

NOTE

## 유류오염과 유처리제를 이용한 정화작업이 조간대에 서식하는 고등류에 미치는 영향

제종길 · 감성현 · 오재룡 · 양동범  
한국해양연구소

### Effects of stranded oils and dispersant clean-up on intertidal gastropods

JONG-GEEL JE, SUNG-HYUN KAHNG, JAE RYOUNG OH AND DONG-BEOM YANG  
Korea Ocean Research and Development Institute  
Ansan P. O. Box 29, 425-600, Korea

조간대에 서식하는 고등류인 썸살무늬총알고둥, 총알고둥, 대수리 등 3종에 대한 유류오염과 유처리제를 이용한 정화작업의 영향을 조사하기 위한 실험을 실시하였다. 라부안 원유, 두바이 원유, 벙커 C유를 실험 생물에 각각 직접 접촉시켰으며, 또한 1시간 노출시킨 후에 농축형 유처리제로 세척하였다. 원유에 접촉시킨 고등류는 96시간 내에 모두 치사하였으며, 라부안 원유가 두바이 원유보다 높은 독성을 보였다. 벙커 C유에는 총알고둥류가 대수리보다 민감한 반응을 보였으며, 원유 접촉시보다는 서서히 독성효과가 나타났다. 높은 농도의 유처리제를 이용한 정화작업은 고등류에게 치명적인 영향을 주었으며, 낮은 농도에서도 총알고둥류에게 유해한 영향을 주었다. 대수리는 분산된 유류에 노출될 경우 250 ppm 이하의 농도에서는 도피행동을 보였다. 유류오염과 유처리제를 이용한 정화작업은 고등류의 흡착기능을 저해하여 물리적인 힘에 의해 서식지 이탈을 유발시킬 수 있을 것으로 보인다.

An experimental approach was applied to test the effects of stranded oils and dispersant clean-up on marine gastropods, *Nodilittorina exigua*, *Littorina brevicula* and *Purpura clavigera*. They were exposed to Labuan crude, Dubai crude and Bunker C fuel oil, respectively, and were cleaned up by dispersant concentrate, Corexit 9527, after 1 hour exposure to oils. Direct oil contact caused death of gastropods within 96 hours. *N. exigua* and *L. brevicula* were more sensitive than *P. clavigera* at the exposure of Bunker C fuel oil. Toxic effects of Bunker C oil was slower than crude oils. Direct contact to concentrated dispersant killed gastropods, while clean-up with diluted dispersant still gave severe damage. *P. clavigera* could escape from dispersed crude oil below 250 ppm. Oiling and dispersant clean-up may have severe effects on marine gastropods by rendering them washed out to sea.

### 서 론

우리나라 주변 해상에서 연간 200여건 이상의 유류 유출사고가 발생하고 있으며, 유류오염으로 인한 해양생태계의 피해가 크게 증가하고 있다(이 등, 1991). 1970년대에 대규모 유출사고를 경험한 선진 외국에서는 막대한 연구개발비를 투자하여 해상 유출유의 처리를 위한 과학적인 연구를 수행하고

방제체제를 갖추어 왔으며, 유출유가 해양생물 군집 또는 생태계에 미치는 영향에 대하여 광범위한 연구를 계속해 왔다(Shelton, 1971; Baker, 1976; Moldan *et al.*, 1976; Teal and Howarth, 1984; Percy and Wells, 1991). 그러나 우리나라의 경우 유류오염 피해가 매년 증가하고 있음에도 불구하고, 아직 유류오염의 영향에 관한 연구나 방제기술 분야의 연구가 매우 미흡한 실정이다(양 등, 1990).

유출사고로 인하여 해안이 기름으로 오염될 경우 조간대에 서식하는 생물들은 높은 농도의 유류와 직접 접촉하게 되므로, 유출사고시 생물의 피해를 최소화하기 위해서는 서식생물에 미칠 오염의 영향과 인위적인 정화작업의 영향에 대한 정량적인 예측이 반드시 필요하다(Nelson, 1982). 따라서 생물이 유류나 유처리제에 접촉할 때 나타내는 행동을 인식하는 것은 유류오염으로 인한 피해 정도를 예측하고 올바른 방제기법을 개발하는데 기초 자료가 된다(McAuliffe, 1989).

