร และใส่กึ่งกุลาดำวัยอ่อนที่ทำการปรับสภาพให้ชินกับสภาวะแวดล้อมแล้วลงไปโหลทดลองจำนวนโหลละ 1 ตัว แต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ชุด ระหว่างการทดลองไม่มีการให้อาหารและเติมอากาศ สังเกตอาการของกึ่งกุลาดำวัยอ่อนระหว่างการทดลองและบันทึกการตายสะสมที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยตัดสินการตายเมื่อลูกกึ่งเสียการทรงตัวและนอนตะแคงอยู่บนโหล และเมื่อตรวจพบว่ามี การตายให้นำกึ่งที่ตายออกทันที

3.3.2 การหาแนวโน้มความเป็นพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันต่อกึ่งกลาดำวัยอ่อน

ดำเนินการทดลองโดยใช้สารละลายผสมของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน เพื่อทำการทดลองหาแนวโน้มความเป็นพิษของสารละลายผสม โดยนำผลที่ได้จากการทดลองหาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ทำให้กึ่งกลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง มาใช้กำหนดอัตราส่วนของสารละลายผสม

โดยรูปแบบการทดลองเป็นแบบ Completely randomize design โดยมีระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบและสารเคมีจัดการบน้ำมันเป็นปัจจัย (Factors)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาค่าความเข้มข้นที่ทำให้สิ่งมีชีวิตตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง (96h-LC₅₀) จากการทดสอบพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยโพรบิต (Probit analysis) ตามวิธีของ Finney (1971) ซึ่งจะหาค่า LC₅₀ ที่เวลาต่างๆ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และประมาณค่าระดับที่ปลอดภัย (No observed adverse effect level, NOAEL) โดยใช้วิธีการใน Sprague (1969), EPA (1984) และ Sample et al. (1996) ส่วนการทดสอบพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน จะใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Response surface analysis (Mason et al., 2003) ซึ่งจะให้ผลแนวโน้มความเป็นพิษของสารละลายผสมที่เวลาต่างๆ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การทดลองความเป็นพิษเฉียบพลันต้องทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลองและหลังทำการทดลองทุกครั้ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่

3.5.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพ

- อุณหภูมิของน้ำ วิเคราะห์โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

3.5.2 คุณภาพน้ำทางเคมี วิเคราะห์โดยวิธีตามมาตรฐานของ APHA (1995) ดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้ DO Meter ของ HANNA instrument (HI 9142)
- ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยใช้ Microcomputer pH Meter ของ HANNA instrument (HI 8424)
- ความเป็นด่างของน้ำ วิเคราะห์โดย ชุดทดสอบความเป็นด่าง (Total Alkalinity Test Kit) ของ AQUA-VBC
- ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดย ชุดทดสอบแอมโมเนียม (Ammonium Test Kit) ของ AQUA-VBC
- ปริมาณไนไตรท์ที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดย ชุดทดสอบไนไตรท์ (Nitrite Test Kit) ของ AQUA-VBC
- ปริมาณไนเตรทที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดยวิธี UV Spectrophotometric Screening Method
- ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ วิเคราะห์โดยวิธี Ascorbic Acid Method

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

การศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำระยะ Postlarva (P_{20}) ขนาด 1.2 - 1.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 ppt ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

การทดลองหาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบ โดยใช้น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ที่ระดับความเข้มข้น 0, 20.81, 27.74, 34.68 และ 41.61 ไมโครกรัมต่อลิตร ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันดิบเพิ่มขึ้น อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ลูกกุ้งเริ่มมีการตายที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ 27.74 ไมโครกรัมต่อลิตร ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด และระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ทำให้กุ้งกุลาดำวัยอ่อน ตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง คำนวณโดย Probit analysis เท่ากับ 32.93 ไมโครกรัมต่อลิตร ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด โดยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% มีค่าระหว่าง 29.16-38.40 ไมโครกรัมต่อลิตร ของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

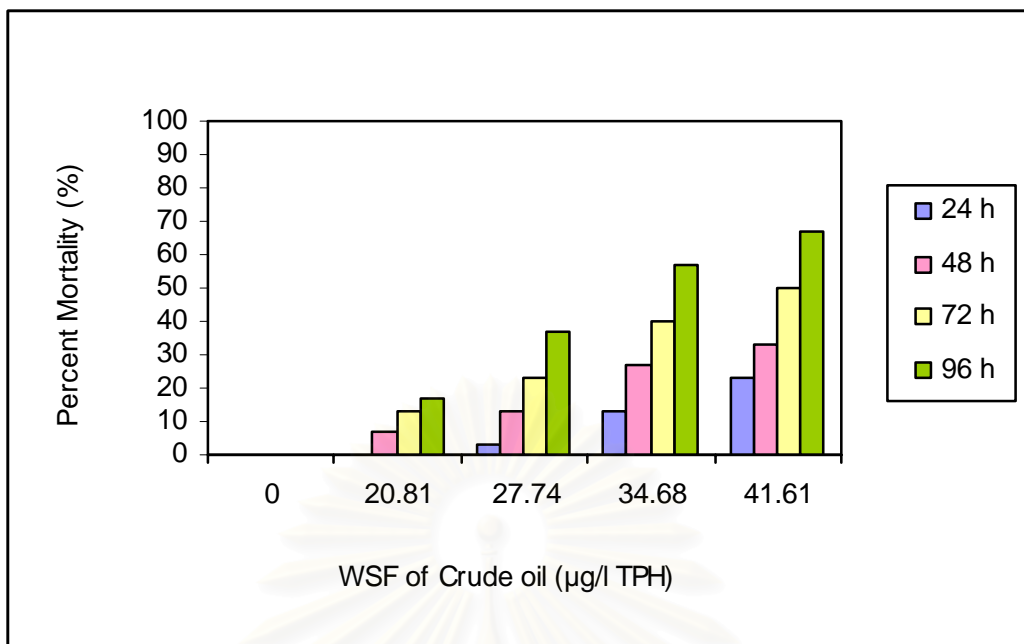
ตารางที่ 4-1 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$ TPH)	จำนวน (ตัว)	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลาต่างๆ (%)			
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	30	0	0	0	0
20.81	30	0 \pm 0	6.67 \pm 5.77	13.33 \pm 11.55	16.67 \pm 5.77
27.74	30	3.33 \pm 5.77	13.33 \pm 5.77	23.33 \pm 5.77	36.67 \pm 5.77
34.68	30	13.33 \pm 5.77	26.67 \pm 5.77	40.00 \pm 10.00	56.67 \pm 5.77
41.61	30	23.33 \pm 5.77	33.33 \pm 5.77	50.00 \pm 10.00	66.67 \pm 5.77
ค่า LC ₅₀ ที่เวลา 96 ชั่วโมง		32.93 μg / l TPH			
ช่วงความเชื่อมั่น 95%		29.16-38.40 μg /l TPH			

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ได้รับสาร (ภาพที่ 4-1) เมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่ทำให้กิ้งกูดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 (LC₅₀) โดย Probit analysis จะได้ค่า LC₅₀ ที่เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ (μg /l TPH) ที่ทำให้กิ้งกูดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)
24	52.55 (43.27-111.20)
48	51.71 (41.46-165.54)
72	41.39 (35.63-63.07)
96	32.93 (29.16-38.40)



ภาพที่ 4-1 อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ
ความเข้มข้นต่างๆที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

4.1.2 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

การทดลองหาความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ระดับความเข้มข้น 0, 18, 20, 22 และ 24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนมีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จะเริ่มมีการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในทุกๆระดับความเข้มข้น และระดับความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ทำให้กุ้งกุลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง คำนวณ โดย Probit analysis เท่ากับ 20.83 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% มีค่าระหว่าง 19.86 - 22.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

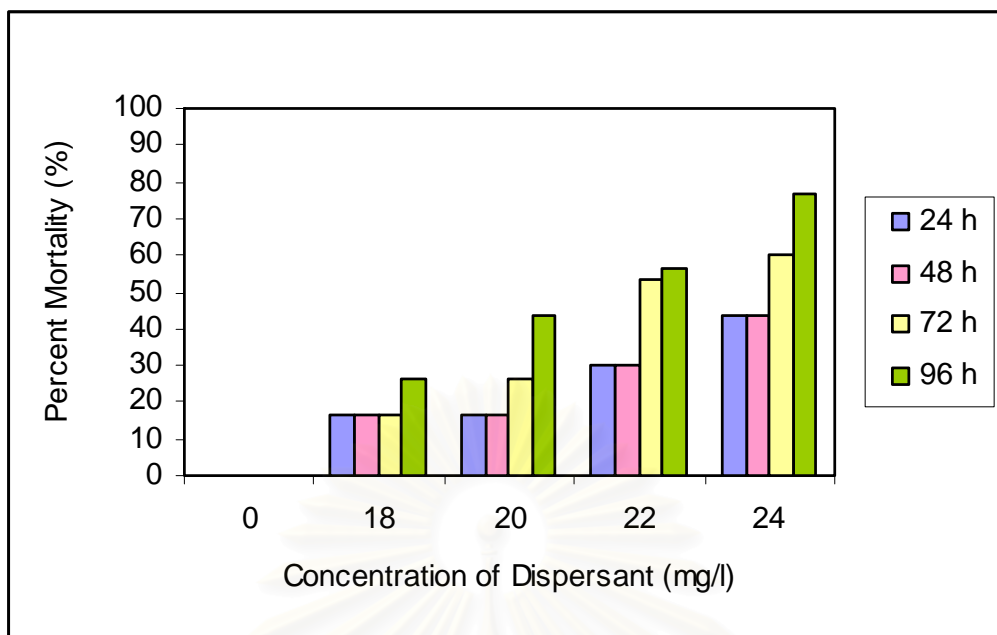
ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของ สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (mg/l)	จำนวน (ตัว)	เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลาต่างๆ (%)			
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	30	0	0	0	0
18	30	6.67±5.77	16.67±11.55	16.67±11.55	26.67±11.55
20	30	13.33±5.77	16.67±11.55	26.67±11.55	43.33±5.77
22	30	26.67±11.55	30.00±10.00	50.00±5.28	56.67±11.55
24	30	26.67±11.55	43.33±5.77	60.00±10.00	76.67±20.82
ค่า LC ₅₀ ที่เวลา 96 ชั่วโมง		20.83 mg/l			
ช่วงความเชื่อมั่น 95%		19.86 - 22.03 mg/l			

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของ สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่า การตายสะสมของกิ้งกูดำ วัยอ่อนจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ได้รับสาร (ภาพที่ 4-2) โดยเมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่ทำให้ กิ้งกูดำวัยอ่อน ตายร้อยละ 50 (LC₅₀) โดย Probit analysis จะได้ค่า LC₅₀ ที่เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l) ที่ทำให้กิ้งกูดำวัยอ่อนตาย ร้อยละ 50 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ค่า LC ₅₀ (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)
24	27.88 (24.61-48.59)
48	26.80 (23.87-42.42)
72	22.58 (21.34-24.88)
96	20.83 (19.86-22.03)



ภาพที่ 4-2 อัตราการตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน
ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน

ดำเนินการทดลองโดยใช้สารละลายผสมของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน เพื่อทำการทดลองหาแนวโน้มความเป็นพิษของสารละลายผสม โดยนำผลที่ได้จากการทดลองหาความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่ระดับความเข้มข้นต่างๆทุกระดับความเข้มข้นซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ทำให้กุ้งกุลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง มาใช้กำหนดอัตราส่วนของสารละลายผสม ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของสารละลายผสมที่อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมรวม (น้ำมันดิบ: สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน)

Crude oil ($\mu\text{g/l}$ TPH)	Dispersant (mg/l)			
	18	20	22	24
13.87	13.87:18	13.87:20	13.87:22	13.87:24
20.81	20.81:18	20.81:20	20.81:22	20.81:24
27.74	27.74:18	27.74:20	27.74:22	27.74:24
34.68	34.68:18	34.68:20	34.68:22	34.68:24

ผลการทดลอง (ดังแสดงในตารางที่ 4-6) พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายผสมจะเริ่มพบการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในหน่วยทดลอง และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายผสมของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาที่ได้รับสารเพิ่มขึ้น อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในสารละลายผสมก็จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับสาร

ตารางที่ 4-6 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น		เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลา ต่างๆ (%)			
น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH)	สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l)	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	0	0	0	0	0
13.87	18	3.33 \pm 5.77	13.33 \pm 5.77	16.67 \pm 5.77	30.00 \pm 0.00
13.87	20	10.00 \pm 0.00	20.00 \pm 10.00	30.00 \pm 10.00	36.67 \pm 5.77
13.87	22	20.00 \pm 0.00	40.00 \pm 10.00	43.33 \pm 11.55	56.67 \pm 5.77
13.87	24	20.00 \pm 10.00	43.33 \pm 5.77	53.33 \pm 5.77	63.33 \pm 5.77
20.81	18	16.67 \pm 5.77	33.33 \pm 11.55	40.00 \pm 10.00	50.00 \pm 0.00
20.81	20	20.00 \pm 10.00	43.33 \pm 11.55	50.00 \pm 0.00	60.00 \pm 0.00
20.81	22	30.00 \pm 0.00	46.67 \pm 5.77	53.33 \pm 5.77	60.00 \pm 0.00
20.81	24	36.67 \pm 5.77	53.33 \pm 5.77	63.33 \pm 11.55	70.00 \pm 0.00
27.74	18	30.00 \pm 10.00	43.33 \pm 5.77	60.00 \pm 10.00	70.00 \pm 0.00
27.74	20	43.33 \pm 5.77	53.33 \pm 5.77	70.00 \pm 0.00	70.00 \pm 0.00
27.74	22	46.67 \pm 5.77	60.00 \pm 0.00	70.00 \pm 0.00	76.67 \pm 5.77
27.74	24	50.00 \pm 0.00	66.67 \pm 5.77	76.67 \pm 5.77	80.00 \pm 0.00
34.68	18	46.67 \pm 5.77	56.67 \pm 5.77	60.00 \pm 0.00	73.33 \pm 5.77
34.68	20	50.00 \pm 0.00	66.67 \pm 5.77	70.00 \pm 10.00	76.67 \pm 5.77
34.68	22	63.33 \pm 5.77	73.33 \pm 5.77	83.33 \pm 11.55	86.67 \pm 5.77
34.68	24	66.67 \pm 5.77	80.00 \pm 0.00	83.33 \pm 5.77	96.67 \pm 5.77

ผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาความเป็นพิษของสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ด้วย Response surface analysis (Mason et al., 2003) โดยหาความสัมพันธ์ของความเป็นพิษของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ได้ดังสมการ (1) - (4) ซึ่งสามารถสร้างกราฟแสดงอัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ความเข้มข้นระดับต่างๆของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมซึ่งมีลักษณะเป็น กราฟ Contour (ภาพที่ 4-3) และกราฟสามมิติ (ภาพที่ 4-4)

$$M_{24} = -160.75000 + 1.178571 \text{ OIL} + 11.500000 \text{ DISP} + 0.008503 \text{ OIL}^2 + 0.023810 \text{ DISP} * \text{OIL} - 0.208333 \text{ DISP}^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$r^2 = 0.9195$$

$$M_{48} = -234.25000 + 3.767857 \text{ OIL} + 16.520833 \text{ DISP} - 0.012755 \text{ OIL}^2 - 0.059524 \text{ DISP} * \text{OIL} - 0.260417 \text{ DISP}^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$r^2 = 0.8828$$

$$M_{72} = -271.30000 + 6.751190 \text{ OIL} + 17.570833 \text{ DISP} - 0.055272 \text{ OIL}^2 - 0.102381 \text{ DISP} * \text{OIL} - 0.260417 \text{ DISP}^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$r^2 = 0.8599$$

$$M_{96} = -51.300000 + 4.965476 \text{ OIL} - 0.345833 \text{ DISP} - 0.021259 \text{ OIL}^2 - 0.102381 \text{ DISP} * \text{OIL} + 0.156250 \text{ DISP}^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$r^2 = 0.9160$$

M_{24} = อัตราการตายที่เวลา 24 ชั่วโมง

M_{48} = อัตราการตายที่เวลา 48 ชั่วโมง

M_{72} = อัตราการตายที่เวลา 72 ชั่วโมง

M_{96} = อัตราการตายที่เวลา 96 ชั่วโมง

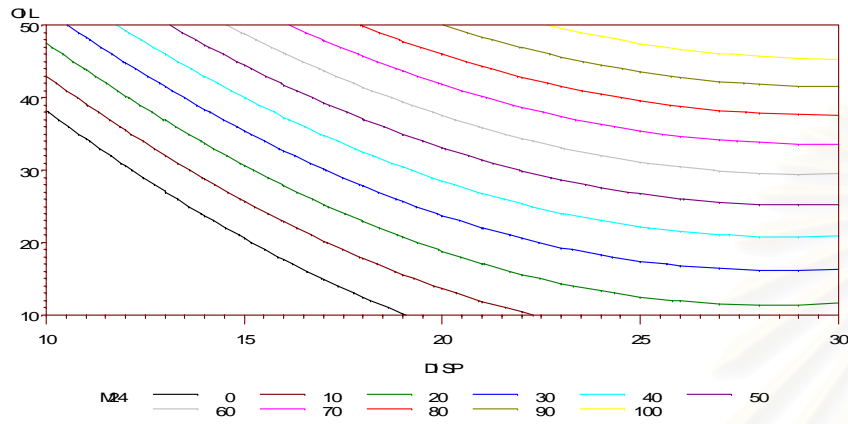
OIL = ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH)

DISP = ความเข้มข้นของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l)

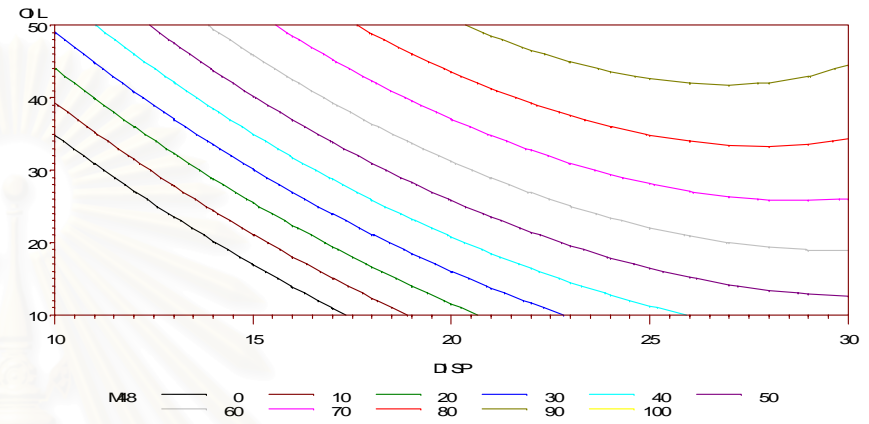
ภายหลังจากที่กึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนได้รับสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเริ่มมีการตายของกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนที่ทุกอัตราส่วนของสารละลายผสม จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่า ทั้งน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันมีผลต่ออัตราการตายสะสมของกึ่ง โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อัตราการตายสะสมจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงเวลา ตั้งแต่ 24 ชั่วโมง จนถึง 96 ชั่วโมง ส่วนปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในสารละลายผสมร่วม พบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมง ปฏิสัมพันธ์เป็นแบบเสริมพิชกัน เนื่องจากทุกอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองมีผลทำให้กึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนตายมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในสารละลายเพียงชนิดเดียว และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีจัดการบน้ำมันในสารละลายผสมร่วมจะมีผลทำให้น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำมีความเป็นพิษของต่อกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนมากขึ้น ซึ่ง หลังจาก 24 ชั่วโมง ปฏิสัมพันธ์ของสารละลายผสมร่วมจะเป็นแบบไม่เพิ่มความเข้มข้นเป็นพิชกัน (No additive effect) การตายสะสมของกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนจะมาจากความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน และจากผลการทดลองยังพบว่า นอกจากความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ สารเคมีจัดการบน้ำมัน และปฏิสัมพันธ์ของสารละลายผสมร่วมแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆเข้ามามีส่วนร่วมต่ออัตราการตายของกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นได้แก่ ระยะเวลาที่ได้รับสาร เป็นต้น

4.3 ระดับที่ปลอดภัยของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมัน

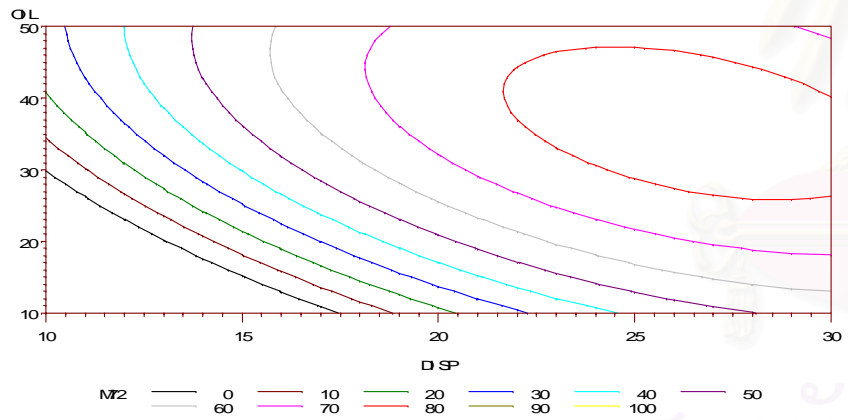
จากผลการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน สามารถหาระดับความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อนได้โดย นำค่าที่ความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง ที่ได้จากการทดลองไปหารค่า Safety factor หรือ Uncertainty factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 (EPA, 1984; Sample et al., 1996) พบว่า ค่าระดับที่ปลอดภัย (NOAEL) ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันต่อกึ่งกลูตาดีอ์ยอ่อน ในสภาพสารละลายเดี่ยวเท่ากับ 0.33 ไมโครกรัมต่อลิตร ของปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด และ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าระดับที่ปลอดภัยของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในสภาพสารละลายผสมนั้นไม่สามารถหาความเข้มข้นที่แน่นอนได้ เนื่องจากความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง นั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการบน้ำมันในสารละลายผสม



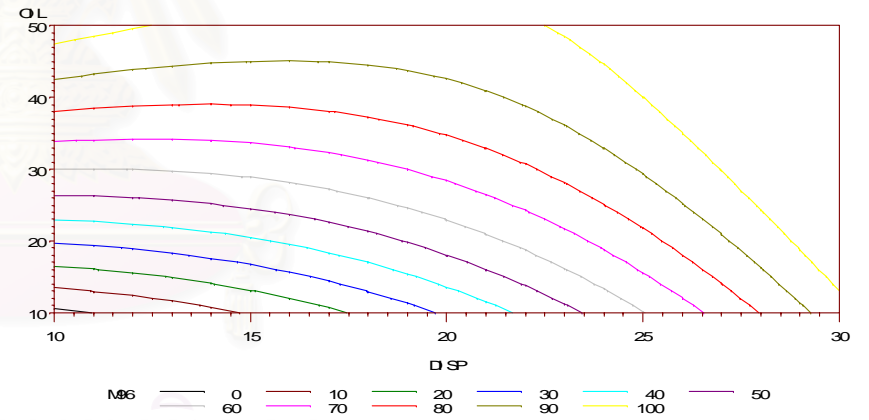
(ก)



(ข)

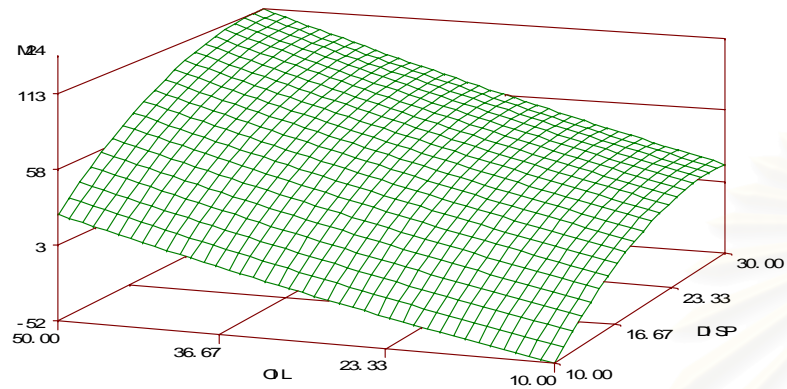


(ค)

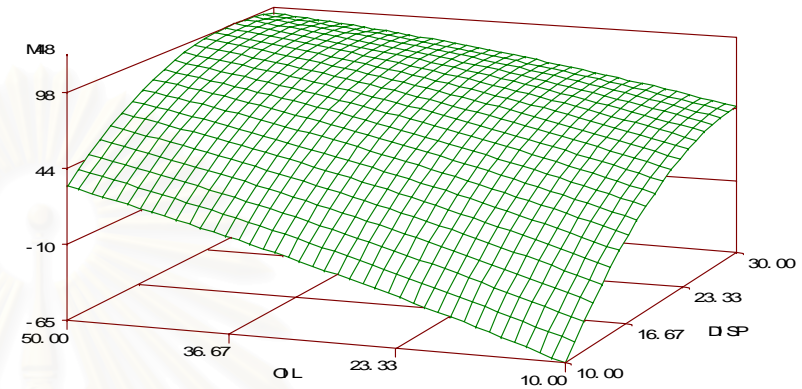


(ง)

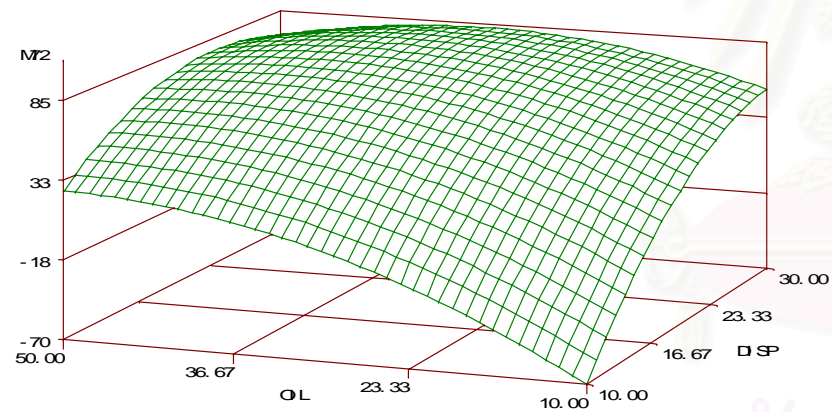
รูปที่ 4-3 อัตราการตายสะสมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ได้รับสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดการน้ำมัน ที่เวลาต่างๆ
 (ก) 24 ชั่วโมง (ข) 48 ชั่วโมง (ค) 72 ชั่วโมง และ (ง) 96 ชั่วโมง



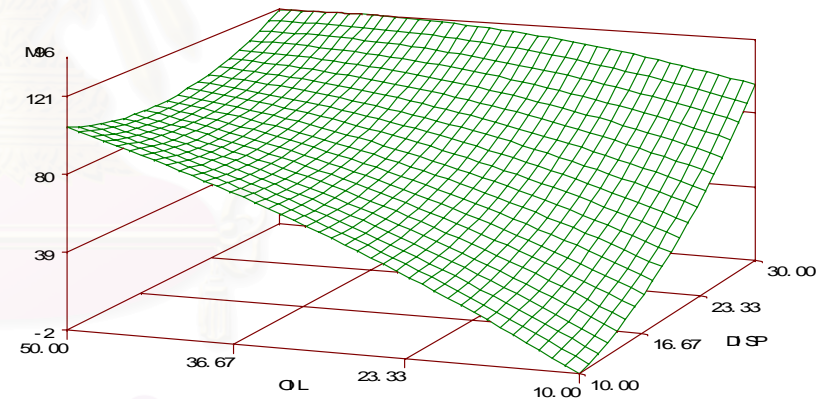
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4-4 ปฏิสัมพันธ์ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมรวม ต่ออัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน ที่เวลาต่างๆ
 (ก) 24 ชั่วโมง (ข) 48 ชั่วโมง (ค) 72 ชั่วโมง และ (ง) 96 ชั่วโมง

4.4 พฤติกรรมของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนเมื่อได้รับสารพิษ

ระหว่างการทดลอง สังเกตลักษณะและอาการของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ตอบสนองต่อสารพิษ และบันทึกการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยตัดสินการตายเมื่อลูกกุ้งเสียการทรงตัวและนอนตะแคงอยู่ก้นภาชนะ และเมื่อตรวจพบว่าการตายให้นำกุ้งที่ตายออกทันที

จากการสังเกต พบว่า ลักษณะอาการของกุ้งที่ตอบสนองต่อน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดคราบน้ำมันมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ เมื่อเริ่มปล่อยกุ้งลงไปในห้องทดลองที่มีสารอยู่กุ้งจะว่ายน้ำด้วยความเร็วผิดปกติ โดยจะว่ายเข้าหาอากาศที่บริเวณผิวน้ำ จากนั้นจะลงไปเกาะนิ่งอยู่บริเวณก้นโหล โดยโหลที่สารมีความเข้มข้นสูงกว่าจะแสดงอาการทันที หลังจากนั้นกุ้งจะมีการว่ายน้ำผิดปกติ เสียการทรงตัว จะว่ายน้ำหมุน แล้วค่อยๆ ทยอยลงไปนอนที่ก้นโหล การเคลื่อนไหวของกุ้งจะช้าลงและตายในที่สุด

4.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

ในการทดลองพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ สารเคมีจัดคราบน้ำมัน และสารละลายผสม คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

