

# 海洋生態系の 營養段階別 水産生物에 미치는 油類 및 油分散處理劑의 危害性 評價

周壽東\* · 俞洪善\*\*

## Risk Assessment of Oil and Dispersants to Marine Organisms of Each Trophic Level in Marine Ecosystem

Chu, Soo Dong\* · Yoo, Hong Sun\*\*

### Abstract

Laboratory bioassays were conducted to determine the risk assessment of crude oil and dispersants to marine organisms of each trophic level in marine ecosystem.

#### 1. The risks to producers

(1) The  $EC_{50}$  of the sea weed, *Undaria pinnatifida* to Hi-Clean, mixture of Kuwait crude oil and Hi Clean at 2,000lux light intensity for 96hr were 1,734ppm and 69ppm, respectively, and to Hi Clean, mixture of Kuwait crude oil and Hi Clean at 5,000lux light intensity for 96hr were 3,981ppm and 188ppm, respectively.

(2) The  $EC_{50}$  of the sea weed, *Porphyra tenera* to Hi Clean, mixture of Kuwait crude oil and Hi Clean at 3,000lux light intensity for 96hr were 862ppm and 47ppm, respectively, and to Hi-Clean, mixture of Kuwait crude oil and Hi Clean at 10,000lux light intensity for 96hr were 2,171ppm and 246ppm, respectively.

\* 한국해양대학교 해양공학과 박사과정 해양공학 전공

\*\* 한국해양대학교 해양공학과 교수

## 2. The risks to consumers

(1) The  $LC_{50}$  of the rotifer, *Brachionus plicatylis* to World-Clean at 25°C and 15°C for 48hr were 5,848ppm and 3,265ppm, respectively, and to the mixture of Kuwait crude oil and World-Clean at 25°C and 15°C for 48hr were 1,035ppm and 855ppm, respectively.

(2) The  $LC_{50}$  of the short-necked clam, *Tapes philippinarum* to Hi-Clean and World-Clean at 23°C for 96hr were 2,035ppm and 6,119ppm, respectively, and to Hi-Clean and World-Clean at 15°C for 96hr were 22,299ppm and 18,937ppm, respectively.

And the  $LC_{50}$  of the short-necked clam, *T. philippinarum* at 23°C for 96hr to the mixture of crude oils and dispersants were as follows : the mixture of Shangri crude oil and Hi-Clean, 577ppm, Bunker-C oil and Hi-Clean, 532ppm, Malaysia crude oil and Hi-Clean, 325ppm, Ecuador crude oil and Hi-Clean, 85ppm, Orient oil and Sea-Clean, 30ppm, Brunei crude oil and Sea-Clean 31ppm, and the  $LC_{50}$  for 96hr at 13°C to the mixture of Bunker-C oil and Hi-Clean was 1,872ppm, Shangri crude oil and Hi-Clean, 1,717ppm, Malaysia crude oil and Hi-Clean, 1,131ppm, Ecuador crude oil and Hi-Clean, 926ppm, the mixture of Orient oil and Sea-Clean, Brunei crude oil and Sea-Clean were 258ppm and 217ppm, respectively.

And the  $EC_{50}$  of the short-necked clam, *T. philippinarum* to Hi-Clean and to the mixture of Malaysia crude oil and Hi-Clean for 96hr at 23°C were 3,335ppm and 2,111ppm, respectively.

(3) The  $LC_{50}$  of the oyster, *Crassostrea gigas* to Hi-Clean for 96hr at 23°C and 13°C were 7,150ppm and 7,511ppm, respectively, and to the mixture of Shangri crude oil and Hi-Clean were 793 and 1,080ppm, respectively.

And the  $EC_{50}$  of the oyster, *C. gigas* to Hi-Clean at 13°C and 23°C for 96hr were 4,339ppm and 5,593ppm, respectively, and to the mixture of Shangri crude oil and Hi-Clean were 489 and 578ppm, respectively.

(4) The  $LC_{50}$  of the oriental brown shrimp, *Penaeus japonicus* to World-Clean for 48hr at 23°C and 13°C were 957ppm and 2,934ppm, respectively, and the  $LC_{50}$  to the mixture of Ecuador crude oil and World-Clean for 48hr at 23°C was 79ppm.

And the  $EC_{50}$  of the oriental brown shrimp, *P. japonicus* to World-Clean and to the mixture of Ecuador crude oil and World-Clean for 48hr at 23°C were 1,121 ppm

and 82ppm, respectively.

(5) The  $LC_{50}$  of the sweet fish, *Plecoglossus altivelis* to Hi-Clean for 48hr at 23°C and 13°C were 34ppm and 87ppm, respectively, and the  $LC_{50}$  to the mixture of Kuwait crude oil and Hi-Clean for 48hr. at 23°C was 20ppm.

And the  $EC_{50}$  of the sweet fish, *P. altivelis* to Hi-Clean and to the mixture of Kuwait crude oil and Hi-Clean for 48hr at 23°C were 31ppm and 21ppm, respectively.

(6) The  $LC_{50}$  of the olive flounder, *Paralichthys oilvaceus* to World Clean at 13°C and 23°C for 96hr were 5,950ppm and 2,297ppm, respectively, and to the mixture of Kuwait crude oil and Hi-Clean were 191ppm and 135 ppm, respectively.

And the  $EC_{50}$  of the olive flounder, *P. oilvaceus* to World Clean for 96hr at 13°C and 23°C were 3,133ppm and 1,267ppm respectively, and to the mixture of Ecuador crude oil and World Clean were 213ppm and 117ppm, respectively.

(7) The sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*, when exposed to concentration of 100~5,000ppm mixture of Kuwait crude oil and Hi-Clean at 20°C, fertilization rate on sperm test were 98.7~99.9% and ovum test was 53.7% when exposed to concentration of 5,000ppm. And developmental rate on two blastomere and four blastomere were 11.4% and 18.5% when exposed to concentration of 5,000ppm, respectively.

The higher water temperature aggravated the harmful effects of the oil and dispersants, and both on the producers and consumers experimented.

The dispersants commercially sold in Korea seemed relatively harmless on each trophic level in marine ecosystem, however, the mixture of oil and dispersants seemed to have harmful effects on each trophic level.

In terms of risk order of dispersants, comes Hi-Clean, World Clean and Sea Clean in this order.

In case of oil regarding risk assessment, comes Bunker C oil, Shangri crude oil, Malaysia crude oil, Ecuador crude oil, Kuwait crude oil, Brunei crude oil and Orient oil in this order.