본 연구에서는 원유 2종과 연료유 1종, 그리고 유류오염 정화에 널리 사용되고 있는 유처리제를 바위해안 조간대에 서식하는 연체동물(고동류) 3종- 좁쌀무늬총알고동 *Nodilittorina (Granulittorina) exigua* (Dunker, 1860), 총알고동 *Littorina brevicula* (Phillipi, 1844), 대수리 *Purpura (Reishia) clavigera* (Küster, 1860)에 인위적으로 접촉시켜 유류오염과 정화작업에 따른 종들의 반응과 영향을 조사하고자 하였다. 좁쌀무늬총알고동과 총알고동은 우리나라 전 연안의 상조간대(supralittoral fringe)에 서식하며 여러가지 미세한 생물로 구성되어 있는 해조피막(algal film)를 갉아 먹는 소형 고동류이며, 이 구역(zone)의 표식종으로 알려져 있다(제 등, 1991). 반면에 대수리는 대체로 서해안과 남해안의 중 또는 하조간대(midlittoral zone and infralittoral fringe)에 우점적으로 서식하며(유, 1976), 다른 저서동물을 포식하는 육식성 중형의 고동류이다. 이들 고동류는 고착생활을 하지는 않으나 조간대 암반 위에 일정한 서식지와 생태적 지위를 확보하여 생활한다.

조간대 고동류에 대한 유류오염과 정화작업의 영향에 대한 연구는 Cowell *et al.*(1972), Hargrave and Newcombe(1976), Battershill and Bergquist(1982), Stickle *et al.*(1984), Nagarajah *et al.*(1985) 등 다수가 있으나, 국내에서는 이와같은 연구가 전혀 행해진 바 없다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 조간대에 서식하는 고동류가 유류와 유처리제에 접촉할 때 보이는 영향과 반응행동을 조사함으로써, 조간대 암반 서식지에서 생활하거나 유사한 생활 유형을 가진 저서동물들의 유류오염에 의한 영향을 예측하고자 하였다.

재료 및 방법

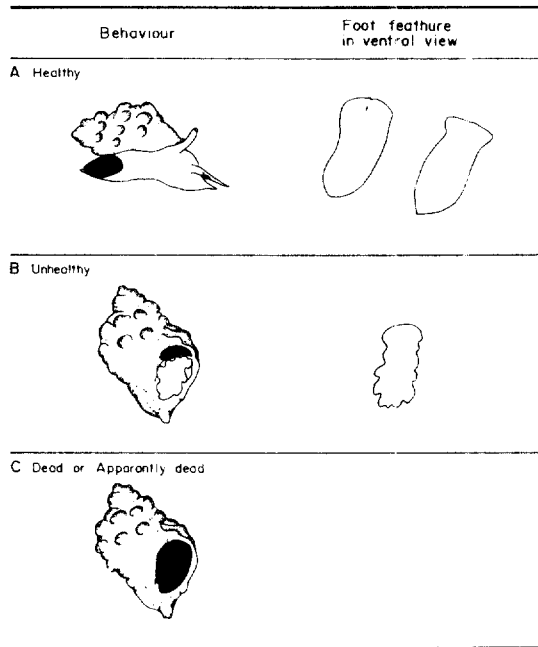


Fig. 1. Behavioral change of intertidal gastropods affected by oils and dispersants.

조간대에 서식하는 3종의 고동류에 대한 실험은 거제도 남쪽 해변에 임시로 설치된 실험실에 1990년 9월 9일부터 13일까지 96시간 동안 수행되었다. 실험생물은 대수리(*Purpura clavigera*: 평균 각고(mean shell height), 18.75 mm; 평균 습중량(mean wet weight), 15.03 mg), 총알고동(*Littorina brevicula*, 평균 각고, 10.43 mm; 평균 습중량, 3.07 mg), 좁쌀무늬총알고동(*Nodilittorina exigua*: 평균 각고, 7.03 mm; 평균 습중량, 0.47 mg)이었으며, 거제도 바위해안 조간대 현장에서 채집하여 사용하였다.

사용된 유류는 경질원유인 말레이시아산 라부안(Labuan) 원유와 중질원유인 아랍에미레이트산 두바이(Dubai) 원유, 그리고 초저유황 병커(Bunker) C유였으며, 유처리제는 Exxon Chemical의 농축형 유분산제 Corexit 9527을 사용하였다.

실험은 유류오염 및 방제과정에 생물이 접촉하게 되는 경우를 가상하여 다음과 같이 4가지로 구분하여 실시하였다(Fig. 1). (1) 유류에 직접 오염된 영향을 조사하기 위하여 세가지 원유를 각각 실험생물에 직접 접촉시키고 6시간 후에 해수로 세척하였으며, (2) 유류오염의 정화작업에 따른 영향을 조사하기 위해 원유 접촉 한시간 후 유처리제로