พารามิเตอร์	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง
อุณหภูมิ (°C)	28±1	28±1
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	7.83-8.25	7.62-8.30
ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l)	6.0-6.7	3.5-6.0
ความเป็นต่างของน้ำ	80-90	80-100
ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ (mg/l)	0	0.25-0.50
ปริมาณไนไตรท์ที่ละลายในน้ำ (mg/l)	0-0.05	0.05-0.25
ปริมาณไนเตรทที่ละลายในน้ำ (mg/l)	0.82	1.52-1.81
ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ (mg/l)	0.25	0.25-0.50

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองพบว่า คุณภาพน้ำหลังการทดลองมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากคุณภาพน้ำก่อนการทดลองไม่มาก โดยค่าความเค็มและอุณหภูมิของน้ำคงที่ตลอดเวลา ค่าความเป็นกรดเป็นด่างค่อนข้างคงที่ ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลงทุกชุดการทดลองรวมถึงชุดควบคุม ค่า Alkalinity ระหว่างการทดลองของแต่ละชุดการทดลองมีค่าค่อนข้างคงที่ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำระหว่างการทดลองเพิ่มขึ้นจากน้ำก่อนทดลองเล็กน้อย เนื่องจากการขับถ่ายของสัตว์ทดลอง ปริมาณไนโตรัส ไนเตรท และฟอสเฟตมีการเปลี่ยนแปลงจากก่อนทดลองเล็กน้อย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า คุณภาพน้ำระหว่างการทดลองยังอยู่ในช่วงที่สัตว์ทดลองสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย ดังนั้นคุณภาพของน้ำตลอด การทดลองจึงไม่น่าจะมีผลต่อการตายของสัตว์ทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบโอมานส่วนที่ละลายน้ำต่อกุ้งกุลาดำในระยะ Postlarva (P_{20}) พบว่า ความเข้มข้นของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำที่ทำให้กุ้งกุลาดำวัยอ่อนตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง (96-h LC_{50}) มีค่าเท่ากับ 32.93 (29.16-38.40) ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ ที่ผ่านมา พบว่าผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้มีค่าความเป็นพิษสูงกว่าการศึกษาอื่น ๆ โดย ค่า 96-h LC_{50} ของ น้ำมันดิบ South Louisiana ต่อ *Palaemonetes pugio* และ *Penaeus aztecus* (ระยะ Postlarva) มีค่าใกล้เคียงกัน คือ >19.8 มิลลิกรัมต่อลิตร (Anderson et al., 1974), ใน *Litopenaeus setiferus* (ระยะ Juvenile) เท่ากับ 6.49 มิลลิกรัมต่อลิตร (Bo Liu, 2003) ค่า 96-h LC_{50} ของ น้ำมันดิบ Kuwait ต่อ *Palaemonetes pugio* และ *Penaeus aztecus* (ระยะ Postlarva) มีค่าใกล้เคียงกัน คือ > 10.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Anderson et al., 1974) ค่า 96-h LC_{50} ของ น้ำมันดิบ Venezuela ต่อ *Homarus americanus* (ระยะ Larva) เท่ากับ 0.86-4.90 มิลลิกรัมต่อลิตร (Well and Sprague, 1976) ค่า 96-h LC_{50} ของน้ำมันดิบ Cook inlet ต่อ *Pandulus hypsinotus* (ระยะ Juvenile) เท่ากับ 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแบบน้ำนิ่ง (Rice et al., 1979) และ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองแบบน้ำไหล (Moles, 1998) ค่า 96-h LC_{50} ของน้ำมันดิบที่เก็บจากชายฝั่ง California ต่อ *Mysitlopsis bathia* (ระยะ Larva) เท่ากับ 1.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (Barron et al., 1999) ค่า 96-h LC_{50} ของน้ำมันดิบ Alaskan north slope ต่อ *Litopenaeus setiferus* (ระยะ Juvenile) เท่ากับ 6.59 มิลลิกรัมต่อลิตร (Bo Liu, 2003) ค่า 96-h LC_{50} ของน้ำมันดิบ Arabian light ต่อ *Penaeus merguien* ระยะ Larva เท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะ Juvenile ที่อุณหภูมิ 23, 28 และ 32 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.54, 0.078 และ 0.74 มิลลิกรัมต่อลิตร (มนัส เพ็ชรทองคำ, 2522) ค่า 96-h LC_{50} ของน้ำมันดิบ Dubai ต่อ *Penaeus monodon* (ระยะ Juvenile) เท่ากับ 0.35-0.74 มิลลิกรัมต่อลิตร (ศิริกานต์ นิเทศวรวิทย์, 2533), 81.548 (ความเค็ม 14 ppt), 13.555 (ความเค็ม 21 ppt), 40.651 (ความเค็ม 28 ppt) และ 80.054 (ความเค็ม 32 ppt) มิลลิกรัมต่อลิตร (วรวรรณ สุกระฤกษ์, 2542)

ความเป็นพิษที่ได้ในการทดลองครั้งนี้สูงกว่าการศึกษาอื่นๆ อาจเนื่องมาจากที่ใช้ในการทดลองเป็นคนละชนิดกัน และกึ่งกลูคาล์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีอายุน้อย ความต้านทานต่อพิษจึงต่ำ นอกจากนี้ น้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นคนละชนิดกัน ความเป็นพิษที่ได้จึงต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษนั้นจะมาจากสัตว์ทดลองได้แก่ ชนิด อายุ ขนาด และสุขภาพ ของสัตว์ รวมถึงชนิดของน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากน้ำมันดิบคนละชนิดกันองค์ประกอบที่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำจะแตกต่างกัน (Anderson et al, 1974) อุณหภูมิ และความเค็ม ก็มีผลต่อความเป็นพิษ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะทำให้ความเป็นพิษของน้ำมันดิบเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืด การละลาย และการคงอยู่ของน้ำมันในน้ำ (Rice et al, 1977) โดยเมื่ออุณหภูมิสูง ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตจะสูงเนื่องจากสาร Aromatic hydrocarbon ละลายน้ำได้มากขึ้น และสัตว์ทดลองจะมี Metabolism และ Activity เพิ่มขึ้น (Neff and Anderson, 1981) นอกจากอุณหภูมิแล้ว ความเค็มก็มีผลต่อความเป็นพิษของน้ำมันดิบ เนื่องจากในน้ำที่มีความเค็มสูงน้ำมันดิบสามารถละลายในน้ำได้น้อย ความเป็นพิษของน้ำมันดิบจึงต่ำ (Percy and Mulline, 1977; Shaw, 1977) นอกจากนี้ความแตกต่างของผลการทดลองอาจเกิดจากวิธีที่ใช้ในการทดลอง โดย ค่า LC₅₀ ที่ได้จากการทดลองแบบสภาวะน้ำนิ่ง จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองแบบน้ำไหล เนื่องจากสารพวก Aromatic hydrocarbon ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นพิษระเหยไประหว่างการทดลอง (Anderson et al., 1974; Rice et al., 1977)

กึ่งกลูคาล์วัยอ่อนที่ได้รับสารละลายน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำจะมีลักษณะอาการของการขาดออกซิเจน คือ จะว่ายน้ำและเคลื่อนไหวเร็วกว่าปกติ และจะว่ายน้ำหาฟองอากาศที่บริเวณผิวน้ำ เนื่องจากน้ำมันดิบที่กระจายเป็นหยดเล็กๆ ในมวลน้ำ จะไปเกาะที่ซี่เหงือกทำให้สูญเสียการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน (Singer et al, 1994; Bo Liu, 2003) หลังจากนั้นกึ่งจะเสียชีวิต ว่ายน้ำวนไปมา แล้วค่อยๆ ทยอยลงไปนอนที่ก้นโหล และตายในที่สุด ซึ่ง Duffus (1982) ได้อธิบายว่า ในน้ำมันดิบมีกลุ่มสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งเป็นพวกที่มีความเป็นพิษสูงและละลายน้ำได้ดี จะไปยับยั้งการสร้างเม็ดเลือด มีผลต่อระบบหายใจ และกระตุ้นหรือกดประสาทส่วนกลาง ซึ่งทำให้สัตว์ขาดออกซิเจน และเสียชีวิต รวมทั้งกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งทำให้สัตว์สลบหรือเกิดอาการมึนงงและตายได้

2. พิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยวต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 ต่อกุ้งกุลาดำ ในระยะ Postlarva (P₂₀) พบว่า ความเข้มข้นของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันที่ทำให้กุ้งกุลาดำวัยอ่อน ตายร้อยละ 50 ในเวลา 96 ชั่วโมง (96-h LC₅₀) มีค่าเท่ากับ 20.83 (19.86-22.03) มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันต่อพวก Crustacean ที่ผ่านมา พบว่า ค่าความเป็นพิษที่ได้มีค่าแตกต่างกันออกไป โดยในการศึกษาความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่า 96-h LC₅₀ ของ Corexit 9527 ต่อ *Penaeus monodon* เท่ากับ 35-45 มิลลิกรัมต่อลิตร (Fucik et al., 1995) และ ค่า 96-h LC₅₀ ต่อกุ้งระยะ P-11 P-20 และ P-29 เท่ากับ 1.46, 34.42 และ 39.14 มิลลิกรัมต่อลิตร (นิภาวรรณ บุศราวิศ, 2540), ใน *Penaeus vannamei* และ *Penaeus setiferus* เท่ากับ 35-46 และ 11.9 มิลลิกรัมต่อลิตร (Fucik et al., 1995), ใน *Palaemonetes pugio* ที่อุณหภูมิ 17 และ 27 องศาเซลเซียสเท่ากับ 840 และ 640 มิลลิกรัมต่อลิตร (NRC, 1989), ใน *Mysidopsis bahia* เท่ากับ 29.2 (19-34) มิลลิกรัมต่อลิตร (Pace and Clark, 1993; George-Ares et al., 1999), ใน *Holmesimysis costata* เท่ากับ 2.4-10.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Pace and Clark, 1993), 4.3-7.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Singer et al., 1990) และ 15.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Coelho and Aurand, 1996) สำหรับการศึกษาพิษเฉียบพลันในสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันชนิดอื่นนั้น พบว่า 96-h LC₅₀ ของ Corexit 9500 ต่อ *Penaeus monodon* เท่ากับ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร (MFRI, 1998), ใน *Litopenaeus setiferus* เท่ากับ 31.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Bo Liu, 2003) และค่า 48-h LC₅₀ ต่อ *Mysidopsis bahia* เท่ากับ 32.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ITS, 1995), ค่า 96-h LC₅₀ ของ Noble superdispersant-25 ต่อ *Penaeus monodon* ระยะ P-11 P-20 และ P-29 เท่ากับ 2.16, <32 และ 38.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (นิภาวรรณ บุศราวิศ, 2540) และค่า 96-h LC₅₀ ของ OD4000 ต่อ *Penaeus monodon* เท่ากับ 4.97 มิลลิกรัมต่อลิตร (สมควร ไช้แก้ว, 2544)

จะเห็นว่าผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าความเป็นพิษอยู่ระหว่างพิสัยของความเป็นพิษในสัตว์กลุ่ม Crustacean ด้วยกัน โดยความแตกต่างของความเป็นพิษต่อสัตว์จะขึ้นกับ ชนิด อายุ ของสัตว์ทดลอง และชนิดของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน ซึ่งความเป็นพิษของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันนั้นมาจากองค์ประกอบของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน ได้แก่ตัวทำละลาย และสารลดแรงตึงผิว ที่เป็นองค์ประกอบหลัก รวมถึงสารประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน ได้แก่ Heavy metals, Cyanide และ Chlorinated hydrocarbon ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าสารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความเป็นพิษอยู่ในระดับปานกลาง (Moderate toxicity) ซึ่ง George Ares และ Clark (2000) รายงานว่า การที่สารเคมีกำจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในระดับปานกลางนั้น เนื่องจาก Corexit 9527 ประกอบไปด้วยตัวทำละลาย Ethylene glycol monobutyl ether (EPA, 2004) และยังมีสารลดแรงตึงผิว Nonionic

surfactants (Ethoxylated sorbitan monooleate, Ethoxylated sorbitan trioleate, sorbitan monooleate) และ Anionic surfactant (Sodium dioctyl sulfosuccinate) ความเป็นพิษจึงต่ำกว่า สารเคมีขจัดคราบน้ำมันที่มีตัวทำละลายเป็นสารพวก Aromatic hydrocarbon (Wells et al., 1985; NRC, 1989) ซึ่งสารลดแรงตึงผิวก็สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษได้ โดยความเป็นพิษจะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งได้แก่การจับตัวกันของ Ethylene oxide และ Alkyl phenolic (Dodd, 1974) ดังนั้นสารเคมีขจัดคราบน้ำมันแต่ละชนิดจึงมีความเป็นพิษแตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบในสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน นอกจากนี้ความเป็นพิษยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ชนิด ขนาด และอายุของสัตว์ทดลอง รวมถึงสถานะในการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ และความเค็ม เช่นเดียวกับในน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ

อาการของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนที่ได้รับสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีลักษณะอาการเช่นเดียวกับในน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ คือ ขาดออกซิเจนโดยจะว่ายน้ำและเคลื่อนไหวเร็วกว่าปกติ และจะว่ายน้ำหาฟองอากาศที่บริเวณผิวน้ำ เนื่องจาก Surfactant ในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะไปลดแรงตึงผิวระหว่างเซลล์เยื่อหุ้มที่เหงือก ทำให้เกิดการบวมน้ำของเยื่อหุ้ม ส่งผลต่อการควบคุมการซึมผ่านของสารที่อยู่รอบๆ ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง ขาดออกซิเจน จนกระทั่งสลบและตายได้ (Singer et al, 1994) นอกจากนี้โลหะหนักซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะมีผลต่อการหายใจเช่นเดียวกัน โดย Clark (1992) อธิบายว่า โลหะหนักส่วนใหญ่มีผลทำให้เกิดการบวมน้ำ การอักเสบ และการลอกหลุดของเซลล์ Epithelium ในเหงือก ทำให้การควบคุมการซึมผ่านสารของเซลล์เหงือกลดลง ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและทำให้สูญเสียเกลือแร่ในร่างกาย

3. พิษเฉียบพลันของสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันพบว่า น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีปฏิสัมพันธ์แบบไม่เพิ่มความเป็นพิษกัน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Long และ Holdway (2001) พบว่า สารละลายผสมน้ำมันดิบ Bass strait ส่วนที่ละลายน้ำกับ Corexit 9527 ที่อัตราส่วน 50:1 ต่อ *Octopus pallidus* ที่เพิ่งฟักออกจากไข่ มีความเป็นพิษไม่มากกว่าน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพียงชนิดเดียว Fucik และคณะ (1995) พบว่า สารละลายผสมของน้ำมัน Gulf of Mexico กับ Corexit 9527 ต่อ ปลาทะเลและพวก Invertebrate 7 ชนิด มีความเป็นพิษไม่มากไปกว่าน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ถึงแม้ว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะทำให้ความเข้มข้นของปริมาณปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น แต่ก็มีบางการศึกษาที่ให้ผลต่างจากการศึกษารุ่นนี้ เช่น Singer et al. (1998) พบว่า สารละลายผสมน้ำมันดิบ Prudhoe bay กับ Corexit 9527 ที่อัตราส่วน 50:1 ต่อ Mysid

shrimp (*Mysitlopsis bathia*) มีความเป็นพิษมากกว่าน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพียงชนิดเดียว Lockhart และคณะ (1996) พบว่า สารละลายผสมน้ำมันดิบ Norman wells กับ Corexit 9527 ที่อัตราส่วน 50:1 ต่อ Rainbow trout (*Salmo gairdneri*) มีความเป็นพิษมากกว่าน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำเพียงชนิดเดียว Wells และ Harris (1980) ศึกษาความเป็นพิษของน้ำมัน สารเคมีขจัดคราบ น้ำมัน และสารละลายผสมต่อปลาในเขต Arctic พบว่าความเป็นพิษของสารละลายผสมมีปฏิสัมพันธ์แบบพิษรวมกัน (Additive effect) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bo Liu (2003) ศึกษาพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบ South Louisiana กับ Corexit 9500 และ น้ำมันดิบ Alaskan north slope กับ Corexit 9500 ที่อัตราส่วน 20:1 ต่อ White shrimp (*Litopenaeus setiferus*) และ Gulf killifish (*Fundulus grandis*) ระยะ Juvenile พบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันแบบพิษรวมกัน (Additive effect) ใน *Litopenaeus setiferus* และ แบบต้านพิษกัน (Antagonistic effect) ใน *Fundulus grandis* โดย Anderson และคณะ (1974) อธิบายว่า พิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำส่วนใหญ่มาจากพวก Aromatic hydrocarbon ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ Monocyclic Aromatic Hydrocarbon มากกว่า PAH_s ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อทำการเติมสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะเป็นการไปเพิ่ม PAH_s จึงไม่ทำให้ความเป็นพิษเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม บางงานวิจัยก็ให้ผลว่าสารเคมีขจัดคราบน้ำมันจะทำให้ความเป็นพิษของน้ำมันในน้ำสูงขึ้น เนื่องจากจะทำให้ความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น (Mackay et al., 1982; Peakall et al., 1987; NRC, 1989) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันดิบแต่ละชนิด ซึ่งในการศึกษารุ่นนี้ พบว่าปฏิสัมพันธ์ของสารละลายผสมร่วมเป็นแบบไม่เพิ่มความเป็นพิษกัน อาจเนื่องมาจากการทดลองครั้งนี้ทำการทดลองโดยผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำกับสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ไม่ใช่การผสมระหว่างน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพื่อให้น้ำมันละลายน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นจึงไม่น่ามีผลต่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำ และโอกาสที่จะทำให้น้ำมันกระจายไปเกาะที่ซึ่งเหวี่ยงออกไปได้น้อย ดังนั้นจึงไม่ทำให้ความเป็นพิษของสารละลายผสมรวมมากกว่าความเป็นพิษของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยว โดยความเป็นพิษของสารละลายผสมร่วมมาจากความเข้มข้นและองค์ประกอบของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสมร่วม นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของสารละลายผสมยังมาจากชนิด อายุ และขนาด ของสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงสภาวะที่ใช้ในการทดลอง เช่น อุณหภูมิ (Rice et al., 1977; Neff and Anderson, 1981) และ ความเค็ม (Percy and Mulline, 1977; Shaw, 1977)

4. คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

ในการทดลองหาความเป็นพิษของสารต่อสิ่งมีชีวิต คุณภาพน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตายของสัตว์ทดลอง ซึ่งการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ไม่ให้อากาศ และอาหาร ตลอดการทดลอง เป็นเวลา 4 วัน และเนื่องจากกึ่งกลุลาตัวอ่อนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง คุณภาพน้ำระหว่างทำการทดลองจึงเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยอุณหภูมิจะคงที่ตลอดการทดลอง คือ 28 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำหลังการทดลอง พบว่ามีค่าลดลงจากก่อนทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจของกึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในชุดที่ได้รับสารกับในชุดควบคุมพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในชุดที่ได้รับสารมีค่ามากกว่าในชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจืดคราบน้ำมันจะไปก่อให้เกิดความเสียหายต่อเหงือกของกึ่งกลุลาตัวอ่อน ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง ค่า pH ระหว่างการทดลองเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยในการทดลองน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจมีผลมาจากการเติมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำลงไป (Steven and Puglist, 1980 อ้างถึงใน สุจิตรา เชาว์ปรีชา, 2530) ปริมาณแอมโมเนียในรูปของแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ที่วัดได้หลังการทดลอง พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขับถ่ายของกึ่ง และได้มีรายงานว่าค่า pH ที่เพิ่มขึ้นจากการเติมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำลงไปจะมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การแตกตัวของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น (Alabaster et al, 1979 อ้างถึงใน สุจิตรา เชาว์ปรีชา, 2530) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำที่วัดได้ พบว่ายังอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์ทดลอง ส่วนความเป็นค่าของน้ำ ปริมาณไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อ กุ้งกุลาดำวัยอ่อน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความเป็นพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบโอมานส่วนที่ละลายน้ำต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน มีค่า LC_{50} ในเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 32.93 ไมโครกรัมต่อลิตร ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด โดย ช่วงความเชื่อมั่น 95 % เท่ากับ 29.16-38.40 ไมโครกรัมต่อลิตร ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด

2. ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 ต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน มีค่า LC_{50} ในเวลา 96 ชั่วโมง เท่ากับ 20.83 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยช่วงความเชื่อมั่น 95 % เท่ากับ 19.86-22.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. ค่าระดับที่ปลอดภัย (NOAEL) ของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน ในสภาพสารละลายเดี่ยวเท่ากับ 0.33 ไมโครกรัมต่อลิตร ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด และ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนค่าระดับที่ปลอดภัยของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสภาพสารละลายผสมนั้นไม่สามารถหาความเข้มข้นที่แน่นอนได้ เนื่องจากความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง นั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันในสารละลายผสม

4. จากการศึกษานิวโน้มความเป็นพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อน พบว่าทั้งน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีผลต่ออัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน โดยน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันมีปฏิสัมพันธ์กันแบบเสริมความเป็นพิษกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงพิษเฉียบพลันของสารละลายผสมน้ำมันดิบกับสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ในลักษณะของการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันเพื่อใช้กระจายน้ำมัน ที่อัตราส่วนซึ่งใช้ในการขจัดคราบน้ำมันในสถานการณ์จริง และเปรียบเทียบกับความเป็นพิษในสภาพสารละลายเดี่ยว เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้
2. ควรมีการศึกษาถึงพิษเฉียบพลันของน้ำมันและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันชนิดอื่นๆ ซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม
3. ควรมีการศึกษาผลของน้ำมันดิบและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งมีชีวิตที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศ รวมถึงสัตว์เศรษฐกิจชนิดอื่น ทั้งความเป็นพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ผลต่อการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางเคมี
4. ควรศึกษาผลจากการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมันในการกำจัดคราบน้ำมันต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่อื่นๆ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดมาตรการป้องกันผลที่จะเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำมันลงสู่สิ่งแวดล้อมอย่างครอบคลุม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกสสินี สรรวานิช. 2534. ปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในน้ำ ดินตะกอน และหอยแมลงภู่ (*Perna viridis*) บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2544 ก. การศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนของน้ำมัน. โครงการจัดหาข้อมูลการแปรสภาพของน้ำมันเพื่อการตรวจสอบการลักลอบทิ้งน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 72 หน้า.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2544 ข. โครงการจัดหาข้อมูลการแปรสภาพของน้ำมันเพื่อการตรวจสอบการลักลอบทิ้งน้ำมัน. รายงานหลัก. กรุงเทพมหานคร: กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 300 หน้า.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2547. สถิติน้ำมันรั่วไหลระหว่างปี พ.ศ.2540-2545. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม [online]. Available from: http://www.marinepcd.org/document/information/statistic_oilspill.doc
- ชรัตน์ รุ่งเรืองศิลป์. 2533. น้ำมัน. กรุงเทพมหานคร.
- นิถาวรณ บุษราวิช. 2540. พืชน้ำมันของ Corexit 9527 และ Noble Superdispersant-25 ต่อสัตว์ทะเลบางชนิด. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2540. สถาบันวิจัยชีววิทยาและประมงทะเล. กรมประมง.
- มนัส เพ็ชรทองคำ. 2522. พืชน้ำมันของน้ำมันดิบ ดีเซล และเบนซิน ที่มีต่อกุ้งแสบัวขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราภรณ์ ศรีมูล. 2544. การสะสมของปีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนในดินตะกอนบริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรวรรณ สุกระฤกษ์. 2542. การตอบสนองทางสรีระวิทยาของกิ้งกูดดำ *Penaeus monodon* วัยรุ่น ต่อผลร่วมระหว่างความเค็มและปริมาณน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ศิริกานต์ นิเทศวรวิทย์. 2533. ผลกระทบของน้ำมันดิบและตัวกระจายน้ำมัน (ในรูปที่ละลายน้ำ) ต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่น. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิตตรา เชาว์ปรีชา. 2530. ผลกระทบของน้ำมันดิบอะเรเบียนชนิดเบาในรูปที่ละลายน้ำต่อลูกปลา กะพงขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุนทรีย์ ภิรมย์. 2539. ความเป็นพิษของน้ำมันและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อปลานิล (*Tilapia nilotica* Linn.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สมควร ไช้แก้ว. 2544. ผลกระทบของน้ำมันและสารเคมีขจัดคราบน้ำมันต่อกุ้งกุลาดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อรรณวดี อิมพุลทรัพย์ และคณะ. 2536. รายงานสถานภาพเรื่องการศึกษปัญหาและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับคราบน้ำมันตามแหล่งต่างๆในประเทศไทย. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ภาษาอังกฤษ

- AMSA. 2001. Oil spill dispersants. Australian Maritime Society Authority, Australian Government [online]. Available from: http://www.amsa.gov.au/marine_environment_protection/National_plan/General_Information/Dispersant_Information/FAQ_oil_spills_dispersants.asp
- Anderson, J.W., Neff, J.M., Cox, B.A., Tatem, H.E., and Hightower, G.M. 1974. Characteristics of dispersions and water soluble extracts of crude and refined oils and their toxicity to estuarine crustaceans and fish. Mar.Biol. 27: 75-88.
- Anderson, J.W., Riley, R., Kiesser, S., and Gurtisen, J. 1987. Toxicity of dispersed and undispersed Prudhoe Bay crude oil fractions to shrimp and fish: Proceeding 1987 Oil Spill Conference, pp. 235-240. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- APHA, and WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. WA: American Public Health Association.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1997. Annual Book of Standards. Vol. 11.04. Philadelphia, Pennsylvania.

- Barron, M.G., Podrabsky, T., Ogle, S., and Ricker, R.W. 1999. Are aromatic hydrocarbons the primary determinant of petroleum toxicity to aquatic organism? Aquatic Toxicology 46: 253-268.
- Bo Liu. 2003. Toxicity of South Louisiana crude oil, Alaskan North Slope crude oil and dispersant Corexit 9500 to Gulf Killifish, White shrimp and Eastern oyster. Master's Thesis, Graduate Faculty Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College.
- Capuzzo, J.M., and Lancaster, B.A. 1981. Physiological effects of South Louisiana crude oil on larvae of the american lobster (*Homarus americanus*). In W.B. Vernberg (ed.), Biological monitoring of marine pollutants, pp. 287-290. New York: Academic Press.
- Capuzzo, J.M., and Lancaster, B.A. 1982. Physiological effects of petroleum hydrocarbon on larval lobsters (*Homarus americanus*): hydrocarbon accumulation and interference with lipid metabolism. In W.B. Vernberg (ed.), Physiological mechanisms of marine pollutant toxicity, pp. 477-501. New York: Academic Press.
- Clark, R.B. 1992. Marine pollution. 3rd edition. Oxford: Clarendon Press.
- Coelho, G.M., and Aurand, D.V., Eds. 1996. Proceedings of the sixth meeting of chemical response to oil spills: Ecological effects research forum. Ecosystem Management and Associates, Purcellville, VA.
- Dodd, E.N. 1974. Oils and dispersants: Chemical considerations. In L.R. Beynon and E.B., Cowell (eds.), Ecological aspects of toxicity testing of oils and dispersants. Great Britain: Applied Science on half of The Institute of Petroleum.
- Duffus, J.H. 1982. Petroleum and radionuclides. Environmental Toxicology, pp 94-97. New York: John Wiley and Son.
- Edwards, R.R. 1978. Effects of water-soluble oil fractions on metabolism, growth and carbon budget of the shrimp *Cragon cragon*. Mar. Biol. 46: 259-265.
- EPA. 1984. Estimation "concern levels" for concentrations of chemical substances in the environment. In Environmental Effect Branch Health and Environmental Review Division.
- EPA. 1973. Standard dispersant effectiveness and toxicity tests. Ohio: National Environmental Center, U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. 2001. Corexit 9527. Technical Product Bulletin #D-1, Oil Program Center, U.S.EPA [online]. Available from: <http://www.epa.gov/oilspill/ncp/corex952.htm>

- Finney, D.J. 1971. Probit Analysis. 3rd edition. London: Cambridge University Press.
- Fong, W.C. 1976. Uptake and retention of Kuwait crude oil and its effects on oxygen uptake by the soft-shell clam *Mya arenaria*. J. Fish. Res. Bd Canada. 33: 2774-2780.
- Fucik, K.W., Carr, K.A., and Balcom, B.J. 1995. Toxicity of oil and dispersed oil to the eggs and larvae of seven marine fish and invertebrates from the Gulf of Mexico. In P. Lane (ed.), The use of chemicals in oil spill response, pp. 135-171. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- George-Ares, A., and Clark, J.R. 2000. Aquatic toxicity of two Corexit[®] dispersants. Chemosphere 40 (2000): 897-906.
- IMO. 1988. Manual on oil pollution. Section IV combating oil spills. London: International Maritime Organization.
- Inchcape Testing Services. 1995. Laboratory test data for Corexit 9500 and Corexit 9527. Houston, Texas.
- IPIECA. 1993. Dispersants and their role in oil spill response. 5 vols. London: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association.
- IPIECA. 2001. Dispersants and their role in oil spill response: A summary of the IPIECA report. 5 vols. 2nd ed. London: International Petroleum Industry Environmental Conservation Association.
- IТОPF. 1991. Response to marine oil spill. London: Witherby&co.ltd.
- IТОPF. 2004a. IТОPF Manual Book 2004/2005: Fate of marine oil spills. London: IТОPF.
- IТОPF. 2004b. Historical data: Past spill statistics. London: IТОPF [online]. Available from: <http://www.itopf.com/stats.html>
- John, D.M., and Miller, D.C. 1982. The use of bioenergetics to crustacea larvae. In W.B. Vernberg (ed.), Physiological mechanisms of marine pollutant, pp. 262-287. New York: Academic Press.
- John, D.M., and Pechnik, J.A. 1980. Influence of the water-accommodated fraction of No.2 fuel oil on energetics of *Cancer irroratus* larvae. Mar. Biol. 47: 245-254.
- Kornberg, H. 1981. Oil: sources and fate in the marine environment. Royal Commission on Environmental Pollution. London: Her Majesty's Stationary Office.
- Lockhart, W., Duncan, D., Billeck, B., Danell, R., and Ryan, M. 1996. Chronic toxicity of the water soluble fraction of Norman Wells crude oil on juvenile fish. Spill Sci. Tech. 3: 259-262.