As for the effects of dispersants and the mixture of oil and dispersant on the rate of photosynthesis, mortality, oxygen consumption, *plecoglossus altivelis* was most extremely affected, then comes *Penaeus japonicus*, *Brachionus plicatylis*, *Strongylocentrotus intermedius*, *Porphyra tenera*, *Undaria pinnatifida*, *Crassostera*

*gigas* and *Tapes philippinarum* in this order. The producers, *Undaria pinnatifida* and *Porphyra tenera*, relatively sensitive to the toxicity of oil and the mixture of oil and dispersant, may decrease in primary production when attacked by oil or oil and dispersant mixtures. This may partially destroy ecosystem balance and energy budget in marine ecosystem.

## 1. 序 論

해상 수송 물동량의 증가와 특히 연안 유류 수송량의 증가에 따라 해양에서는 油槽船 등의 海難事故로 인한 해양오염 사고가 발생하고 있으며, 최근 우리 나라 해역에서 流出油에 의한 해양오염 사고가 頻發하고 있다.

유출유는 대기와 海水層을 遮斷하고, 汚染 敏感海域(연안 양식장, 갯벌, 潮間帶 등)으로 油類가 漂着하여 이로 인한 水生生物에 대한 생리적 저해와 유출유 자체 독성으로 인한 해양생태계의 營養段階別 해양생물에 많은 沮害을 주어 수산자원 감소를 초래할 뿐만아니라 인간의 활동에도 많은 制約과 피해를 주고있다.

따라서 유류로 오염된 해양환경을 保全해야 할 필요성이 대두되고 있지만, 현재 우리 나라는 物理的 防除裝備의 부족과 防除 能力이 부진한 실정이다.

이에 유류오염 방제를 위하여 유출유를 分散, 沈降시켜 生物 分解할 수 있는 油分散 處理劑를 주로 撒布하고 있다. 그러나 충분한 意思決定에 의하여 유분산처리제를 適定하게 사용하지 못하고 無分別하게 사용함으로써, 2次汚染이 誘發되어 유분산처리제 및 분산 처리된 유류 자체의 독성에 의한 수산생물에 미치는 저해를 가중시키고 있다.

이러한 유류 및 유분산처리제의 해양생물에 미치는 영향에 대한 연구가 외국에서는 다수 이루어졌으나, 국내에서는 이에 대한 연구가 한국해양연구소 등에 의하여 斷片的으로 이루어졌으며, 또한 자료의 축적이 미흡한 실정이다.

본 연구는 해양생태계의 生産者와 消費者에 미치는 油類 및 油分散處理劑의 沮害性(LC<sub>50</sub> 및 EC<sub>50</sub>)을 糾明하여, 유분산처리제의 定量的 使用許容基準과 수산생물에 미치는 影響 試驗方法 提示, 유류오염에 의한 생태 민감해역의 지정으로, 해양생태 보전 및 效率的인 유류오염 방제를 위한 기초 자료를 提供하고자 한다.

## 2. 實驗 材料 및 方法

### 2.1 實驗 材料

生産者는 미역(*Undaria pinnatifida*, 葉長 14~16cm) 및 참김(*Porphyra tenera*, 葉

장 8~15cm)을 이용하였고, 消費者는 로티피(*Brachionus plicatilis*, 부화후 1일째), 바지락(*Tapes philippinarum*, 각장 3cm), 참굴(*Crassostera gigas*, 각장 4cm), 보리새우(*Penaeus japonicus*, 체장 3cm), 은어(*Plecoglossus altivelis*, 체장 4cm), 넙치(*Paralichthys olivaceus*, 체장 5cm) 및 세치성게(*Strongylocentrotus intermedius*, 각강 7cm)를 이용하였다.

그리고 油分散處理劑는 市販되고 있는 Hi Clean, World Clean 및 Sea Clean 등 3종류를 이용하였고, 油類는 Kuwait産 原油, Malaysia産 원유, Ecuador産 원유, Shangri産 원유 및 Brunei産 원유, Orient 油 및 Bunker C油 등 7종류를 실험에 이용하였다.

## 2.2 實驗 方法

생산자(미역, 참김)에 미치는 沮害性 實驗의 경우, 유분산처리제(Hi-Clean)는 원액을 稀釋하였고, 쿠웨이트산 원유 5와 Hi Clean 1의 비율로 혼합하여 50, 100, 250, 500, 1,000, 2500, 5000 및 10,000ppm 濃度區로 설정하였다. 250ml 플라스틱 비커 사용하여 半流水式으로 에어레이션하였고, 照度는 2000lux 및 5000lux(미역), 3,000lux 및 10,000lux(참김) 실험구를 設定하여, 鹽分은 33~34‰, 水溫은 10℃(김) 및 13℃(미역)를 유지하였다. 실험액을 5분간 攪拌하면서 1~4일간 배양한 후 Biological Oxygen Monitor와 Clark type電極으로 光合成量과 呼吸量을 측정, 1분간의 乾燥重量當 酸素交換量 算定하여, 총광합성(순광합성량-호흡량)減少率로 계산하였다. 이 자료를 Probit 분석하여 EC<sub>50</sub>(Median Effective Concentration)을 구하였다.

소비자인 로티피에 미치는 저해성 실험의 경우, 유분산처리제(Hi-Clean)는 원액을 희석하였고, 쿠웨이트산 원유 5와 Hi Clean 1의 비율로 混合하여 50, 100, 250, 500, 1000, 2500, 5000 및 10,000ppm의 농도구로 설정하였다. 실험용기는 250ml 삼각플라스틱을 이용하여 恒溫器 內에서 에어레이션하면서 배양하였다. 염분은 28.7‰, 조도는 5000lux, 수온은 15℃ 및 25℃ 실험구로 설정하여 배양 개체수 10cells/ml로 48시간 동안 먹이를 공급하지 않고 배양하면서 12시간 단위로 死亡率을 계산하였다.

소비자인 바지락, 참굴, 보리새우, 은어 및 넙치에 미치는 저해성 실험의 경우, Hi Clean 및 World Clean 원액 희석, 에콰도르산 원유, 말레이시아산 원유, 상리산 원유, 쿠웨이트산 원유, 브루나이산 원유, 오리엔트 유 및 병커-C油 5와 Hi Clean, World Clean 및 Sea-Clean 1의 비율로 혼합하여 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 2500, 5000, 10,000, 15,000, 20,000, 30,000 및 50,000ppm의 농도구로 설정하였다. 360L 사각유리수조를 이용하여 止水式으로 에어레이션하면서 실험하였고, 수온 13℃ 및 23℃ 실험구로 설정하여 염분은 34.2‰ 유지, 24시간 照明하면서 먹이는 공급하지 않고 4

일동안 2~4시간 단위로 死亡率을 계산하였다. 그리고 酸素消費量은 12~ 96시간 노출 후 生存 個體 중에서 1마리씩 선택하여 250~500ml 산소병에 수용하여 2시간 전후의 용존산소량을 산소검량기(YSI610 -DM)로 측정, 대조구와 비교하여 1시간 동안의 단위 체중당 산소소비감소율을 계산하였다.