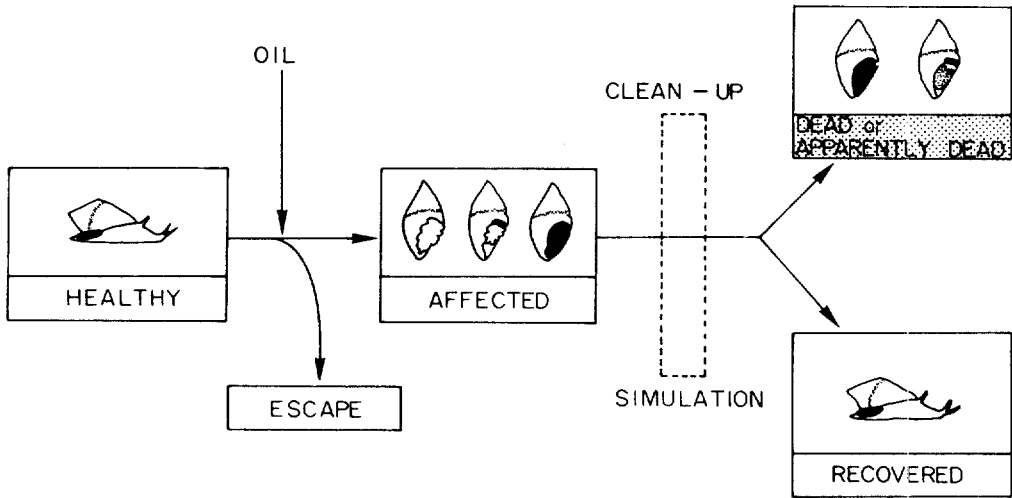


Fig. 2. Experimental scheme of toxicity test on intertidal gastropods.

세척하였고, (3) 유처리제 자체의 영향을 조사하기 위하여 3가지 농도에 6시간 동안 접촉시켰다. 또한 (4) 대수리에 대한 분산된 유류의 영향을 조사하기 위하여 원유를 1000, 500, 250, 50, 10 ppm으로 분산시켜(oil/dispersant ratio=5), 6시간 동안 접촉시켰다. 배양용기는 2종류의 유리컵을 실험케이지로 이용하였으며 각 케이지에 종별로 20개체씩 넣어 96시간 동안 관찰하였다.

생물의 반응은 다음과 같이 3단계로 구분하였는데, 자연에서와 같이 건강한 상태(A)와 일시적으로 충격을 받았거나 죽어가는 과정에서 이상 행동을 보이는 상태(B), 그리고 죽었거나 거의 죽은 상태(C)로 나누었다(Fig. 1). 해수와와의 접촉은 자연상태의 조석과 유사하도록 시뮬레이션하였는데, 좁쌀무늬총알고둥과 총알고둥은 조간대 최상부인 상조간대에 서식하는 종으로써 조석주기에 따라 하루중 매우 짧은 시간만을 해수와 접촉하는 생태적 특성을 가졌으므로 12시간에 한번씩 해수를 분무기로 뿌려주었으며, 대수리는 총알고둥류 보다 하부인 중 또는 하조간대에 서식하는 특성을 시뮬레이션하기 위하여 하루에 2번 6시간씩 해수에 잠기도록 하였다. 관찰은 처음 36시간까지는 매 5시간마다 하고 그 후에는 96시간 후에 최종적인 결과를 파악하였다(Fig. 2).

## 결 과

**실험 1 :** 생물에 원유를 직접 접촉시키는 실험에서는 Labuan과 Dubai 원유의 경우 접촉과 동시에 3종 모두 덮개판(operculum)을 닫거나 발(foot)이 마비현상을 보이는 등 이상 행동을 보이다가, 곧 이동력을 상실하는 반응을 보였다. 6시간 접촉 후 해수로 세척한 실험과 96시간 동안 계속 접촉한 실험은 결과가 거의 동일하게 나타났다. Labuan 원유의 경우 대수리는 25시간 이후, 총알고둥 2종은 30시간부터 치사한 개체가 나타나기 시작하여 3종 모두가 96시간 이내에 거의 다 사망하였다. Dubai 원유의 경우 직접 접촉한 총알고둥 2종은 96시간 내에 모두 죽었으며, 대수리는 96시간 후에는 8개체 외에는 모두 죽었고, 살아있는 개체도 건강한 상태는 아니었다. 벙커 C유의 경우에는 접촉 초기에는 실험케이지 벽면을 이동하는 등 유류 접촉에 따른 영향이 없는 것처럼 보였으나, 시간이 경과함에 따라 점차 운동력을 상실하고 부착력마저 감소하였다. 좁쌀무늬총알고둥은 15시간, 총알고둥은 25시간 이후부터 치사율이 높아지기 시작하여 좁쌀무늬총알고둥은 96시간 내에 모두 죽었다. 실험동물 가운데 가장 크기가 작은 좁쌀무늬총알고둥이 가장 치사율이 높은 반면에 가장 큰 대수리는 10시간 전후로 5개체가 이상 행동을 보였을 뿐 96시간이 지난 후에는 모두 건강한 상태를 유지하였다(Fig. 3).