- Long, S.M., and Holdway, D.A. 2001. Acute toxicity of crude and dispersed oil to *Octopus pallidus*. Water Research (in press): 1-7.
- Mackay, D., Chang, S., and Wells, P.G. 1982. Calculation of oil concentrations under chemically dispersed slicks. Marine pollution Bulletin 13(8): 278-283.
- Mackay, D., and Wells, P.G. 1983. Effectiveness, behavior and toxicity of dispersants: Proceeding 1983 Oil Spill Conference, pp. 65-71. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- Marine and Freshwater Resources Institute (MFRI). 1998. Toxicity and effectiveness of oil spill dispersant Corexit 9500. Laboratory report. Queenscliff, Australia.
- Markarian, R.K., Nicolette, J.P., Barber, T., and Giese, L. 1995. A critical review of toxicity values and an evaluation of the persistence of petroleum products for use in natural resource damage assessments. American Petroleum Institute Publication Number 4594, January.
- Mason, R.L., Gunst, R.F., and Hess, J.L. 2003. Statistical design and analysis of experiments. London: Wiley-Interscience.
- McAuliffe, C. 1969. Solubility in water of normal C9 and C10 alkane hydrocarbons. Science. 163: 478-473.
- Moles, A. 1998. Sensitivity of ten aquatic species to long-term crude oil exposure. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 61: 102-107.
- Moore, S.F., and Dwyer, R.L. 1974. Effects of oil on marine organisms: a critical assessment of published data. Water Res. 8: 819-827.
- Nagell, B.M., Notini, and Grahn, O. 1974. Toxicity of four dispersants to some animals from the Baltic Sea. Marine Biology 28: 237-243.
- National Research Council (NRC). 1985. Using oil in the sea: inputs, fates and effects. Washington, DC: National Academic Press.
- National Research Council (NRC). 1989. Using oil spill dispersants on the sea. Washington, DC: National Academic Press.
- Neff, J.M. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: sources, fates and biological effects. London: Applied Science Publishers.
- Neff, J.M., and Anderson, J.W. 1981. Accumulation and release of petroleum hydrocarbons. In Response of marine animals to petroleum and specific petroleum hydrocarbons, pp. 93-141. London: Applied Science Publishers.

- Neff, J.M., Anderson, J.W. Cox, B.A., Laughlin, R.B., Rossi, S.S., and Tatem, H.E. 1976. Effects of petroleum on survival, respiration and growth of marine animals. In Sources, effects and sinks of hydrocarbons in the aquatic environment, pp. 515-540. Washington, DC: American Institute of Biological Sciences.
- Pace, C.B., and Clark, J.R. 1993. Evaluation of a toxicity test method used for dispersant screening in California. MSRC Technical Report Series 93-028. Washington, DC: Marine Spill Response.
- Peakall, D.B., Wells, P.G., and Mackay, D. 1987. A hazard assessment of chemically dispersed oil spills and seabirds. Marine Environmental Resources 22: 91-106.
- Percy, J.A., and Mullin, T.C. 1977. Effects of crude oil on locomotory activity of arctic marine invertebrates. Mar. Pollut. Bull. 8 (2): 35-40.
- Rice, S.D., Moles, A., Taylor, T.L., and Karinen, J.F. 1979. Sensitivity of 39 Alaskan marine species to Cook Inlet crude oil and No.2 fuel oil: Proceedings of the 1979 joint conference on oil spills (prevention, behavior, control and clean up), pp. 549-554. Washington, DC: Am Petrol Inst.
- Rice, S.D., Short, J.W., and Karinen, J.F. 1977. Comparative oil toxicity and comparative animal sensitivity. In D.A. Wolf (ed.), Fate and effects of petroleum hydrocarbons in marine organisms and ecosystems, pp. 78-94. New York: Pergamon Press.
- Sample, B.E., Opresko, D.M., and Suter, G.W. 1996. Toxicological Benchmarks for wildlife: 1996 Revision. Risk Assessment Program, Health Sciences Research Division, Oak Ridge Tennessee. Prepared for: U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management.
- Shaw, D.G. 1976. Hydrocarbon in water column. Fate and effect of petroleum hydrocarbon in marine ecosystems and organisms: Proceeding of a symposium, November 10-12.
- Sherertz, P.C. 1998. Peteroleum products. Virginia Department of Health, Virginia [online]. Available from: <http://vdh.state.va.us/HHcontrol/petrofac.PDF>
- Singer, M.M., et al. 1998. Effects of dispersant treatment on the acute aquatic toxicity of petroleum hydrocarbons. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 34: 177-187.
- Singer, M.M., Smalheer, D.L., Tjeerdema, R.S., and Martin, M. 1990. Toxicity of and oil dispersant to early life stages of four California marine species. Environ. Tox. Chem. 9: 1389-1397.

- Singer, M.M., George, S., Jacobson, S., Lee, I., Tjeerdema, R.S., and Sowby, M.L. 1994. Comparative toxicity of Corexit[®] 7664 to the early life stages of four marine species. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 27: 130-136.
- Sprague, J.B. 1969. Measurement of pollutant toxicity to fish: 1 Bioassay methods for acute toxicity. Water Research 3: 739-821.
- Stickle, W.B., Kapper, M.A., Shirley, T.C., Carls, M.G., and Rice, S.D. 1987. Bioenergetics and tolerance of the exposure of the pink shrimp *Pandulus borealis* during long-term exposure to the water soluble fraction and oiled sediment from Cook Inlet crude oil. In F.J. Vernberg (ed.), Pollution physiology of estuarine organisms, pp. 87-106. South Carolina: University of South Carolina Press.
- Swedmark, M., Braten, B., Emanuelson, E., and Grammo, A. 1971. Biological effects of surface active agents on marine animals. Mar. Biol. 9: 183-201.
- Tatem, H.E. 1977. Accumulation of naphthalenes by grass shrimp: effects on respiration, hatching and larval growth. In D.A. Wolfe (ed.), Fate and effects of petroleum hydrocarbons in marine organisms and ecosystems. New York: Pergamon Press.
- UNEP/EAST ASEAN SEAS. 1987. Plan project EAS 12: Cooperative research on oil and dispersant toxicity.
- Wells, P.G. 1984. The toxicity of oil spill dispersants to marine organisms: A current perspective. In T.E. Allen (ed.), Oil spill chemical dispersants: Research, Experience and Recommendations, pp. 177-202. STP840. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Wells, P.G., Abernethy, S., and Mackay, D. 1985. Acute toxicity of solvents and surfactants to two planktonic crustaceans: Proceedings of 8th annual arctic marine oil spill program technical seminar, pp. 228-240.
- Wells, P.G., and Harris, G.W. 1980. The acute toxicity of dispersants and chemically dispersed oil: Proceeding of Arctic Marine Oil Spill Program (AMOP). Technical Seminar. Environment Canada: 144-157.
- Wells, P.G., and Sprague, J.B. 1976. Effects of crude oil on american lobster (*Homarus americanus*) larvae in the laboratory. J. Fish. Res. Board Can. 33: 1604-1614.
- Wells, P.G., et al. 1993. Impact of oil and related chemicals on marine environment. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP. Join Group of Experts Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP): Report and studies No.50. London: IMO.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันดิบโอมาน

SOURCE OF SAMPLE		CRUDE DATA			ASSAY SUMMARY/TBP DATA					
		Gravity	API	33.4	Yield on crude			%wt	%vol	
Ports	AL HUYAYBAN, FAHUD MARBUH, WABH, SAM NHAYDAM, TIBAL ETC. GUNRONG/PALAS/TABU	Light Hydrocarbon Analysis			Gas to C4 (corrected)			1.3	1.7	
					Light distillate to 149 C (API)			13.5	16.35	
Export Terminal	MINA AL FAHAJ	H2S	%wt	-	Kerosene 149-232 C			12.4	13.55	
		Methane	%wt	-	Gas oil 232-342 C			18.75	19.5	
Source	JANUARY 1994 SAMPLE SR 50 929 (30.09.94)	Ethane	%wt	0.02	Residue above 342 C			54.05	49.25	
		Propane	%wt	0.23	Gas to C4 (corrected)			1.3	1.7	
		Isobutane	%wt	0.26	Total to 95 C (API)			7.3	9.35	
		n-Butane	%wt	0.79	149 C			14.3	19.05	
		Total C1-C4		1.30	175 C			18.9	22.55	
					232 C			27.2	31.6	
					342 C			45.95	50.75	
					369 C			50.5	55.2	
		Isopentane	%wt	0.73	309 C			71.5	75.05	
		n-Pentane	%wt	1.10	350 C			76.7	79.95	
Volume expansion of 0.30 per cent vol on crude subtracted from the gas yield										
14 PLATE ASSAY		DISTILLATES								
TBP cut point C	API	Total Crude	C5-95	95-175	C5-149	149-232	232-342	342-369	369-509	509-550
Yield on crude	%wt	100	6.0	11.5	13.5	12.4	18.75	4.55	21.0	5.2
Yield on crude	%vol	100	7.65	13.2	16.35	13.55	19.15	4.45	19.85	4.9
Density at 15 C	kg/litre	0.8535	0.671	0.7465	0.706	0.783	0.8375	0.874	0.904	0.909
Sulphur	%wt	1.14	0.022	0.036	0.024	0.10	0.35	1.09	1.25	-
Mercaptan sulphur	%wt	-	0.018	0.012	0.015	0.008	-	-	-	-
Viscosity at 20 C	cSt	15.98	-	-	-	-	-	-	-	-
30 C		11.88	-	-	-	-	-	-	-	-
40 C		9.14	-	-	-	1.08	-	-	63.1	-
50 C		-	-	-	-	2.31	7.41	-	-	-
60 C		-	-	-	-	0.86	-	22.0	-	113.5
100 C		-	-	-	-	-	1.31	2.53	6.69	21.0
Viscosity index		-	-	-	-	-	-	-	63	-
Cloud point	C	-	-	-	-	-	-19	7	-	-
Pour point	C	-30	-	-	-	-	-21	6	27	-19
Wax	%wt	-	-	-	-	-	2.0	9.8	7.5	6.4
Total nitrogen	ppm wt	-	-	-	-	-	34	250	270	1300
Basic nitrogen	ppm wt	-	-	-	-	-	-	-	205	360
Organic oxygen	%wt	-	-	-	-	-	-	-	0.30	-
Acidity	mg/KOH/g	0.34	-	-	-	0.022	0.13	0.38	0.60	0.77
Carbon residue	%wt	3.7	-	-	-	-	-	-	0.15	1.30
Asphaltenes	%wt	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanadium	ppm wt	14	-	-	-	-	-	-	<0.1	0.2
Nickel	ppm wt	8	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1
Aromatics	%wt	-	-	-	-	12.8	17.8*	-	-	-
Smoke point	mm	-	-	-	-	29	20	-	-	-
Freezing point	C	-	-	-	-	-53.5**	-13	-	-	-
Aniline point	C	-	-	-	-	62.4	74.7	79.9	89.2	96.2
Celene index - ASTM D974 (P380)		-	-	-	-	45.7 (49)	53.7 (59)	50.7	-	-
Refractive index at 70 C		-	-	-	-	-	1.4640	1.4622	-	1.4642
Hydrogen content	%wt	-	-	-	-	14.40	-	-	-	-
Paraffins	%wt	-	85.0	84.2	73.7	-	-	-	* 232 - 342 Aromatics %wt/%vol	
Naphthenes	%wt	-	12.2	24.7	19.7	-	-	-	1 ring 12.8/11.9	
Aromatics	%wt	-	2.8	11.1	6.6	-	20.3*	-	2 ring 7.4/9	
n-Paraffins	%wt	-	44.4	26.4	35.5	-	-	-	3 ring 11.0	
Colour stability		-	-	-	-	Stable	Stable	-	** Temp difference between cloud/clear is greater than 3 deg C	
Naphthalenes	%wt	-	-	-	-	0.40	5.26	-		
Sol	lb/1000bbl	4.1	-	-	-	-	-	-		
Water	%wt	<0.05	-	-	-	-	-	-		
Research Octane No. (RON)		-	73.2	-	-	-	-	-		

OMAN
OMAN EXPORT

PPEFA pack/code S96C/OMAN***1

14 PLATE ASSAY		RESIDUES			
TBP cut point (API)	C	342	365	509	550
Yield on crude	%wt	54.05	49.5	28.5	22.3
Yield on crude	%vol	49.25	44.8	24.95	20.15
Density at 15 C	kg/litre	0.9385	0.945	0.9775	0.989
Sulphur	%wt	1.86	1.93	2.43	2.60
Viscosity at 50 C	cSt	305	530	-	-
60 C		-	285	-	-
80 C		-	102	-	-
100 C		-	45.8	427	970
120 C		-	-	172.0	353
150 C		-	-	59.7	108.5
Penetration at 25 C	mm/10	-	-	>500	>500
Softening point	C	-	-	31.0	27.5
Pour point	C	0	3	24	-
Wax	%wt	6.5	6.0	5.0	-
mp of wax	C	-	56	62	-
Total nitrogen	ppm wt	1960	2120	3190	3610
Acidity	mgKOH/g	-	0.59	-	-
Carbon residue	%wt	6.9	7.5	13.0	15.5
Asphaltenes	%wt	1.0	1.1	1.9	2.3
Vanadium	ppm wt	26	28	49	60
Nickel	ppm wt	15	16	28	34
Xylene equivalent		-	0	-	0
Saturates	%wt	-	29	-	7
Aromatics	%wt	-	57	-	66
Resins A	%wt	-	10	-	18
Resins B	%wt	-	4	-	4