앞에서 구한 斃死率 또는 死亡率, 酸素消費減少率을 이용하여 Probit 분석으로 LC<sub>50</sub> (Median Lethal Concentration) 및 EC<sub>50</sub>(Median Effective Concentration)을 구하였다.

새치성계에 미치는 저해성 실험은 쿠웨이트산 원유 10과 Hi-Clean 1의 비율로 혼합하여 100, 300, 500, 1000, 3000 및 5000ppm 농도구를 설정하였다. 염분은 33.4‰, 수온은 20℃로 유지하면서 multiwell plate 및 항온기를 이용하여 受精率 및 卵發生率을 실험하였다.

受精準備는 0.5MKCl용액 1~2ml를 새치성계의 체내에 주입하여 精子 또는 卵자를 분리한 후 비커 또는 endorf tube에 받는다. 이때 난자는 沈澱시켜 上層液은 3회 반복하여 제거하면서 粘液質의 卵膜을 洗滌하여 난자 농도는 1000eggs/ml되게 하고, 정자는 세척하지 않고 연한 우유빛을 띄도록 희석하였다. 이들은 5℃에 冷蔵 保管한 후 수정에 사용하였다.

正常 受精 實驗은 精子 및 卵자를 분리한 후 6시간 이내 수정 시켜, 受精膜의 有無를 확인하여 수정률을 계산하였다. 이때 수정률 90%이상 경우만 다음 단계로 실험하였다.

精子 毒性에 의한 저해성 실험은 25ml 여과해수에 2방울의 精子溶液을 첨가한 후 0.9ml를 취하여 0.1ml의 multiwell plate에 넣고 15분간 放置한다. 이후 1000cells/ml농도의 난자를 multiwell에 넣고 15분간 방치한 후 2% 포르마린 용액으로 고정하여 수정막의 유무로 수정률을 계산하였다.

卵子 毒性에 의한 저해성 실험은 1000cells/ml 농도의 미수정 난자 용액 0.9ml를 취하여 0.1ml의 multiwell에 넣고 2시간 放置 한다. 이후 정자 용액 0.1ml 添加하고 15분간 방치한 후 2%포르마린으로 고정하여 受精膜의 有無로 수정률을 계산하였다.

2細胞期 및 4細胞期の 난발생 저해성은 수정난 0.9ml를 0.1ml multiwell에 넣고 대조구의 난이 2세포기 및 4세포기로 될 때 까지 2시간 동안 배양한 후 2%포르말린으로 고정하여 2세포기 및 4세포기로 발생한 卵으로 發生率을 계산하였다.

### 3. 結果 및 要約

#### 3.1 生産者에 미치는 沮害性

##### 3.1.1 미역에 미치는 亞致死 沮害性

Hi-Clean의 照度 2,000lux(5,000lux)에서 半減影響濃度 (EC<sub>50</sub>)를 보면, 24hr- EC<sub>50</sub>은



9,353ppm(22,728ppm), 48hr-EC<sub>50</sub>은 4,158ppm(10,387ppm), 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 2,314ppm(6,884ppm) 및 1,734ppm(3,981ppm)으로 나타났다. 쿠웨이트産 原油와 Hi-Clean 混合液의 조도 2,000lux(5,000lux)에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-EC<sub>50</sub>은 324ppm(1,206ppm) 48hr-EC<sub>50</sub>은 172ppm(824ppm), 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 168ppm(520ppm) 및 69ppm(188ppm)으로 나타났다.

### 3.1.2 참김에 미치는 亞致死 沮害性

Hi Clean의 照度 3,000lux(10,000lux)에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-EC<sub>50</sub>은 7,454ppm(20,736ppm)이었고, 48hr-EC<sub>50</sub>은 1,974ppm(7,295ppm), 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 1,284ppm(3,198ppm) 및 862ppm(2,171ppm)으로 나타났다. 쿠웨이트산 원유와 Hi Clean 혼합액의 조도3,000lux(10,000lux)에서 24hr-EC<sub>50</sub>은 388ppm(965ppm)이었고, 48hr-EC<sub>50</sub>은 192ppm(592ppm), 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 107ppm(420ppm) 및 47ppm(245ppm)으로 나타났다.

유분산처리제(Hi-Clean) 및 유류(Kuwait crude oil)와 유분산처리제(Hi Clean)혼합액이 照度別 光合成에 미치는 노출 4일째의 半減影響濃度(96hr-EC<sub>50</sub>)는 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

Table 1. Comparison of EC<sub>50</sub> of producers to the dispersant and the mixture of oil and dispersant on the rate of decrease in photosynthesis at various light intensity for 96hr

(unit: ppm)

	Hi-Clean				Kuwait crude oil + Hi-Clean			
	2,000lux	3,000lux	5,000lux	10,000lux	2,000lux	3,000lux	5,000lux	10,000lux
<i>Undaria pinnatifida</i>	1734	-	3981	-	69	-	520	-
<i>Porphyra tenera</i>	-	1079	-	2171	-	47	-	246

이와 같이 미역 및 참김의 光合成에 있어, 露出 濃度 50~10,000ppm 범위에서 모든 實驗區의 照度가 높을수록 광합성에 미치는 沮害性이 낮았으며, 조도에 따라 미치는 沮害性은 Hi-Clean보다 Kuwait crude oil와 Hi-Clean 混合液이 높았다. 또한 照度別 및 汚染物質別 미치는 沮害性은 미역이 참김보다 높음을 알 수 있었다.