**실험 2 :** 바위해안 조간대의 경우 유류 유출에

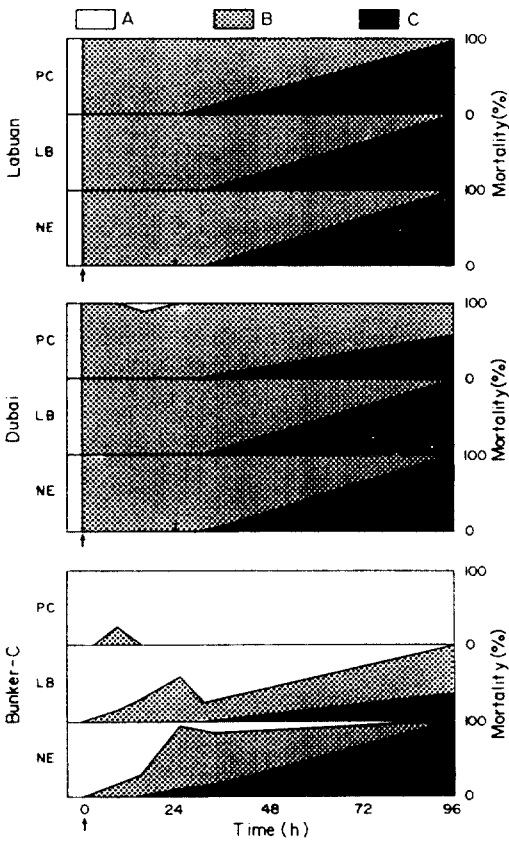


Fig. 3. Mortality of three intertidal gastropods exposed to stranded crude and fuel oils (PC: *Purpura clavivigera*, LB: *Littorina brevicula*, NE: *Nodilittorina exigua*; †: oil directly contact).

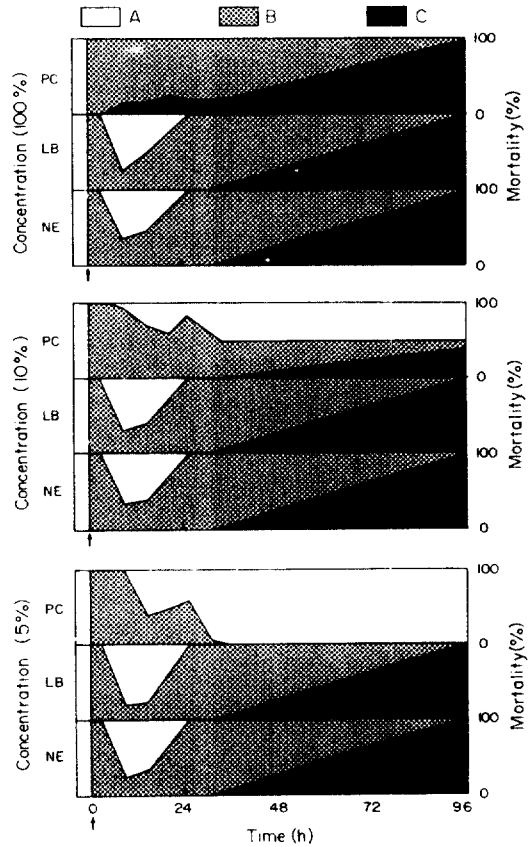


Fig. 4. Mortality of three intertidal gastropods exposed to dispersant Corexit 9527 (PC: *Purpura clavivigera*, LB: *Littorina brevicula*, NE: *Nodilittorina exigua*; †: dispersant directly contact).

의해 부착한 유류를 유처리제를 살포하여 씻어내게 되므로 이러한 경우에 생물에 미치는 영향을 조사하기 위해 원유 접촉 1시간 후에 농축형 유처리제 Corexit 9527을 해수로 1 : 10으로 희석시켜 세척함으로써 유류 성분을 제거하였다. Labuan 원유와 Dubai 원유와 접촉했던 대수리와 총알고둥의 경우, 유처리제의 세척 효과로 치사율이 현저하게 낮아졌다. 특히 Dubai 원유와 접촉한 대수리는 모든 개체가 건강을 회복하였고, 총알고둥도 건강을 회복하지는 못했지만 죽은 개체는 한 개체도 없었다. 그러나 좁쌀무늬총알고둥은 Dubai 원유와 접촉한 경우 유처리제로 세척한 후에 오히려 치사속도가 증가하였다. 병커 C유와 접촉한 경우에는 96시간 후의 결과는 유처리제로 세척하지 않은 경우와 유사하나 실험진

행과정에서 총알고둥류 2종은 오히려 유처리제를 사용한 경우가 더 많은 개체가 이상 행동을 나타내었다. 즉 총알고둥류 2종은 유처리제로 세척한 후 10시간 이내에 거의 모든 개체가 이동력과 부착력을 부분적으로 상실한 것으로 관찰되었다(Fig. 4).