TBP cut pt	C	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Total distillate	%wt	3.50	3.89	4.29	4.69	5.10	5.50	5.92	6.35	6.90	7.30
	%vol	4.67	5.17	5.68	6.19	6.69	7.19	7.69	8.21	8.76	9.35
TBP cut pt	C	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
Total distillate	%wt	7.84	8.43	9.06	9.72	10.41	11.13	11.97	12.63	13.40	14.18
	%vol	9.99	10.68	11.42	12.19	13.00	13.84	14.69	15.57	16.45	17.34
TBP cut pt	C	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
Total distillate	%wt	14.96	15.74	16.51	17.28	18.05	18.80	19.54	20.28	21.01	21.73
	%vol	18.23	19.11	19.99	20.86	21.71	22.55	23.37	24.18	24.98	25.76
TBP cut pt	C	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
Total distillate	%wt	22.45	23.17	23.89	24.62	25.36	26.12	26.89	27.68	28.48	29.31
	%vol	26.54	27.32	28.09	28.87	29.66	30.46	31.27	32.1	32.95	33.82
TBP cut pt	C	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295
Total distillate	%wt	30.13	30.97	31.8	32.63	33.45	34.28	35.11	35.95	36.80	37.67
	%vol	34.69	35.56	36.43	37.29	38.14	38.99	39.85	40.71	41.58	42.46
TBP cut pt	C	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345
Total distillate	%wt	38.55	39.43	40.33	41.22	42.11	43.00	43.88	44.75	45.61	46.46
	%vol	43.36	44.25	45.15	46.05	46.94	47.83	48.70	49.56	50.41	51.26
TBP cut pt	C	350	355	360	365	370	375	380	385	390	395
Total distillate	%wt	47.31	48.36	49.00	49.84	50.67	51.49	52.30	53.11	53.90	54.68
	%vol	52.09	52.92	53.74	54.55	55.36	56.16	56.95	57.73	58.49	59.24
TBP cut pt	C	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
Total distillate	%wt	55.45	56.96	58.45	59.95	61.45	62.95	64.44	65.92	67.35	68.53
	%vol	59.98	61.42	63.85	64.27	65.69	67.10	68.50	69.68	71.25	72.64
TBP cut pt	C	500	510	520	525	530	540	550	600	650	700
Total distillate	%wt	70.25	71.64	72.92	73.62	74.26	75.50	76.70	82.15	86.75	90.6
	%vol	73.90	75.18	76.41	77.00	77.59	78.77	79.86	84.78	88.87	92.16

คุณสมบัติและองค์ประกอบของสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน Corexit 9527 (EPA, 2004)

Name : Corexit 9527

Type of Product : Dispersant (Concentrate)

Maximum storage temperature : 170 F

Minimum storage temperature : -30 F

Optimum storage temperature range : 40-100 F

Concentration/Application Rate : dispersant 1 : 50 oil , dispersant 1 : 10 oil

Physical Properties

Flash Point : 162 F

Pour Point : Less than -45 F

Viscosity : 60 cst 60 F, 9 cst 100 F, 4 cst 150 F

Specific Gravity : 0.995 at 60 F, 0.975 at 100 F

pH : 8.2

Surface Active Agents :

Solvents : Water, Ethylene glycol monobutyl ether

Additives : Borate ester

Solubility : Not applicable

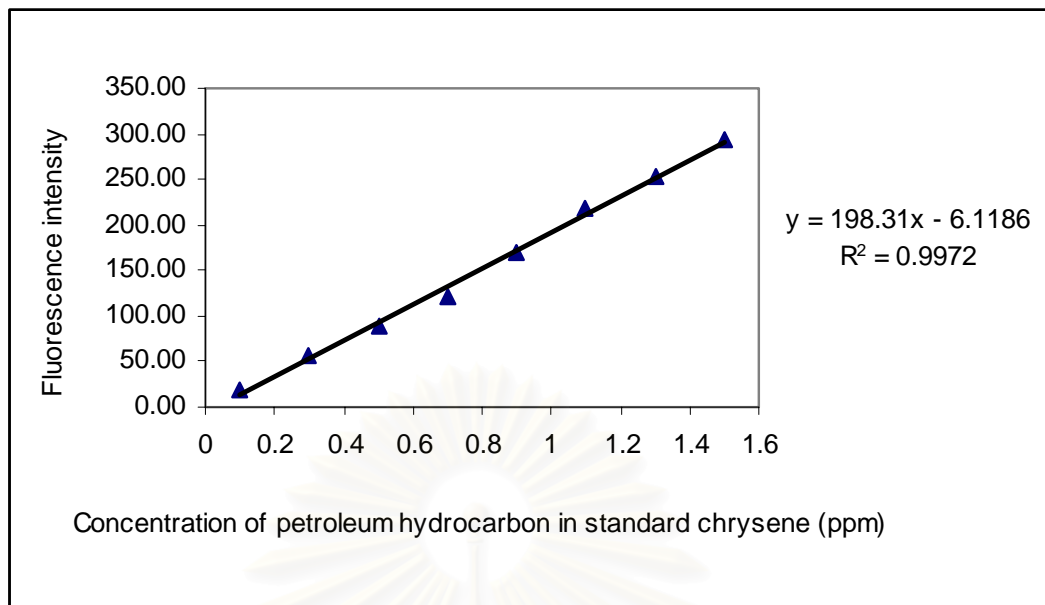
Analysis for Heavy Metals, Cyanide and Chlorinated Hydrocarbons

Compound	Concentration (ppm)
Arsenic	< 0.005
Cadmium	< 0.01
Chromium	< 1.0
Copper	< 0.2
Lead	< 0.1
Mercury	< 0.003
Nickel	< 0.1
Zinc	0.1
Cyanide	< 0.01
Chlorinated Hydrocarbons	< 0.01



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานไครซีน ($C_{18}H_{12}$) โดย Fluorescence spectrometer Perkin-Elmer LS55 Luminescence spectrometer ที่ Excitation wavelength 310 และ Emission wavelength 360 นาโนเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูด้าวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบ ส่วนที่ละลายน้ำ ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง (ผลการทดลอง 3 ซ้ำ)

	ความเข้มข้น (mg/l)	จำนวน (ตัว)	เปอร์เซ็นต์การตายสะสม (%)			
			24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
1	0	30	0	0	0	0
	18	30	10	30	30	40
	20	30	20	30	40	50
	22	30	40	40	70	70
	24	30	40	50	70	100
2	0	30	0	0	0	0
	18	30	0	10	10	10
	20	30	10	10	20	40
	22	30	20	20	40	50
	24	30	20	40	50	70
3	0	30	0	0	0	0
	18	30	10	10	10	20
	20	30	10	10	20	40
	22	30	20	30	50	50
	24	30	20	40	60	60

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของน้ำมันดิบ ส่วนที่ละลายน้ำ ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง (ผลการทดลอง 3 ซ้ำ)

	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)	จำนวน (ตัว)	เปอร์เซ็นต์การตายสะสม (%)			
			24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
1	0	30	0	0	0	0
	20.81	30	0	0	0	10
	27.74	30	0	10	20	40
	34.68	30	10	30	40	60
	41.61	30	20	30	60	70
2	0	30	0	0	0	0
	20.81	30	0	10	20	20
	27.74	30	0	10	20	30
	34.68	30	10	20	30	50
	41.61	30	30	40	50	70
3	0	30	0	0	0	0
	20.81	30	0	10	20	20
	27.74	30	10	20	30	40
	34.68	30	20	30	50	60
	41.61	30	20	30	40	60

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของ สารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้นระดับต่างๆ ที่เวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง (ผลการทดลอง 3 ซ้ำ)

ความเข้มข้น		เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลาต่างๆ (%)			
น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH)	สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l)	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	0	0	20	20	20
13.87	18	0	10	10	30
13.87	20	10	30	40	40
13.87	22	20	50	50	60
13.87	24	10	40	60	60
20.81	18	20	40	50	50
20.81	20	30	50	50	60
20.81	22	30	50	60	60
20.81	24	40	50	70	70
27.74	18	30	40	60	70
27.74	20	50	50	70	70
27.74	22	50	60	70	80
27.74	24	50	70	80	80
34.68	18	40	60	60	70
34.68	20	50	70	80	80
34.68	22	60	80	90	90
34.68	24	60	80	80	100

ตารางที่ 3 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของ สารละลายผสมรวมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้น ระดับต่างๆ ที่เวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น		เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลาต่างๆ (%)			
น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH)	สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l)	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	0	0	0	0	0
13.87	18	10	20	20	30
13.87	20	10	20	30	40
13.87	22	20	40	50	60
13.87	24	20	50	50	70
20.81	18	20	40	40	50
20.81	20	20	50	50	60
20.81	22	30	50	50	60
20.81	24	40	60	70	70
27.74	18	40	50	70	70
27.74	20	40	60	70	70
27.74	22	50	60	70	80
27.74	24	50	60	80	80
34.68	18	50	50	60	70
34.68	20	50	60	60	70
34.68	22	70	70	70	80
34.68	24	70	80	80	90

ตารางที่ 3 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การตายสะสมของกิ้งกูดำวัยอ่อนในการทดลองพิษเฉียบพลันของ สารละลายผสมรวมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีขจัดคราบน้ำมัน ความเข้มข้น ระดับต่างๆ ที่เวลา 24 48 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเข้มข้น		เปอร์เซ็นต์การตายสะสมที่เวลาต่างๆ (%)			
น้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำ ($\mu\text{g/l}$ TPH)	สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน (mg/l)	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.
0	0	0	0	0	0
13.87	18	0	10	20	30
13.87	20	10	10	20	30
13.87	22	20	30	30	50
13.87	24	30	40	50	60
20.81	18	10	20	30	50
20.81	20	10	30	50	60
20.81	22	30	40	50	60
20.81	24	30	50	50	70
27.74	18	20	40	50	70
27.74	20	40	50	70	70
27.74	22	40	60	70	70
27.74	24	50	70	70	80
34.68	18	50	60	60	80
34.68	20	50	70	70	80
34.68	22	60	70	90	90
34.68	24	70	80	90	100



ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองของน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำในสภาพสารละลายเดี่ยว โดยวิธี Probit analysis

Output from Probit Procedure

----- HR=24 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Lower	Fiducial Upper	Limits
0.01	2.06959	1.85668	3.21844	
0.02	2.02870	1.83218	3.08640	
0.03	2.00275	1.81661	3.00265	
0.04	1.98323	1.80487	2.93966	
0.05	1.96735	1.79531	2.88845	
0.06	1.95383	1.78717	2.84486	
0.07	1.94198	1.78001	2.80665	
0.08	1.93137	1.77360	2.77245	
0.09	1.92172	1.76777	2.74135	
0.10	1.91284	1.76239	2.71273	
0.15	1.87607	1.74004	2.59431	
0.20	1.84684	1.72217	2.50030	
0.25	1.82176	1.70675	2.41975	
0.30	1.79925	1.69279	2.34751	
0.35	1.77838	1.67974	2.28069	
0.40	1.75858	1.66723	2.21741	
0.45	1.73942	1.65498	2.15634	
0.50	1.72057	1.64271	2.09644	
0.55	1.70172	1.63018	2.03680	
0.60	1.68256	1.61707	1.97659	
0.65	1.66276	1.60292	1.91495	
0.70	1.64190	1.58701	1.85098	
0.75	1.61938	1.56791	1.78389	
0.80	1.59430	1.54226	1.71356	
0.85	1.56507	1.50077	1.64318	
0.90	1.52830	1.42119	1.58199	
0.91	1.51942	1.39793	1.57125	
0.92	1.50977	1.37146	1.56078	
0.93	1.49916	1.34127	1.55036	
0.94	1.48731	1.30654	1.53973	
0.95	1.47379	1.26599	1.52855	
0.96	1.45792	1.21746	1.51630	
0.97	1.43840	1.15691	1.50213	
0.98	1.41245	1.07545	1.48427	
0.99	1.37155	0.94572	1.45745	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=24 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC 95	Percent Fiducial Lower	Limits Upper
0.01	117.37975	71.89235	1653.65409
0.02	106.83046	67.94874	1220.10578
0.03	100.63444	65.55509	1006.11485
0.04	96.21141	63.80748	870.29009
0.05	92.75739	62.41845	773.47287
0.06	89.91534	61.25853	699.61682
0.07	87.49516	60.25803	640.69844
0.08	85.38351	59.37504	592.17746
0.09	83.50732	58.58231	551.25624
0.10	81.81676	57.86113	516.09973
0.15	75.17391	54.95919	392.92849
0.20	70.28125	52.74408	316.44861
0.25	66.33836	50.90329	262.87580
0.30	62.98640	49.29337	222.59456
0.35	60.03170	47.83466	190.84874
0.40	57.35624	46.47658	164.97117
0.45	54.88124	45.18303	143.33075
0.50	52.54979	43.92499	124.86426
0.55	50.31737	42.67568	108.84397
0.60	48.14612	41.40617	94.75284
0.65	46.00036	40.07927	82.21436
0.70	43.84248	38.63772	70.95532
0.75	41.62720	36.97539	60.79815
0.80	39.29184	34.85463	51.70853
0.85	36.73455	31.67873	43.97218
0.90	33.75201	26.37465	38.19375
0.91	33.06872	24.99915	37.26098
0.92	32.34208	23.52148	36.37299
0.93	31.56152	21.94176	35.51072
0.94	30.71200	20.25539	34.65231
0.95	29.77100	18.44987	33.77132
0.96	28.70221	16.49926	32.83215
0.97	27.44071	14.35204	31.77838
0.98	25.84918	11.89723	30.49825
0.99	23.52603	8.82512	28.67157

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=48 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Lower	Fiducial Upper	Li mi ts
0.01	2.40724	2.03392		4.70938
0.02	2.30108	1.97178		4.32663
0.03	2.23832	1.93497		4.10045
0.04	2.19333	1.90854		3.93835
0.05	2.15806	1.88779		3.81131
0.06	2.12894	1.87063		3.70644
0.07	2.10406	1.85595		3.61685
0.08	2.08227	1.84307		3.53841
0.09	2.06284	1.83158		3.46848
0.10	2.04527	1.82117		3.40526
0.15	1.97543	1.77963		3.15414
0.20	1.92285	1.74813		2.96530
0.25	1.87942	1.72190		2.80955
0.30	1.84149	1.69876		2.67372
0.35	1.80703	1.67749		2.55060
0.40	1.77479	1.65728		2.43570
0.45	1.74387	1.63750		2.32593
0.50	1.71358	1.61759		2.21890
0.55	1.68329	1.59686		2.11269
0.60	1.65237	1.57436		2.00563
0.65	1.62013	1.54840		1.89649
0.70	1.58568	1.51518		1.78531
0.75	1.54774	1.46455		1.67696
0.80	1.50431	1.37291		1.58662
0.85	1.45173	1.21738		1.52182
0.90	1.38190	0.98161		1.46493
0.91	1.36432	0.92039		1.45252
0.92	1.34489	0.85225		1.43924
0.93	1.32310	0.77542		1.42476
0.94	1.29822	0.68727		1.40863
0.95	1.26910	0.58373		1.39014
0.96	1.23383	0.45793		1.36816
0.97	1.18884	0.29699		1.34056
0.98	1.12609	0.07197		1.30260
0.99	1.01992	-0.30957		1.23924