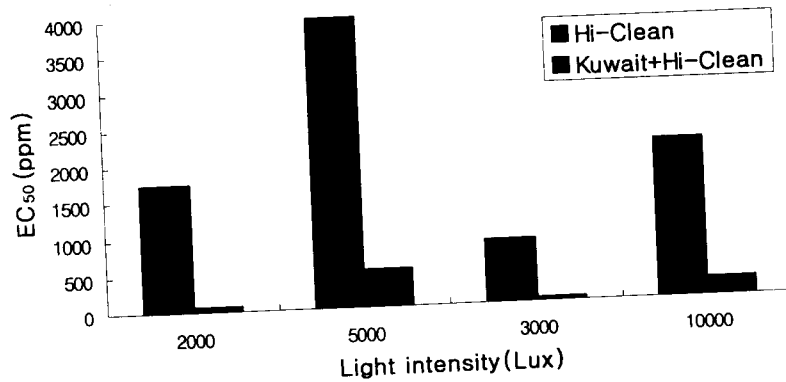
*Undaria pinnatifida**Porphyra tenera*

Fig. 1. Comparison of EC<sub>50</sub> of producers to the dispersant and the mixture of oil and dispersant on the rate of decrease in photosynthesis at various light intensity for 96hr.

### 3.2 消費者에 미치는 沮害性

#### 3.2.1 로티퍼에 미치는 致死 沮害性

Hi-Clean의 水溫 25℃(15℃)에서 半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)를 보면, 12hr-LC<sub>50</sub>은 13,029ppm (12,576ppm), 24hr-LC<sub>50</sub>은 9,465ppm(5,259ppm), 36hr-LC<sub>50</sub>은 7,273ppm (3,790ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 5,848ppm(3,265ppm)으로 나타났다. 쿠웨이트산 원유와 World-Clean혼합액의 수온 25℃(15℃)에서 반수치사농도를 보면, 12hr-LC<sub>50</sub>은 2,051ppm(2,244ppm), 24hr-LC<sub>50</sub>은 1,461ppm(1,750ppm), 36hr-LC<sub>50</sub> 및 48hr-LC<sub>50</sub>은 각각 1,196ppm(1,367ppm) 및 854ppm(1,034ppm)이었다.

#### 3.2.2 바지락에 미치는 致死 沮害性은

##### 가. 油分散處理劑에 의한 致死 沮害性

World-Clean의 水溫 23℃(13℃)에서 半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)를 보면, 24hr-LC<sub>50</sub>은 45,646ppm, 48hr-LC<sub>50</sub>은 29,334ppm(47,622ppm), 72hr-LC<sub>50</sub>은 14,503ppm (32,738 ppm), 96hr-LC<sub>50</sub>은 6,119ppm(18,936ppm)으로 나타났다.

그리고 Hi-Clean의 수온 23℃(13℃)에서 LC<sub>50</sub>를 보면, 24hr-LC<sub>50</sub>은 38,124ppm (52,362ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 26,570ppm(41,624ppm), 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각



8,938ppm(31,219ppm) 및 2,035ppm(22,299ppm)으로 나타났다.

나. 油類와 油分散處理劑의 混合液에 의한 致死 阻害性

말레이시아산 원유와 Hi-Clean혼합액의 수온 23℃(13℃)에서 LC<sub>50</sub>을 보면, 24hr LC<sub>50</sub>은 4,991ppm(6,853ppm), 48hr LC<sub>50</sub>은 1,116ppm(3,594ppm), 72hr LC<sub>50</sub>은 585ppm(1,901ppm), 96hr-LC<sub>50</sub>은 325ppm(1,131ppm)으로 나타났다.

에콰도르산 원유와 Hi-Clean혼합액의 水溫 23℃(13℃)에서, 24hr LC<sub>50</sub>은 7,594 ppm, 48hr LC<sub>50</sub>은 389ppm(5,520ppm), 72hr LC<sub>50</sub> 및 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각 135ppm (2,466ppm) 및 85ppm(926ppm)으로 나타났다.

Shangri산 원유와 Hi-Clean혼합액의 水溫 23℃(13℃)에서 LC<sub>50</sub>을 보면, 24hr LC<sub>50</sub>은 8,529ppm(20,507ppm), 48hr LC<sub>50</sub>은 4,359ppm(9,536ppm), 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr LC<sub>50</sub>은 각각 1,271ppm(4,458ppm) 및 576ppm(1,717ppm)으로 나타났다.

브루나이산 원유와 Sea Clean혼합액의 수온 23℃(13℃)에서 24hr-LC<sub>50</sub>은 3,149ppm (3,261ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 344ppm(1,230ppm), 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr LC<sub>50</sub>은 각각 72ppm (420ppm) 및 30ppm(216ppm)으로 나타났다. 브루나이산 원유와 Sea-Clean혼합액의 수온 23℃에서 24hr-LC<sub>50</sub>은 3,149ppm, 48hr LC<sub>50</sub>은 344ppm, 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr LC<sub>50</sub>은 각각 72ppm 및 30ppm이었고, 그리고 수온 13℃에서 24hr-LC<sub>50</sub>은 3,262ppm, 48hr-LC<sub>50</sub> 및 72hr-LC<sub>50</sub>은 각각 1,230ppm 및 420ppm이고, 96hr-LC<sub>50</sub>은 216ppm으로 나타났다.

오리엔트 유와 Sea-Clean혼합액의 수온 23℃(13℃)에서 24hr LC<sub>50</sub>은 5,104ppm이었으며, 48hr LC<sub>50</sub>은 223ppm(1,432ppm), 72hr LC<sub>50</sub> 및 96hr LC<sub>50</sub>은 각각 60 ppm (600ppm) 및 32ppm(258ppm)으로 나타났다.

Bunker C유와 Hi-Clean혼합액의 수온 23℃에서 48hr LC<sub>50</sub>은 12,614ppm, 72hr-LC<sub>50</sub>은 2,911ppm(4,962ppm), 96hr LC<sub>50</sub>은 532ppm(1,872ppm)으로 나타났다.

다. 亞致死 阻害性

Hi-Clean의 水溫 23℃에서 半減影響濃度(EC<sub>50</sub>)를 보면, 24hr EC<sub>50</sub>은 27,662 ppm, 48hr-EC<sub>50</sub>은 21,221ppm, 72hr EC<sub>50</sub>은 7,161ppm, 96hr-EC<sub>50</sub>은 3,335 ppm이었다. 그리고 말레이시아산 원유와 Hi-Clean혼합액의 수온 23℃에서 24hr-EC<sub>50</sub>은 15,928ppm, 48hr-EC<sub>50</sub>은 6,120ppm, 72hr EC<sub>50</sub>은 4,491ppm, 96hr-EC<sub>50</sub>은 2,111ppm으로 나타났다.