**실험 3** : 유처리제 Corexit 9527의 원액과 10%, 5% 해수 희석액에 6시간 접촉시킨 결과 총알고둥류 두 종은 전 농도에서 모든 개체가 치사하였다. 유처리제 원액에서는 실험동물 3종 모두가 접촉 후 즉각적으로 영향을 받아 96시간 내에 전 개체가 죽었다. 10% 농도에서는 실험 대상인 전 개체가 접촉 즉시 충격을 받았으나 대수리는 5시간 후부터 회복되기 시작하여 96시간 후에는 50%인 10개체가 완전히 건강을 회복하였고 8개체가 치사하였으며,

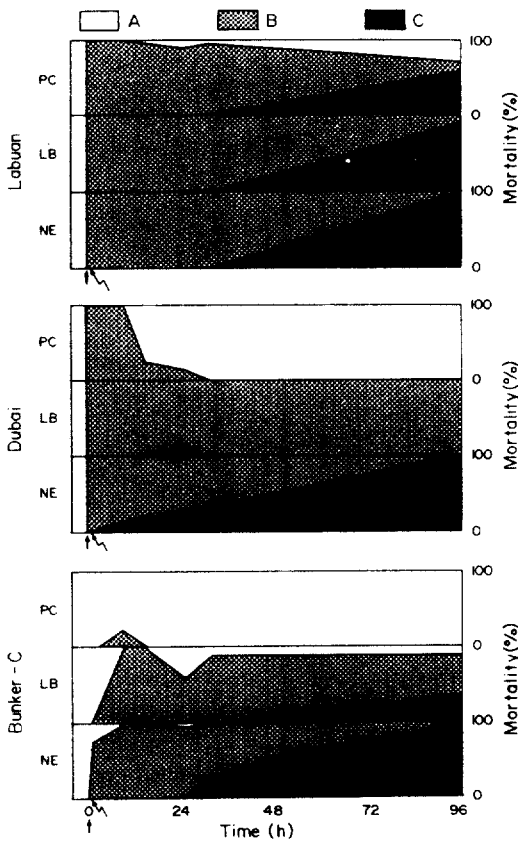


Fig. 5. Mortality of three intertidal gastropods exposed to stranded crude and fuel oils. Three gastropods were cleaned up dispersant Corexit 9527 (10%) (PC: *Purpura clavigera*, LB: *Littorina brevicula*, NE: *Nodilittorina exigua*; ↑: oil directly contact, ↘: dispersant clean-up).

2개체는 죽지는 않았으나 건강하지 않은 상태인 것으로 관찰되었다. 그러나 총알고둥류 2종은 실험 시작 30시간 후부터 죽은 개체가 나타나기 시작하여 96시간 내에 모든 개체가 치사하였다. 5% 농도에서는 모두 접촉의 충격으로 영향을 받았으나 대수리는 10시간 후부터 건강을 회복하기 시작하여 30시간 이후에는 전 개체가 완전히 회복하였다. 총알고둥류 2종은 10% 농도와 마찬가지로 30시간부터 치사한 개체가 나타나기 시작하여 96시간 내에 모든 개체가 치사하였다. 유처리제 접촉과정 중 총알고둥류 2종은 전 농도에서 동일하게 실험 시작 후 3시간에서 25시간 사이에 13-15 개체가 일시적인 회복현상을 보였다(Fig. 5).

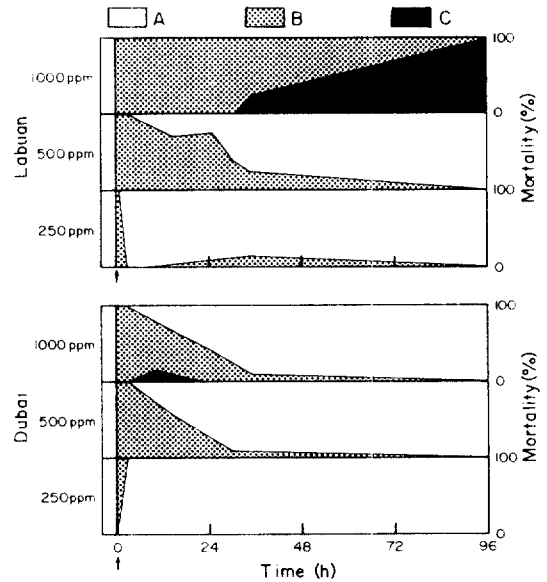


Fig. 6. Effects of dispersed crude oils on *Purpura clavigera* which was exposed for 6 hours.

**실험 4:** 대수리에 분산된 유류를 6시간 동안 접촉시킨 결과 1000 ppm과 500 ppm에서는 덮개판을 닫고 도피하지 못했으나, 그 이하의 농도에서는 활발히 도피하는 경향을 나타내었다. Labuan 원유 1000 ppm에서 6시간 노출된 대수리는 회복하지 못했으나, 500 ppm에 노출된 개체는 시간이 흐름에 따라 점차 회복하였다. Dubai 원유 1000 ppm과 500 ppm에 노출된 개체는 비슷한 양상으로 15시간 이후에 점차 회복되었다(Fig. 6).

### 고 찰

암석해안이 유류에 의하여 오염되었을 때 펌프를 사용하여 흡입하거나 흡착제를 사용하여 제거할 수 없을 경우에는 일반적으로 온수로 세척하거나 유분산처리제로 기름을 분산시켜 정화하는 방법을 사용한다(International Maritime Organization, 1980). 국내에서는 주로 유분산처리제를 살포하여 오염된 해안을 정화하는 방법을 많이 사용하고 있는데, 조간대 서식 생물들은 해안으로 밀려온 유류와 접촉한 후, 살포된 유분산처리제에 직접 노출되는 것이 보통이다. 원유 접촉 1시간 후에 10% 유처리제 희석액으로 세척한 실험에서 대수리의 경우에는 정화작

업의 효과가 긍정적이었으나, 총알고동과 좁쌀무늬 총알고동은 약간 회복되거나 오히려 유해한 영향이 나타나고 있는 점으로 보아 정화작업이 오히려 생물에게 피해를 줄 수 있음을 알 수 있다. Battershill and Bergquist(1982)는 갈고동류 *Nerita* sp.에서 유처리제를 사용했을 때 치사율이 크게 증가하는 것을 관찰하였으며, 장기적으로는 체중감소와 생식이상, 호흡기 이상이 유발되는 것을 보고하였다. 본 연구와 같이 Corexit 9527을 동일하게 사용한 실험에서 Hartwick *et al.*(1982)은 유류에 오염된 조개류에 유처리제를 살포할 경우 오염의 영향을 크게 가중시키는 결과를 보고한 바 있다. 본 연구에서는 유처리제에만 직접 접촉시켰을 때 5% 농도에서도 상대적으로 크기가 작은 총알고동류 2종은 치사율이 높게 나타났는데, 정화작업시 유처리제를 해변에 직접 살포하면 저농도에서도 소형 조간대 저서생물에게 악영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

유처리제는 여러가지 계면활성제와 용제의 혼합물로서 제품의 성분이 공개되지 않기 때문에 독성학적 연구에 많은 어려움이 따른다. 유처리제의 독성은 주로 호흡장애와 조직장애, 신경장애 등으로 알려져 있는데, 수중농도 10-100 ppm에서 치사효과를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다(Wells, 1984). 상대적으로 내성이 강한 대수리의 경우 유처리제를 사용한 조기의 정화작업이 원유에 함유된 방향족탄화수소의 높은 독성을 줄일 수 있었으나, 저해력이 약한 총알고동류의 경우 원유의 독성을 줄이지 못하였으며, 벙커 C유의 경우에는 유처리제의 영향이 가중되어 나타났다.

벙커 C유는 원유와는 달리 벤젠, 톨루엔과 같은 저분자 방향족 탄화수소를 함유하지 않기 때문에 생물에게 급성독성을 나타내지 않는다(Jordan and Payne, 1980; National Research Council, 1985). 벙커 C유는 유출초기에는 점성에 의한 물리적인 피해가 주를 이루는데, Fig. 3에서와 같이 직접 접촉시 대수리는 거의 영향을 받지 않았으나, 총알고동류는 원유와 유사한 피해를 입거나 피해가 천천히 나타나고 있는 점이 주목할 만하다. 이러한 영향은 유류의 점성이 고동류의 이동에 지장을 주게 되고 점성을 이겨내고 이동할 수 없는 상대적으로 힘이 약하거나 크기가 작은 종에게는 피로도를 높인 것으로 판단된다. 좁쌀무늬총알고동의 경우에는 독성

이 강한 것으로 알려진 다른 두 종류의 유류보다 치사한 개체의 출현이 빠르다는 점이 벙커 C유의 점성이 동물의 행동에 물리적인 장애가 됨을 보여 준다. Cowell *et al.*(1972)에 의하면 총알고동류가 점성이 높은 기름에 오염될 경우 무게가 가중되거나 파도에 휩쓸리기 쉽기 때문에 피해가 클 수 있으며, Hargrave and Newcombe(1976)은 고동류의 호흡과 이동능력에 심각한 영향을 줄 수 있다고 주장하였다.

고착성이 아닌 조간대 저서생물은 모두 기질에 부착하여 생활하는 나뭇대로의 기착을 가지고 있으며, 고동류는 덮개판을 닫고 움직이지를 않을 때에도 경사진 기질 위를 훑찰하여 생활할 수 있는 능력을 가지고 있다. 고동류는 기름에 접촉되면 이를 피하기 위하여 덮개판을 닫고 패각내로 몸을 숨기는데, 이때는 대체로 부착력을 잃고 조하대로 떨어지게 되어 고착성 생물보다 직접적인 치사율이 낮은 것이 보통이지만(Moldan *et al.*, 1979), 서식지 이탈로 인한 2차적인 치사가 유발될 수도 있다. 서식지 이탈은 원유 속에 많이 함유되어 있는 휘발성 탄화수소의 마취효과(Straughan, 1979)나 유류의 물리적인 부착력 저하(Cowell *et al.*, 1972)로 인하여 나타날 수도 있는데, 유류의 독성에서 회복할 수 있는 개체라 할지라도 파도에 휩쓸리거나 경사에 미끄러져 조하대로 떨어지면 다른 환경에 적응치 못하고 사망하거나 다른 생물의 먹이가 될 수 있다. 대수리는 수심이 얇은 곳으로 이탈할 경우 원 서식지로 이동하여 회복이 가능하지만 상대적으로 내성이 약하고 높은 조위에 서식하는 총알고동류 2종은 조하대로의 서식지 이탈은 그 자체로서 치사한 것으로 간주될 수 있다.

오염된 연안에 대한 정화작업을 실시하면 유류가 분산되어 해수에 희석되면서 조간대 중하부에 서식하는 대수리는 높은 농도의 유분에 노출되게 된다. 대수리에 대한 분산된 유류를 이용한 실험에서는 250 ppm 이하의 농도에서는 활발히 도피하였으나, 1000 ppm과 500 ppm에서는 높은 유분에 대한 반응으로 덮개판을 닫고 부착력을 상실하였다. 대수리는 분산된 유류에 노출되더라도 낮은 농도에서는 빠르게 이동하여 오염지역으로부터 도피할 수 있음을 나타내고 있다.

벙커 C유의 경우 대수리는 실험용기 내에서 기름의 피막위로 활발히 이동하고 영향을 받지 않는

것같은 행동을 보였는데, 이는 대수리의 활발한 이동능력 뿐만 아니라 총알고둥의 식생방식과도 밀접한 관계가 있으리라 생각된다. 총알고둥류는 기질에 얽게 덮혀 있는 해조피막(algal film)를 먹이로 하고, 대수리도 작은 따개비류나 이매패류를 먹이로 하므로, 총알고둥의 경우 초기 독성이 없는 벙커 C유류의 기름피막을 섭취할 가능성이 대수리보다 크며, 벙커 C유에 함유된 잔류독성을 갖는 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons)의 독성작용의 영향을 받을 수도 있다.

실험실 내에서 유류오염의 영향을 시뮬레이션한 결과는 실제의 자연환경에서 나타나는 결과와 반드시 일치하지 않을 수도 있으므로(Nagarajah, 1985), 앞으로는 오염된 현장에서의 실험이 병행되어야 하며, 유류오염에 의한 조건대 서식생물의 영향을 보다 장기적으로 예측하기 위해서는 저농도의 아치사효과에 대한 연구가 필수적이다. 또한 고둥류는 분포 범위가 넓기 때문에 독성물질의 농축현상이나 무독화 효소에 대한 생화학적 연구(Livingston *et al.*, 1986; Livingston, 1988)를 통하여 오염의 압박을 나타내는 지표생물로 활용될 수 있을 것이다.

### 감사의 글

현장 주변의 실험실을 설치하는데 장소와 여러 장비를 제공해주신 선우마린 시스템 여러분께 감사드리며, 아울러 그림 작성에 도움을 주신 한국해양연구소 이종수씨께 감사드립니다.

### 참고문헌

유종생, 1976. 원색한국패류도감. 일지사, 서울, 196pp.  
 양동범, 이수형, 홍기훈, 오재룡, 김석현, 강성현, 조성록, 정창수, 김경태, 이선경, 조성영, 제종길, 최진우, 김상중, 박성주, 강찬수, 김명운, 이기승, 김용학, 조영철, 이정래, 박선규, 김종근, 1990. 해양 유류오염방제를 위한 화학적 미생물학적 처리기술에 관한 연구(III). 한국해양연구소 보고서 BSPG 00113-316-4. 안산, 200 pp.  
 이흥동, 유시용, 김성귀, 김창근, 권성재, 김희경, 여훈구, 최재호, 1991. 유류유출사고로 인한 해양수산자원 피해추정 전산모델 연구(III). 한국해양연구소 보고서 BSPG 00128-394-7. 안산, 288pp.  
 제종길, 이재학, 장 만, 이순길, 임현식, 최진우, 강래선, 명철수, 정래홍, 김정민, 노분조, 심정자, 송준임, 홍재상, 박정희, 김일희, 권도현, 서지은, 오윤식, 황미숙,

이종수, 이형근, 1991. 남해 암반에 서식하는 저서생물상. 한국해양연구소 보고서 BSPE 00187-357-3. 안산, 452pp.  
 Baker, J. M., 1976. Marine ecology and oil pollution. Applied Science Publishers, Barking, 566pp.  
 Battershill, C. N. and P. R. Bergquist, 1982. Response of an intertidal gastropods to field exposure of an oil and a dispersant. *Mar. Pollut. Bull.*, **13**: 159-162.  
 Cowell, E. B., J. M. Baker and G. B. Crapp, 1972. The biological effects of oil pollution and oil-cleaning materials on littoral communities, including salt marshes. In: Marine pollution and sea life, edited by M. Ruivo, Food and Agriculture Organization Tech. Conf., Rome, 359-364.  
 Hargrave, B. T. and C. P. Newcombe, 1973. Crawling and respiration as indices of sublethal snail *Littorina littorea*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **30**: 1789-1792.  
 Hartwick, E. B., R. S. S. Wu and D. B. Parker, 1982. Effects of a crude oil and oil dispersant (Corexit 9527) on population of the littleneck clam (*Protothaca staminea*). *Mar. Environ. Res. (G. B.)*, **6**: 291-306.  
 International Maritime Organization, 1980. Manual on oil pollution. Section IV: Practical information on means of dealing with oil spillages. International Maritime Organization, London, 144pp.  
 Jordan, R. E. and J. R. Payne, 1980. Fate and weathering of petroleum spills in the marine environment. Ann Arbor Science Publishers, Michigan, 174pp.  
 Livingston, D. R., W. B. Stickle, M. Kapper, and S. Wang, 1986. Microsomal detoxification enzyme response of the marine snail, *Thais haemastoma*, to laboratory oil exposure. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **36**: 843-850.  
 Livingston, D. R., 1989. Responses on microsomal NADPH-cytochrome c reductase activity and cytochrome P-450 in digestive glands of *Mytilus edulis* and *Littorina littorea* to environmental and experimental exposure to pollutants. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **46**: 37-43.  
 McAuliffe, C. D., 1989. The use of chemical dispersants to control oil spills in shallow nearshore waters. In: Oil dispersants: new ecological approaches, edited by L. M. Flaherty, ASTM STP 1018, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 49-72.  
 Moldan, A., P. Chapman and H. O. Fourie, 1979. Some ecological effects of the *Venpet-Venoil* collision. *Mar. Pollut. Bull.*, **10**: 60-63.  
 Nagarajah, N., A. J. Antonellesophia and T. Balasubramanian, 1985. Behaviour of some intertidal molluscs exposed to water soluble fractions of diesel. *Mar. Pollut. Bull.*, **16**: 267-271.  
 National Research Council, 1985. Oil in the sea: inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington D. C., 601pp.  
 Percy, J. A. and P. G. Wells, 1991. Effects of petroleum in polar marine environment. *MTS Journal*, **18**: 51-61.  
 Shelton, R. G. J., 1971. Effects of oil and oil dispersants on the marine environment. *Proc. Roy. Soc. Lond.*

- B.* 177: 411-422.
- Stickle, W. B., S. D. Rice and A. Moles, 1984. Bioenergetics and survival of the marine snail *Thais lima* during long-term oil exposure. *Mar. Biol.*, **80**: 281-289.
- Straughan, D., 1979. Variability in chemical exposure of marine organisms to petroleum. In: Symposium on chemistry and Economics of Ocean Resources. American Chemical Society, New York, 467-475.
- Teal, J.M. and R.W. Howarth, 1984. Oil spill studies: a review of ecological effects. *Environmental Management*, **8**: 27-44.
- Wells, P.G., 1984. The toxicity of oil spill dispersants to marine organisms: a current perspective. In: Oil spill chemical dispersants, edited by T.E. Allen, ASTM STP 840. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1984, 177-202.

---

Received October 23, 1991

Accepted November 23, 1991