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=48 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC 95	Percent Lower	Fiducial Upper Limits
0.01	255.41369	108.12311	51213.5541
0.02	200.02149	93.70782	21214.3092
0.03	173.10948	86.09342	12602.4319
0.04	156.07348	81.00996	8676.53528
0.05	143.90089	77.23056	6476.10155
0.06	134.56851	74.23885	5086.78198
0.07	127.07465	71.77092	4138.53190
0.08	120.85637	69.67461	3454.70600
0.09	115.56854	67.85458	2940.93032
0.10	110.98563	66.24736	2542.46848
0.15	94.49978	60.20528	1426.06578
0.20	83.72434	55.99315	923.21879
0.25	75.75727	52.71109	644.99064
0.30	69.42035	49.97581	471.75564
0.35	64.12534	47.58683	355.30107
0.40	59.53733	45.42305	272.71098
0.45	55.44653	43.40134	211.79972
0.50	51.71087	41.45579	165.53945
0.55	48.22690	39.52352	129.62514
0.60	44.91323	37.52854	101.30543
0.65	41.69980	35.35110	78.79289
0.70	38.51917	32.74796	60.99750
0.75	35.29713	29.14425	47.52969
0.80	31.93831	23.59986	38.60329
0.85	28.29651	16.49603	33.25215
0.90	24.09333	9.58550	29.16988
0.91	23.13791	8.32516	28.34764
0.92	22.12555	7.11625	27.49391
0.93	21.04286	5.96235	26.59261
0.94	19.87102	4.86711	25.62286
0.95	18.58233	3.83468	24.55506
0.96	17.13304	2.87033	23.34303
0.97	15.44695	1.98150	21.90560
0.98	13.36863	1.18023	20.07244
0.99	10.46934	0.49026	17.34762

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=72 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Lower	Fiducial Upper
0.01	2.30048	2.00081	3.49296
0.02	2.19585	1.93488	3.23102
0.03	2.13401	1.89582	3.07628
0.04	2.08967	1.86776	2.96540
0.05	2.05491	1.84572	2.87853
0.06	2.02622	1.82749	2.80683
0.07	2.00169	1.81189	2.74559
0.08	1.98022	1.79819	2.69199
0.09	1.96107	1.78596	2.64422
0.10	1.94375	1.77488	2.60104
0.15	1.87493	1.73060	2.42966
0.20	1.82311	1.69689	2.30100
0.25	1.78031	1.66867	2.19510
0.30	1.74292	1.64360	2.10301
0.35	1.70896	1.62031	2.01989
0.40	1.67719	1.59785	1.94279
0.45	1.64672	1.57534	1.86983
0.50	1.61687	1.55182	1.79981
0.55	1.58702	1.52583	1.73225
0.60	1.55655	1.49490	1.66770
0.65	1.52478	1.45473	1.60831
0.70	1.49082	1.39955	1.55708
0.75	1.45343	1.32535	1.51413
0.80	1.41063	1.22999	1.47538
0.85	1.35881	1.10764	1.43535
0.90	1.28999	0.94031	1.38701
0.91	1.27267	0.89777	1.37529
0.92	1.25352	0.85059	1.36246
0.93	1.23205	0.79756	1.34821
0.94	1.20752	0.73685	1.33206
0.95	1.17883	0.66567	1.31332
0.96	1.14407	0.57930	1.29079
0.97	1.09973	0.46891	1.26224
0.98	1.03788	0.31467	1.22268
0.99	0.93326	0.05328	1.15620

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=72 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC	95 Percent Lower	Fiducial Upper
0.01	199.74901	100.18594	3111.40540
0.02	156.98384	86.07606	1702.23173
0.03	136.14703	78.67230	1192.00801
0.04	122.93290	73.74975	923.41872
0.05	113.47843	70.10086	756.01417
0.06	106.22215	67.21912	640.96323
0.07	100.39012	64.84636	556.66367
0.08	95.54704	62.83402	492.03332
0.09	91.42580	61.08919	440.78048
0.10	87.85175	59.55008	399.05842
0.15	74.97665	53.77697	268.94151
0.20	66.54395	49.76065	199.98409
0.25	60.29901	46.63043	156.71162
0.30	55.32510	44.01479	126.76952
0.35	51.16397	41.71700	104.68668
0.40	47.55442	39.61390	87.65840
0.45	44.33265	37.61349	74.10148
0.50	41.38757	35.63001	63.06761
0.55	38.63814	33.56037	53.98183
0.60	36.02044	31.25374	46.52664
0.65	33.47925	28.49237	40.57997
0.70	30.96119	25.09313	36.06421
0.75	28.40728	21.15184	32.66827
0.80	25.74135	16.98186	29.87982
0.85	22.84619	12.81271	27.24893
0.90	19.49797	8.71588	24.37894
0.91	18.73575	7.90253	23.72970
0.92	17.92762	7.08914	23.03891
0.93	17.06274	6.27422	22.29495
0.94	16.12593	5.45575	21.48147
0.95	15.09477	4.63095	20.57414
0.96	13.93387	3.79574	19.53388
0.97	12.58148	2.94378	18.29101
0.98	10.91151	2.06380	16.69848
0.99	8.57542	1.13053	14.32846

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=96 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Fiducial Lower	95 Percent Fiducial Upper
0.01	2.11274	1.90578	2.70758
0.02	2.02165	1.84388	2.53008
0.03	1.96781	1.80716	2.42529
0.04	1.92921	1.78076	2.35024
0.05	1.89895	1.76000	2.29148
0.06	1.87397	1.74281	2.24301
0.07	1.85262	1.72807	2.20163
0.08	1.83392	1.71513	2.16544
0.09	1.81725	1.70355	2.13320
0.10	1.80217	1.69305	2.10408
0.15	1.74226	1.65089	1.98876
0.20	1.69714	1.61849	1.90261
0.25	1.65989	1.59098	1.83219
0.30	1.62734	1.56605	1.77157
0.35	1.59777	1.54222	1.71770
0.40	1.57011	1.51828	1.66894
0.45	1.54359	1.49298	1.62453
0.50	1.51760	1.46486	1.58434
0.55	1.49161	1.43240	1.54849
0.60	1.46508	1.39443	1.51675
0.65	1.43742	1.35035	1.48813
0.70	1.40786	1.29965	1.46113
0.75	1.37531	1.24116	1.43409
0.80	1.33805	1.17217	1.40514
0.85	1.29294	1.08702	1.37173
0.90	1.23302	0.97244	1.32884
0.91	1.21794	0.94344	1.31821
0.92	1.20127	0.91132	1.30652
0.93	1.18258	0.87525	1.29346
0.94	1.16123	0.83398	1.27862
0.95	1.13624	0.78561	1.26132
0.96	1.10598	0.72696	1.24045
0.97	1.06738	0.65202	1.21394
0.98	1.01354	0.54733	1.17712
0.99	0.92245	0.36996	1.11509

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=96 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC 95	Percent Fiducial Lower	Limits Upper
0.01	129.64084	80.49649	510.01585
0.02	105.11209	69.80361	338.90901
0.03	92.85594	64.14484	266.25005
0.04	84.95870	60.36103	223.99680
0.05	79.24115	57.54371	195.64975
0.06	74.81118	55.31029	174.98779
0.07	71.22233	53.46518	159.08528
0.08	68.22152	51.89551	146.36520
0.09	65.65246	50.53057	135.89406
0.10	63.41236	49.32323	127.08014
0.15	55.24034	44.76043	97.44515
0.20	49.79030	41.54178	79.91117
0.25	45.69672	38.99220	67.94999
0.30	42.39705	36.81683	59.09824
0.35	39.60703	34.85132	52.20397
0.40	37.16300	32.98248	46.65949
0.45	34.96121	31.11574	42.12425
0.50	32.93034	29.16491	38.40116
0.55	31.01744	27.06469	35.35857
0.60	29.17975	24.79904	32.86638
0.65	27.37916	22.40539	30.77051
0.70	25.57743	19.93674	28.91578
0.75	23.73053	17.42433	27.16983
0.80	21.77949	14.86526	25.41820
0.85	19.63071	12.21867	23.53595
0.90	17.10088	9.38513	21.32262
0.91	16.51739	8.77894	20.80718
0.92	15.89538	8.15312	20.25437
0.93	15.22566	7.50319	19.65456
0.94	14.49526	6.82304	18.99407
0.95	13.68490	6.10399	18.25235
0.96	12.76393	5.33283	17.39618
0.97	11.67838	4.48762	16.36599
0.98	10.31667	3.52642	15.03541
0.99	8.36470	2.34400	13.03440

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองของสารเคมีกำจัดคราบน้ำมันในสภาพสารละลายเดี่ยว โดยวิธี Probit analysis

Output from Probit Procedure

----- HR=24 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Fiducial Lower	95 Percent Fiducial Upper
0.01	1.78820	1.60240	2.71442
0.02	1.73571	1.57068	2.55648
0.03	1.70469	1.55190	2.46316
0.04	1.68245	1.53841	2.39627
0.05	1.66501	1.52783	2.34385
0.06	1.65062	1.51908	2.30058
0.07	1.63831	1.51159	2.26361
0.08	1.62754	1.50503	2.23125
0.09	1.61794	1.49917	2.20240
0.10	1.60925	1.49386	2.17631
0.15	1.57472	1.47272	2.07271
0.20	1.54873	1.45670	1.99479
0.25	1.52726	1.44339	1.93052
0.30	1.50850	1.43168	1.87446
0.35	1.49147	1.42095	1.82363
0.40	1.47553	1.41081	1.77618
0.45	1.46025	1.40096	1.73080
0.50	1.44527	1.39114	1.68651
0.55	1.43030	1.38110	1.64244
0.60	1.41501	1.37051	1.59780
0.65	1.39907	1.35890	1.55181
0.70	1.38204	1.34544	1.50371
0.75	1.36328	1.32831	1.45308
0.80	1.34181	1.30253	1.40127
0.85	1.31582	1.25519	1.35469
0.90	1.28130	1.16793	1.31719
0.91	1.27261	1.14382	1.30991
0.92	1.26300	1.11667	1.30234
0.93	1.25223	1.08579	1.29430
0.94	1.23993	1.05011	1.28553
0.95	1.22553	1.00799	1.27563
0.96	1.20810	0.95660	1.26402
0.97	1.18586	0.89066	1.24958
0.98	1.15483	0.79823	1.22990
0.99	1.10234	0.64122	1.19726

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=24 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC	95 Percent Lower	Fiducial Limits Upper
0.01	61.40449	40.03105	518.11112
0.02	54.41439	37.21162	360.14856
0.03	50.66277	35.63660	290.50643
0.04	48.13336	34.54704	249.03882
0.05	46.23936	33.71527	220.72526
0.06	44.73173	33.04275	199.79378
0.07	43.48239	32.47802	183.49081
0.08	42.41714	31.99092	170.31474
0.09	41.48926	31.56224	159.36798
0.10	40.66756	31.17907	150.07670
0.15	37.55979	29.69717	118.22384
0.20	35.37769	28.62205	98.80776
0.25	33.67131	27.75814	85.21614
0.30	32.24815	27.01960	74.89643
0.35	31.00774	26.36036	66.62449
0.40	29.89037	25.75194	59.72834
0.45	28.85678	25.17437	53.80276
0.50	27.87867	24.61170	48.58548
0.55	26.93371	24.04902	43.89708
0.60	26.00235	23.46964	39.60950
0.65	25.06536	22.85072	35.62962
0.70	24.10123	22.15357	31.89426
0.75	23.08256	21.29638	28.38429
0.80	21.96922	20.06921	25.19266
0.85	20.69288	17.99655	22.63011
0.90	19.11155	14.72065	20.75835
0.91	18.73304	13.92582	20.41298
0.92	18.32326	13.08198	20.06060
0.93	17.87436	12.18395	19.69266
0.94	17.37514	11.22310	19.29857
0.95	16.80862	10.18563	18.86381
0.96	16.14722	9.04905	18.36603
0.97	15.34105	7.77429	17.76574
0.98	14.28336	6.28398	16.97857
0.99	12.65738	4.37740	15.74927

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=48 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Fiducial Lower	95 Percent Fiducial Upper
0.01	1.82084	1.62383	2.71765
0.02	1.76074	1.58696	2.55002
0.03	1.72522	1.56514	2.45097
0.04	1.69976	1.54947	2.37998
0.05	1.67979	1.53717	2.32435
0.06	1.66331	1.52700	2.27843
0.07	1.64922	1.51830	2.23920
0.08	1.63689	1.51067	2.20485
0.09	1.62589	1.50386	2.17424
0.10	1.61595	1.49770	2.14655
0.15	1.57642	1.47312	2.03662
0.20	1.54665	1.45449	1.95397
0.25	1.52207	1.43900	1.88581
0.30	1.50060	1.42536	1.82638
0.35	1.48109	1.41284	1.77253
0.40	1.46284	1.40097	1.72230
0.45	1.44534	1.38940	1.67432
0.50	1.42820	1.37780	1.62758
0.55	1.41105	1.36580	1.58123
0.60	1.39355	1.35292	1.53456
0.65	1.37530	1.33833	1.48705
0.70	1.35580	1.32033	1.43868
0.75	1.33432	1.29481	1.39113
0.80	1.30974	1.25301	1.34928
0.85	1.27998	1.18535	1.31566
0.90	1.24045	1.08288	1.28362
0.91	1.23050	1.05619	1.27646
0.92	1.21950	1.02647	1.26875
0.93	1.20717	0.99293	1.26032
0.94	1.19308	0.95444	1.25089
0.95	1.17660	0.90919	1.24005
0.96	1.15664	0.85419	1.22712
0.97	1.13117	0.78379	1.21085
0.98	1.09565	0.68533	1.18844
0.99	1.03555	0.51832	1.15096

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=48 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC	95 Percent Lower	Fiducial Limits Upper
0.01	66.19729	42.05606	521.97118
0.02	57.64277	38.63351	354.82634
0.03	53.11563	36.73977	282.46602
0.04	50.09046	35.43766	239.87035
0.05	47.84022	34.44811	211.03239
0.06	46.05852	33.65090	189.85767
0.07	44.58864	32.98350	173.45892
0.08	43.34016	32.40933	160.27052
0.09	42.25639	31.90519	149.36103
0.10	41.29955	31.45549	140.13743
0.15	37.70641	29.72453	108.79797
0.20	35.20895	28.47689	89.94309
0.25	33.27142	27.47912	76.87932
0.30	31.66628	26.62923	67.04715
0.35	30.27561	25.87256	59.22838
0.40	29.02976	25.17525	52.75888
0.45	27.88330	24.51330	47.24115
0.50	26.80386	23.86697	42.42060
0.55	25.76620	23.21670	38.12638
0.60	24.74863	22.53830	34.24190
0.65	23.73022	21.79386	30.69340
0.70	22.68807	20.90898	27.45849
0.75	21.59351	19.71556	24.61086
0.80	20.40523	17.90629	22.35025
0.85	19.05370	15.32328	20.68525
0.90	17.39599	12.10255	19.21414
0.91	17.00209	11.38136	18.89972
0.92	16.57693	10.62850	18.56746
0.93	16.11278	9.83863	18.21043
0.94	15.59856	9.00399	17.81920
0.95	15.01763	8.11310	17.37989
0.96	14.34299	7.14802	16.87023
0.97	13.52609	6.07843	16.25004
0.98	12.46378	4.84537	15.43268
0.99	10.85311	3.29851	14.15649