### 3.2.3 참굴에 미치는 致死 및 亞致死 沮害性

#### 가. 致死 沮害性

Hi-Clean의 水溫 23℃(13℃)에서 半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)를 보면, 노출 1일 및 2일째의 EC<sub>50</sub>은 전체 농도구간에서 거의 생존하였기 때문에 농도를 구하지 못했다. 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각 15,409ppm(18,412ppm), 7,150ppm(7,511ppm)으로 나타났다.

Shangri산 원유와 Hi-Clean혼합액의 수온 23℃(13℃)에서 LC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-LC<sub>50</sub>은 9,385ppm(11,488ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 3,856ppm(5,349ppm), 72hr-LC<sub>50</sub>은 2,181ppm(2,467ppm), 96hr-LC<sub>50</sub>은 793ppm(1,079ppm)으로 나타났다.

#### 나. 亞致死 沮害性

Hi-Clean의 수온 23℃(13℃)에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-EC<sub>50</sub> 및 48hr-EC<sub>50</sub>은 구하지 않았고, 72hr-EC<sub>50</sub>은 12,212ppm(11,887ppm), 96hr-EC<sub>50</sub>은 4,340ppm(5,593ppm)으로서 斃死率과 유사한 경향을 보이고 이었다.

Snangri산 원유와 Hi-Clean혼합액의 수온 23℃(13℃)의 경우, 半減影響濃度(EC<sub>50</sub>)보면, 24hr-EC<sub>50</sub>은 5,902ppm(7,460ppm), 48hr-EC<sub>50</sub>은 2,216ppm(2,683ppm), 72hr-EC<sub>50</sub>은 1,668ppm(1,991ppm), 96hr-EC<sub>50</sub>은 489ppm(578ppm)으로 나타났다.

### 3.2.4 보리새우에 미치는 致死 및 亞致死 沮害性

#### 가. 致死 沮害性

World-Clean의 水溫 23℃(13℃)에서 LC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-LC<sub>50</sub>은 9,510ppm(36,122ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 956ppm(2,934ppm), 72hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr-LC<sub>50</sub>은 각각 38ppm(460ppm) 및 12ppm(206ppm)으로 나타났다. 그리고 에콰도르산 원유와 World-Clean 혼합액의 수온 23℃에서 24hr-LC<sub>50</sub>은 377ppm, 48hr-LC<sub>50</sub>은 79ppm, 72hr-LC<sub>50</sub>은 46ppm, 96hr-LC<sub>50</sub>은 18ppm으로 나타났다.

#### 나. 亞致死 沮害性

World-Clean의 水溫 23℃에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 24hr-EC<sub>50</sub>은 3,715ppm, 48hr-EC<sub>50</sub>은 1,212ppm, 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 129 ppm 및 54ppm으로 나타났다. 그리고 에콰도르산 원유와 World-Clean혼합액의 수온 23℃에서 24hr-EC<sub>50</sub>은 377ppm이었고, 48hr-EC<sub>50</sub>은 79ppm, 72hr-EC<sub>50</sub> 및 96hr-EC<sub>50</sub>은 각각 46ppm 및 18ppm으로 나타났다.

### 3.2.5 은어에 미치는 致死 및 亞致死 沮害性

#### 가. 致死 沮害性

Hi-Clean의 水溫 21℃(13℃)에서 半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)를 보면, 12hr-LC<sub>50</sub>은 357ppm(622ppm)이었고, 24hr-LC<sub>50</sub>은 74ppm(352ppm), 36hr-LC<sub>50</sub>은 51ppm (171 ppm), 48hr LC<sub>50</sub>은 34ppm(87ppm), 60hr-LC<sub>50</sub>은 24ppm(41ppm), 72hr-LC<sub>50</sub>은 15ppm(23ppm)으로 나타났다. 그리고 쿠웨이트산 원유와 Hi-Clean의 수온 23℃에서 12hr-LC<sub>50</sub>은 72ppm이었고, 24hr-LC<sub>50</sub>은 51ppm, 36hr-LC<sub>50</sub>은 29ppm, 48hr-LC<sub>50</sub>은 20ppm, 60hr-LC<sub>50</sub>은 15ppm, 72hr-LC<sub>50</sub>은 12ppm으로 나타났다.

#### 나. 亞致死 沮害性

Hi-Clean의 수온 23℃에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 12hr-EC<sub>50</sub>은 75ppm, 24hr-EC<sub>50</sub>은 61 ppm, 36hr EC<sub>50</sub>은 41ppm, 48hr-EC<sub>50</sub>은 31ppm, 60hr-EC<sub>50</sub>은 22ppm, 72hr-EC<sub>50</sub>은 16ppm으로 나타났다. 그리고 쿠웨이트산 원유와 Hi-Clean 혼합액의 수온 23℃에서 EC<sub>50</sub>을 보면, 12hr EC<sub>50</sub>은 79ppm이었고, 24hr-EC<sub>50</sub>은 65ppm, 36hr-EC<sub>50</sub>은 29ppm, 48hr-EC<sub>50</sub>은 21ppm, 60hr-EC<sub>50</sub>은 18ppm 및 72hr-EC<sub>50</sub>은 13ppm이었다.

### 3.2.6 넙치에 미치는 致死 및 亞致死 沮害性

#### 가. 致死 沮害性

World Clean)의 水溫 13℃(23℃)에서 半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)를 보면, 24hr-LC<sub>50</sub>은 26,953ppm(10,535ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 14,569ppm(8,013ppm), 72hr-LC<sub>50</sub>은 9,120 ppm (4,784ppm), 96hr-LC<sub>50</sub>은 5,950ppm(2,296ppm)으로 나타났다. 그리고 에콰도르산 원유와 World-Clean)의 수온 13℃(23℃)에서 24hr-LC<sub>50</sub>은 872ppm (403ppm), 48hr-LC<sub>50</sub>은 393ppm(313ppm), 72hr LC<sub>50</sub>은 288ppm(279ppm), 96hr-LC<sub>50</sub>은 191ppm(134ppm)으로 나타났다.

#### 나. 亞致死 沮害性

World-Clean의 水溫 13℃(23℃)에서 半減影響濃度(EC<sub>50</sub>)를 보면, 24hr-EC<sub>50</sub>은 26,977ppm(10,159ppm), 48hr-EC<sub>50</sub>은 12,650ppm(7,132ppm), 72hr-EC<sub>50</sub>은 6,471ppm (4,306ppm), 96hr EC<sub>50</sub>은 3,133ppm(1,267ppm)으로 나타났다.

에콰도르산 원유와 World-Clean 혼합액의 수온 13℃에서 24hr-EC<sub>50</sub>은 781ppm (416ppm) 이었고, 48hr EC<sub>50</sub>은 365ppm(284ppm), 72hr-EC<sub>50</sub>은 276ppm(181ppm), 96hr-

EC<sub>50</sub>은 213ppm(117ppm)으로 나타났다.

로티퍼, 바지락, 참굴, 보리새우, 은어 및 넙치에 미치는 유분산처리제 (Hi-Clean, World-Clean)의 수온별, 48시간 및 96시간 동안의 半數致死濃度(48hr-LC<sub>50</sub> and 96hr-LC<sub>50</sub>)는 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

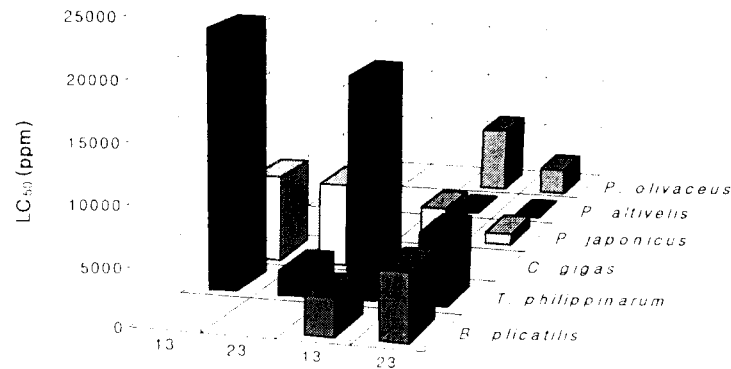
로티퍼, 바지락, 참굴, 보리새우, 은어 및 넙치에 미치는 쿠웨이트産 原油와 Hi-Clean 및 World-Clean混合液, 에콰도르산 원유와 Hi-Clean 및 World-Clean혼합액, Shangri산 원유, Bunker-C oil 및 Maiaysia산 원유와 Hi-Clean혼합액, Brunei산 원유 및 Orient oil와 Sea-Clean혼합액의 수온별, 48시간 및 96시간 半數致死濃度(48hr-LC<sub>50</sub> 및 96hr-LC<sub>50</sub>)는 Table 3 및 Fig. 3와 같다.

Table 2. Comparison of LC50 of consumers to the dispersants for 48hr or 96hr (water temperature set at 13°C and 23°C) (unit:ppm)

	Hi-Clean		World-Clean	
	13°C	23°C	13°C	23°C
<i>Brachionus plicatilis</i> (48hr-LC <sub>50</sub> )	-	-	15°C: 3,265	25°C: 5,848
<i>Tapes philippinarum</i>	22,299	2,035	18,937	6,119
<i>Crassostera gigas</i>	7,511	7,150	-	-
<i>Penaeus japonicus</i> (48hr-LC <sub>50</sub> )	-	-	2,934	957
<i>Plecoglossus altivelis</i> (48hr-LC <sub>50</sub> )	-	-	87	21°C: 34
<i>Paralichthys olivaceus</i>	-	-	5,950	2,297

이와 같이 Hi-Clean에 4일간 露出, 水溫 13°C에서 바지락의 96hr-LC<sub>50</sub>은 22,299ppm으로 참굴 7,511ppm보다 阻害性을 거의 받지않았으나, 수온 23°C에서는 오히려 참굴이 바지락보다 저해성을 적게 받았다. 그리고 바지락은 수온의 影響을 매우 많이 받았으나, 참굴은 거의 影響을 받지않았다. 따라서 Hi-Clean은 바지락, 참굴에는 저해성이 적게 나타났다.

World-Clean에 2일간 露出, 水溫 13°C(로티퍼 수온 15°C)에서 로티퍼의 48hr-LC<sub>50</sub>은 3,265ppm으로 보리새우의 2,934ppm과 유사하였고, 은어는 87ppm으로 낮은 값을 나타내어 치사 저해성이 높았다. 그리고 수온 23°C(로티퍼 25°C, 은어 21°C)에서 로티퍼



*Hi Clean World-Clean*

Fig. 2. Comparison of LC50 of consumers to the dispersants for 48hr or 96hr (water temperature set at 13°C and 23°C).

는 5,848ppm으로 보리새우 957ppm보다 치사 저해성을 적게 받았고, 은어는 34ppm으로 매우 심한 영향을 받았다. 또한 水溫 13°C에서 바지락의 96hr-LC50은 18,937ppm으로 치사 저해성을 매우 적게 받았으며, 넙치도 5,950ppm으로 영향을 적게 받는 편이었다. 그리고 수온 23°C에서 바지락은 6,119ppm으로, 넙치 2,297ppm보다 저해성을 적게 받았다.

이와 같이 유분산처리제의 경우, 부분의 消費者는 高水溫에서는 저수온보다 致死 損害성을 많이 받았으나, 로티퍼(rotifer)는 오히려 低水溫에서 저해성을 많이 받았다. 그리고 보리새우와 은어의 경우 모든 實驗 溫度區에서 치사 저해성이 높게 나타났다.

水溫 23°C에서 Kuwait産 原油와 Hi-Clean혼합액에 대한 은어의 48hr-LC50은 20ppm, Ecuador산 원유와 World-Clean혼합액에 대한 보리새우의 48hr-LC50은 19ppm으로, 다른 試驗區와 비교할 수 없을 정도로 損害성을 많이 받았으며, 水溫 23°C(로티퍼 25°C)에서 Kuwait산 원유와 World-Clean혼합액에 대한 넙치의 96hr LC50이 135ppm으로, 로티퍼의 48hr LC50의 1,035ppm보다 致死 損害성을 많이 받았다. Shangri산 원유와 Hi-Clean혼합액에 대한 水溫 13°C 및 23°C에서 바지락과 참굴의 半数致死濃度는 유사한 값을 나타내었다. 바지락은 Brunei산 원유와 Sca-Clean혼합액이 가장 강한 毒性을 나타내었으나, 대부분 混合液의 독성은 96hr-LC50이 1,872ppm~217ppm으로 넓게 나타났다. 이와 같이 유류와 유분산처리제의 혼합액의 경우, 대부분 實驗區에서 수온이 높을수록 독성의 영향을 많이 받았으나, 로티퍼는 반대로 수온이 낮을수록 영향을 많이 받았다.

水溫 23℃에서 바지락의 酸素消費에 미치는 Hi-Clean에 대한 96hr-EC<sub>50</sub>은 3,335ppm으로 참굴 4,340ppm보다 낮게 나타났다. 은어의 48hr-EC<sub>50</sub>은 31ppm으로 쿠웨이트산 원유와 Hi-Clean혼합액 21ppm과 유사하게 나타났으나, 실험구 대부분의 汚染物質에서 沮害性이 매우 심하였다. 그리고 넙치의 World-Clean에 대한 96hr-EC<sub>50</sub>은 보리새우와 露出 時間은 다르지만 類似한 결과를 나타내었다.

Table 3. Comparison of LC50 of consumers to the mixtures of oil and dispersants at various water temperature for 48hr or 96hr (unit:ppm)

	Kuwait crude oil +		Bunker-C oil +	Shangri crude oil +	Malaysia crude oil +	Ecuador crude oil +	Orient oil +	Brunei crude oil +
	Hi-Clean	World-Clean	Hi-Clean	Hi-Clean	Hi-Clean	Hi-Clean	Sea-Clean	Sea-Clean
<i>Brachionus plicatilis</i> (48hr-LC <sub>50</sub> )	-	15℃: 855	-	-	-	-	-	-
	-	25℃: 1,035	-	-	-	-	-	-
<i>Tapes philippinarum</i>	-	-	13℃ 1,872	13℃ 1,717	13℃ 1,131	13℃ 926	13℃ 258	13℃ 217
	-	-	23℃ 532	23℃ 577	23℃ 325	23℃ 85	23℃ 30	23℃ 30
	-	-	13℃ 1,798	-	-	-	-	-
<i>Crassostera gigas</i>	-	-	23℃ 793	-	-	-	-	-
<i>Penaeus japonicus</i>	-	-	-	-	-	23℃: 19	-	-
<i>Plecoglossus altivelis</i> (48hr-LC <sub>50</sub> )	23℃: 20	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paralichthys olivaceus</i>	-	13℃ 191	-	-	-	-	-	-
	-	23℃ 135	-	-	-	-	-	-

水溫 23℃에서 바지락의 말레이시아산 원유와 Hi-Clean혼합액에 대한 96hr- EC<sub>50</sub>은 2,111ppm으로 油分散處理劑보다 沮害性이 높게 나타났다. 보리새우의 에콰도르산 원유와 World-Clean혼합액에 대한 48hr-EC<sub>50</sub>은 82ppm으로 매우 심한 沮害性을 나타내었으며, 넙치의 96hr-EC<sub>50</sub> 117ppm과 노출 시간은 다르지만 큰 差異를 보이지 않았으나, 보리새우와 넙치의 呼吸代謝에 심한 沮害을 주었다. 그리고 Shangri산 원유와 Hi-Clean혼합액에 있어서 참굴의 96hr-EC<sub>50</sub>은 489ppm으로 Hi-Clean 自體의 毒性보다 沮害性이 높게 나타났다.



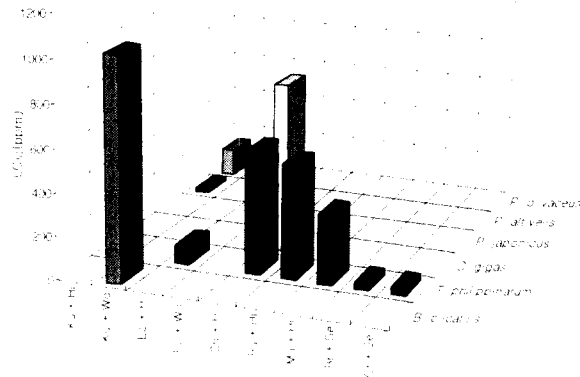


Fig. 3. Comparison of LC50 of consumers to the mixtures of oil and dispersants for 48hr or 96hr.

은어는 넙치에 비해 매우 敏感하여 致死 및 亞致死 損害性을 많이 받았고, 은어는 油分散處理劑에도 치사 저해성이 높게 나타났으나 넙치는 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 은어와 같이 活動이 活潑하고 酸素消費量이 많은 遊泳性 魚類는 乳化 分散된 油滴들의 아가미 吸着과 油類나 유분산제의 독성에 의하여 아가미가 損傷을 입어 폐사 저해성이 더욱 크게 나타났다. 따라서 海上 가두리 양식장과 같은 汚染 敏感海域의 隣近에서 油分散處理劑 使用 意思決定은 더욱 慎重을 기하여야 할 것으로 사료된다. 특히, 水溫을 비롯하여 동일한 實驗 條件下에서 은어와 넙치의 結果 差異는 유분산 처리제의 사용에 대한 諸般 條件이 다르다는 것을 보여주고 있다.

### 3.2.7 새치성계의 受精 및 卵發生에 미치는 損害性

쿠웨이트산 원유와 Hi-Clean 혼합액의 저해성에 의한 새치성계의 精子와 卵子の 濃度別 受精率과 卵發生率은 Table 4와 같다.

노출 농도 100~5,000ppm의 全體 實驗區에 걸쳐 精子毒性에 의한 受精率은 98.7% 以上으로 높게 나타나 저해성이 거의 없었으며, 卵子毒性에 의한 수정률은 노출 농도 5,000ppm의 高濃度에서는 53.7%로 나타나 저해성이 다소 나타났으나 500ppm의 低濃度에서는 70%로 나타나 저해성이 낮았다.

그리고 2細胞期 및 4細胞期 卵發生率은 노출 농도 5,000ppm에서 11.4%의 낮은 發生率로 나타나 저해성이 매우 높았으며, 500ppm 이하의 저농도에서는 40% 이상의 난발 생물을 나타내어 저해성이 다소 낮게 나타났다.

정자 독성에 의한 Kuwait산 원유와 Hi Clean 혼합액은 5,000ppm이하 농도에서 98.7~

99.9%의 높은 受精率을 나타내었다. 그리고 난자 독성에 의한 露出 濃度 5,000ppm 및 1,000ppm 實驗區에서 각각 53.7% 및 63.7%의 수정률을 보였다.

2細胞期 卵發生率은 노출 농도 5,000ppm 및 500ppm 실험구에서 각각 11.4% 및 43.8%를 나타냈다. 그리고 4細胞期 卵發生率은 5,000ppm 및 500ppm 실험구에서 각각 18.5% 및 54.0%로 나타났다.

Table 4. Mean fertilization rate(sperm and ovum test) and developmental rate(2, 4-blastomere) of *Strongylocentrotus intermedius* exposed to the mixture of Kuwait crude oil and Hi-Clean

Concentration (ppm)	Fertilization rate(%)		Development rate(%)	
	sperm test	ovum test	2-blastomere	4-blastomere
5,000	99.9	53.7	11.4	18.5
3,000	99.1	65.0	16.4	28.4
1,000	98.7	63.7	35.8	39.8
500	99.9	70.1	43.8	54.0
300	99.9	86.6	42.2	57.8
100	99.1	89.7	50.8	49.2
0	99.9	99.9	40.5	59.5

이와 같이 露出 濃度 100~5,000ppm의 全體 實驗區에 걸쳐 精子毒性에 의한 受精率은 98.7% 이상으로 높게 나타나 阻害성이 거의 없었으며, 卵子毒性에 의한 수정률은 노출 농도 5,000ppm의 高濃度에서는 53.7%로서 저해성이 나타났으나, 500 ppm의 低濃度에서는 70%로서 저해성이 낮았다. 그리고 2細胞期 및 4細胞期 卵發生率은 노출 농도 5,000ppm에서 11.4%의 낮은 發生率로 나타나 阻害성이 매우 높았으며, 500ppm이하의 저농도에서 40%정도의 卵發生率을 나타내어 阻害성이 낮은 편이었다.

이상의 결과와 같이 生産者 및 消費者의 종류, 유분산처리제 및 油類와 油分散處理劑 混合液의 종류와 노출 농도, 經過 時間, 수온 등에 따라 미치는 阻害성이 다르게 나타났다. 다음과 같이 요약하였다.

- 생산자 및 소비자에게 高水溫이 低水溫보다 阻害성을 많이 주었다.
- 현재 우리 나라에서 시판되는 유분산처리제 자체는 營養段階別 水産生物에 미치는 阻害성이 微微한 편이었으나 유류와 유분산처리제 혼합액은 阻害성이 높게 나타났다.
- 油分散處理劑 自體의 阻害성은 界面活性劑의 成分에 의한 독성과 連繫하여 Sea-Clean, World-Clean, Hi-Clean의 順序로 强하게 나타났다.

- 油類의 損害性은 Orient oil, Brunei crude oil, Kuwait crude oil, Ecuador crude oil, Malaysia crude oil, Shangeri crude oil, Bunker-C oil의 順序로 強하게 나타났다.
- 水産生物에 미치는 油類와 油분산처리제 혼합액의 저해성은 光合成率, 斃死率 및 酸素消費率 등으로 比較하여 바지락, 참굴, 미역, 참김, 새치성게, 보리새우, 은어의 순서로 強하게 나타났다.
- 油類 및 油類와 油분산처리제의 혼합액의 독성은 생산자인 미역, 참김은 損害性을 다소 많이 받고 있는 점으로 보아, 基礎 生産量 減少에 따른 소비자의 生長 損害, 生態系 混亂 招來 및 에너지 收支에 影響을 미칠 것으로 보아진다.
- 油분산처리제의 濃度, 持續 時間, 水溫, 溶存酸素 및 化學的 安定度 등에 따라 저해성이 다르기 때문에 이를 사용 할 때는 사용 시기, 장소, 방법 및 棲息 生物의 종류 등을 충분히 考慮한 意思決定으로 油분산처리제를 사용하여야 할 것으로 사료된다.
- 油분산처리제의 性能 試驗에서 생물에 대한 영양 시험 방법에 公試魚로 은어(sweet fish, 體長 4~5cm)를 追加하도록 勸奨한다. 따라서 油분산처리제 判定 기준에 24hr LC<sub>50</sub>을 1,000ppm 以上으로 強化하여 損害性이 적은 油분산처리제가 製造·市販되어져야 할 것으로 사료된다.
- 油분산처리제 및 油類와 油분산처리제 혼합액에 대한 實驗室에서의 저해성 실험은 油類流出事故 現場의 狀況보다 高濃度로 長時間 露出되는 등 환경 조건이 다르기 때문에 본 연구와 같은 실험실 결과는 豫測하는 저해성보다 클 수도 있을 것으로 思料된다.

## 參 考 文 獻

- 강래선, 유신재, 1993. 미역(*Undaria pinnatifida*)의 초기 생활사에 미치는 유류의 급성 독성. 한국조류학회지 8(1): 77~83.
- 한국해양연구소, 1996a. 유류 및 유독물질 오염이 수산자원에 미치는 영향에 관한 연구 (I·II). 해양연구소 보고서BSPN 00324-983-4. 316.
- 한국해양연구소, 1996b. 저독성 농축형 유출유 분산처리제 개발 연구. 해양연구소 보고서BSPG 00242-971 4. 220.
- 한국해양연구소, 1997. 유류 및 유독물질 오염이 수산자원에 미치는 영향에 관한 연구. 해양연구소 보고서BSPE 97609-00-1077-4. 411.
- Butler, J. N., 1989. Using oil spill dispersants on the sea. Oil Spill Conference (Prevention, Behavior, Control, Cleanup). American Petroleum Institute.
- Canevari, G. P., 1969. The role of chemical dispersants in oil Cleanup: in D. P.

- Hoult, (ED), Oil on the Sea. New York: Plenum Press, 29~51.
- Clark, R. B., 1986. Marine Pollution. Clarion Press, Oxford.
- Cormack, D., W. J. Lynch and B. D. Dowsett, 1986. Evaluation of dispersant effectiveness. Oil and Chem. Poll. (3): 87~103.
- Fingas, M., I. Bier, M. Bobra and S. Callaghan, 1991. Studies on the physical and chemical behavior of oil and dispersant mixtures. Proceedings of the 1991 Oil Spill Conference, March 4-7, 1991, San Diego, California, 419~426.
- Kim. W. S., M. Chang, S. H. Lee and J. S. Lee, 1997. Effect of dispersants on zooplankton mortality in Korea. In: Recent Advances in Marine Science and Technology, 96. N. Saxena(ed). PACON-International, 26.
- National Research Council(N. R. C), 1989. Using Oil Spill Dispersants on the Sea. Washington, D. C., National Academy press. 335.
- Tang, S-M, X-L. Chen and D-F. Zhuang, 1992. The effects of BP-1100X dispersant and dispersed Shangri crude oil on the ecosystem - Marine ecosystem enclosure experiment. Acta Ecol. Sinica. 12(4) 361~367.
- Wells, P. G., 1984. The toxicity of oil spill dispersants to marine organisms: A current perspective. In Oil Spill Chemical Dispersants T. E. Allenced, STP840. SATM.
- 徳田 廣・新崎盛敏, 1977. 石油汚染が海洋生物にほゝす影響の基礎的研究 I. 日水誌, 43: 97~102.
- 小林 直正, 1985. 水汚染の生物検定. サイエンティスト社.