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=72 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Fiducial Lower	95 Percent Fiducial Upper
0.01	1.65035	1.54667	1.91305
0.02	1.60494	1.51481	1.83246
0.03	1.57810	1.49592	1.78486
0.04	1.55886	1.48236	1.75077
0.05	1.54378	1.47170	1.72407
0.06	1.53132	1.46288	1.70205
0.07	1.52068	1.45533	1.68324
0.08	1.51136	1.44870	1.66678
0.09	1.50305	1.44278	1.65212
0.10	1.49553	1.43742	1.63887
0.15	1.46566	1.41597	1.58634
0.20	1.44317	1.39963	1.54699
0.25	1.42460	1.38593	1.51468
0.30	1.40837	1.37374	1.48668
0.35	1.39364	1.36240	1.46152
0.40	1.37985	1.35145	1.43832
0.45	1.36663	1.34049	1.41653
0.50	1.35367	1.32910	1.39584
0.55	1.34071	1.31674	1.37610
0.60	1.32749	1.30275	1.35735
0.65	1.31370	1.28625	1.33970
0.70	1.29896	1.26635	1.32309
0.75	1.28274	1.24218	1.30708
0.80	1.26416	1.21254	1.29072
0.85	1.24168	1.17504	1.27252
0.90	1.21181	1.12384	1.24974
0.91	1.20429	1.11081	1.24415
0.92	1.19598	1.09636	1.23802
0.93	1.18666	1.08011	1.23120
0.94	1.17602	1.06149	1.22345
0.95	1.16356	1.03965	1.21445
0.96	1.14848	1.01314	1.20360
0.97	1.12924	0.97923	1.18985
0.98	1.10240	0.93183	1.17078
0.99	1.05699	0.85144	1.13870

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=72 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC	95 Percent Lower	Fiducial Limits Upper
0.01	44.70451	35.21061	81.85673
0.02	40.26642	32.71963	67.99184
0.03	37.85316	31.32740	60.93458
0.04	36.21254	30.36376	56.33433
0.05	34.97645	29.62769	52.97539
0.06	33.98764	29.03217	50.35537
0.07	33.16483	28.53178	48.22102
0.08	32.46074	28.09986	46.42796
0.09	31.84550	27.71947	44.88661
0.10	31.29912	27.37920	43.53777
0.15	29.21884	26.05985	38.57785
0.20	27.74436	25.09732	35.23594
0.25	26.58279	24.31806	32.71009
0.30	25.60794	23.64506	30.66785
0.35	24.75353	23.03578	28.94147
0.40	23.97993	22.46225	27.43583
0.45	23.26084	21.90240	26.09346
0.50	22.57715	21.33516	24.87933
0.55	21.91356	20.73688	23.77401
0.60	21.25644	20.07915	22.76944
0.65	20.59212	19.33071	21.86241
0.70	19.90507	18.46510	21.04233
0.75	19.17510	17.46539	20.28057
0.80	18.37230	16.31322	19.53063
0.85	17.44517	14.96380	18.72912
0.90	16.28569	13.29971	17.77215
0.91	16.00627	12.90666	17.54501
0.92	15.70290	12.48423	17.29910
0.93	15.36953	12.02560	17.02932
0.94	14.99745	11.52102	16.72834
0.95	14.57346	10.95596	16.38502
0.96	14.07600	10.30708	15.98104
0.97	13.46592	9.53299	15.48289
0.98	12.65888	8.54725	14.81759
0.99	11.40216	7.10301	13.76255

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=96 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on Log10 (CONC)

Probability	Log10 (CONC)	95 Percent Fiducial Lower	95 Percent Fiducial Upper
0.01	1.57547	1.50069	1.73676
0.02	1.53617	1.47172	1.67443
0.03	1.51294	1.45453	1.63765
0.04	1.49629	1.44218	1.61132
0.05	1.48324	1.43246	1.59072
0.06	1.47246	1.42441	1.57372
0.07	1.46325	1.41752	1.55922
0.08	1.45519	1.41146	1.54654
0.09	1.44799	1.40604	1.53525
0.10	1.44149	1.40113	1.52505
0.15	1.41564	1.38142	1.48471
0.20	1.39618	1.36629	1.45463
0.25	1.38011	1.35350	1.43008
0.30	1.36607	1.34197	1.40897
0.35	1.35331	1.33110	1.39022
0.40	1.34138	1.32040	1.37320
0.45	1.32994	1.30947	1.35754
0.50	1.31873	1.29794	1.34303
0.55	1.30751	1.28541	1.32951
0.60	1.29607	1.27153	1.31680
0.65	1.28414	1.25598	1.30463
0.70	1.27139	1.23836	1.29262
0.75	1.25734	1.21811	1.28025
0.80	1.24127	1.19419	1.26682
0.85	1.22181	1.16458	1.25122
0.90	1.19596	1.12461	1.23114
0.91	1.18946	1.11447	1.22616
0.92	1.18227	1.10324	1.22068
0.93	1.17420	1.09062	1.21457
0.94	1.16499	1.07618	1.20762
0.95	1.15421	1.05924	1.19951
0.96	1.14116	1.03869	1.18974
0.97	1.12451	1.01242	1.17732
0.98	1.10128	0.97570	1.16008
0.99	1.06198	0.91344	1.13104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Output from Probit Procedure

----- HR=96 -----

Probit Procedure
Probit Analysis on CONC

Probability	CONC	95 Percent Lower	Fiducial Limits Upper
0.01	37.62422	31.67283	54.54539
0.02	34.36943	29.62906	47.25346
0.03	32.57953	28.47958	43.41642
0.04	31.35395	27.68057	40.86243
0.05	30.42563	27.06819	38.96862
0.06	29.67984	26.57131	37.47321
0.07	29.05703	26.15273	36.24254
0.08	28.52242	25.79058	35.19962
0.09	28.05401	25.47092	34.29624
0.10	27.63699	25.18435	33.50036
0.15	26.04011	24.06678	30.52884
0.20	24.89900	23.24290	28.48559
0.25	23.99432	22.56812	26.92010
0.30	23.23094	21.97733	25.64335
0.35	22.55867	21.43365	24.55975
0.40	21.94727	20.91201	23.61569
0.45	21.37657	20.39257	22.77931
0.50	20.83176	19.85805	22.03066
0.55	20.30084	19.29339	21.35536
0.60	19.77296	18.68672	20.73952
0.65	19.23706	18.02921	20.16654
0.70	18.68036	17.31252	19.61634
0.75	18.08605	16.52373	19.06549
0.80	17.42891	15.63836	18.48508
0.85	16.66515	14.60766	17.83278
0.90	15.70223	13.32318	17.02708
0.91	15.46882	13.01591	16.83304
0.92	15.21478	12.68366	16.62205
0.93	14.93485	12.32036	16.38962
0.94	14.62145	11.91734	16.12928
0.95	14.26305	11.46151	15.83113
0.96	13.84076	10.93174	15.47888
0.97	13.32009	10.29003	15.04263
0.98	12.62641	9.45578	14.45705
0.99	11.53412	8.19296	13.52204

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองของสารละลายผสมร่วมน้ำมันดิบส่วนที่ละลายน้ำและสารเคมีจัดคราบน้ำมัน โดย

Response surface analysis

The SAS System
Response Surface for Variable M24

Response Mean 34.583333
Root MSE 5.707834
R-Square 0.9195
Coef. of Variation 16.5046

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	2	15573	0.9165	239.0	0.0000
Quadratic	2	41.666667	0.0025	0.639	0.5326
Crossproduct	1	8.3333333	0.0005	0.256	0.6157
Total Regress	5	15623	0.9195	95.909	0.0000

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	10	235.000000	23.500000	0.664	0.7488
Pure Error	32	1133.333333	35.416667		
Total Error	42	1368.333333	32.579365		

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Parameter Estimate from Coded Data
INTERCEPT	1	-160.750000	93.808670	-1.714	0.0940	35.104167
OIL	1	1.178571	1.291201	0.913	0.3666	22.000000
DISP	1	11.500000	8.734804	1.317	0.1951	10.000000
OIL*OIL	1	0.008503	0.016813	0.506	0.6157	0.937500
DISP*OIL	1	0.023810	0.047077	0.506	0.6157	0.750000
DISP*DISP	1	-0.208333	0.205964	-1.012	0.3176	-1.875000

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
OIL	3	12923	4307.777778	132.2	0.0000
DISP	3	2708.333333	902.777778	27.710	0.0000

Canonical Analysis of Response Surface
(based on coded data)

Factor	Critical Value Coded	Value Uncoded
OIL	-11.851852	-99.944444
DISP	0.296296	21.888889

Predicted value at stationary point -93.784722

Eigenvalues	Eigenvectors	
	OIL	DISP
0.986641	0.991523	0.129933
-1.924141	-0.129933	0.991523

Stationary point is a saddle point.

The SAS System
Response Surface for Variable M48

Response Mean 49.791667
Root MSE 6.826942
R-Square 0.8828
Coef. of Variation 13.7110

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	2	14618	0.8754	156.8	0.0000
Quadratic	2	70.833333	0.0042	0.760	0.4740
Crossproduct	1	52.083333	0.0031	1.117	0.2965
Total Regress	5	14740	0.8828	63.254	0.0000

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	10	290.833333	29.083333	0.558	0.8347
Pure Error	32	1666.666667	52.083333		
Total Error	42	1957.500000	46.607143		

Estimate	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Parameter from Coded Data
INTERCEPT	1	-234.250000	112.201306	-2.088	0.0429	51.875000
OIL	1	3.767857	1.544360	2.440	0.0190	19.875000
DISP	1	16.520833	10.447397	1.581	0.1213	12.375000
OIL*OIL	1	-0.012755	0.020110	-0.634	0.5293	-1.406250
DISP*OIL	1	-0.059524	0.056308	-1.057	0.2965	-1.875000
DISP*DISP	1	-0.260417	0.246346	-1.057	0.2965	-2.343750

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
OIL	3	10605	3534.861111	75.844	0.0000
DISP	3	4187.916667	1395.972222	29.952	0.0000

Canonical Analysis of Response Surface
(based on coded data)

Factor	Critical Coded	Critical Uncoded
OIL	7.236364	100.481818
DISP	-0.254545	20.236364

Predicted value at stationary point 122.211364

Eigenvalues	Eigenvectors	
	OIL	DISP
-0.826843	0.850651	-0.525731
-2.923157	0.525731	0.850651

Stationary point is a maximum.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The SAS System
Response Surface for Variable M72

Response Mean 57.708333
Root MSE 7.672100
R-Square 0.8599
Coef. of Variation 13.2946

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	2	14618	0.8283	124.2	0.0000
Quadratic	2	404.166667	0.0229	3.433	0.0416
Crossproduct	1	154.083333	0.0087	2.618	0.1132
Total Regress	5	15176	0.8599	51.565	0.0000

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	10	538.833333	53.883333	0.892	0.5509
Pure Error	32	1933.333333	60.416667		
Total Error	42	2472.166667	58.861111		

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Parameter Estimate from Coded Data
INTERCEPT	1	-271.300000	126.091526	-2.152	0.0372	62.395833
OIL	1	6.751190	1.735548	3.890	0.0004	19.875000
DISP	1	17.570833	11.740757	1.497	0.1420	12.375000
OIL*OIL	1	-0.055272	0.022599	-2.446	0.0187	-6.093750
DISP*OIL	1	-0.102381	0.063278	-1.618	0.1132	-3.225000
DISP*DISP	1	-0.260417	0.276843	-0.941	0.3523	-2.343750

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
OIL	3	11040	3679.972222	62.520	0.0000
DISP	3	4289.916667	1429.972222	24.294	0.0000

Canonical Analysis of Response Surface
(based on coded data)

Factor	Critical Coded	Value Uncoded
OIL	1.139667	36.466505
DISP	1.855909	26.567727

Predicted value at stationary point 85.204713

Eigenvalues	Eigenvectors	
	OIL	DISP
-1.745739	-0.347717	0.937599
-6.691761	0.937599	0.347717

Stationary point is a maximum.

The SAS System
Response Surface for Variable M96

Response Mean 66.041667
Root MSE 5.282871
R-Square 0.9160
Coef. of Variation 7.9993

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	2	12551	0.8998	224.9	0.0000
Quadratic	2	70.833333	0.0051	1.269	0.2917
Crossproduct	1	154.083333	0.0110	5.521	0.0236
Total Regress	5	12776	0.9160	91.554	0.0000

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	10	638.833333	63.883333	3.833	0.8018
Pure Error	32	533.333333	16.666667		
Total Error	42	1172.166667	27.908730		

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T	Parameter Estimate from Coded Data
INTERCEPT	1	-51.300000	86.824384	-0.591	0.5578	66.562500
OIL	1	4.965476	1.195068	4.155	0.0002	18.625000
DISP	1	-0.345833	8.084476	-0.0428	0.9661	11.125000
OIL*OIL	1	-0.021259	0.015562	-1.366	0.1792	-2.343750
DISP*OIL	1	-0.102381	0.043572	-2.350	0.0236	-3.225000
DISP*DISP	1	0.156250	0.190629	0.820	0.4170	1.406250

Factor	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
OIL	3	9456.583333	3152.194444	112.9	0.0000
DISP	3	3473.250000	1157.750000	41.483	0.0000

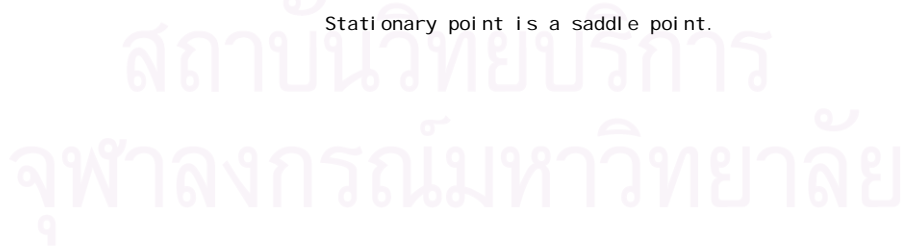
Canonical Analysis of Response Surface
(based on coded data)

Factor	Critical Value Coded	Value Uncoded
OIL	3.742373	63.794914
DISP	0.335699	22.007096

Predicted value at stationary point 103.280669

Eigenvalues	Eigenvectors	
	OIL	DISP
2.004261	-0.347717	0.937599
-2.941761	0.937599	0.347717

Stationary point is a saddle point.



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศุภสินี เนียมแสง เกิดเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย