

# 해상유출유의 풍화과정과 해양 생태계에의 영향

이 수 형

〈한국해양연구소 책임연구원〉

## 〈 목 차 〉

- I. 머리말
- II. 해상 유출유의 풍화과정
- III. 유류오염에 의한 해양 생태계의 피해
- IV. 유출사고 방제와 해양생태계 피해
- V. 맺음말

### I. 머리말

각종 오염원으로부터 전세계의 해양으로 유입되는 유류의 총량은 연간 320만톤에 달하며, 그중 해상수송 과정이나 탱커 사고에 의한 유출량이 46.8%를 차지한다. 해양오염을 줄이려는 각국의 노력에 힘입어 70년대에 비하여 80년대에는 해양으로의 총유입량이 상당히 감소하였으나, 탱커 사고에 의한 유출량만은 해산물동량의 증가에 따라 두배로 증가하였다. 전세계의 해양으로 수송되는 원유와 제품유는 연간 10억톤에 달하며 이러한 해상 유출사고는 석유가 생산되는 한 계속될 수 밖에 없다.

지난 20여년간 세계 각국에서는 각종 유류오염을 사전에 예방, 억제하고 불의의 사고가 발생했을 때에는 신속하게 방제 작업을 실시하여 오염 피해를 최소화 할 수 있도록 막대한

예산을 투입하여 방제체제를 갖추어 왔다. 대형 해상 유출사고를 경험한 선진 각국에서는 70년대 말부터 유출된 기름의 풍화과정과 생태계에의 영향을 집중적으로 연구하기 시작했으며, 방제기술적 측면과 방제장비의 개발, 그리고 자국의 연안에 대한 방제시스템 구축 등에 주력해 왔다. 또한, 유출사고시의 상황이 긴급한 조치를 요하는 점을 감안하여, 방제를 전담하는 방제센터나 해상재해방지센터를 설치하거나, 연안 경비대에서 직접 초기의 방제작업을 실시하게 하고 있다. 이러한 방제 전담기구 아래에는 육상의 소방서와 같이 긴급출동하여 사고를 초기에 진압할 수 있는 기동 방제팀이 있으며, 다수의 방제선박과 방제항공기를 보유하고 있음은 물론, 자체적으로 전문적인 인력을 교육, 양성하여 실제 상황에 투입할 수 있는 체제를 갖추고 있다.

그러나 우리나라의 경우 연안 해역에서 매년 200여건 이상의 유출사고가 발생하고 있으며, 이로 인해 연안 어장과 생태계의 막대한 피해를 입고 있으나, 국가적차원의 지원이 미흡하여 방제체제나 방제기술적 측면에서 후진성을 면치 못하고 있다. 우리나라에는 방제전담기관이 없기 때문에, 유출량이나 사고 지역에 따라 해경, 해운항만청, 수산청, 환경처 등이 방제업무를 담당하고 있으며, 방제장비나 선박도 각 기관에 분산되어 있는 실정이다. 또한 과학

적인 방제전략 전술을 수립하는데 필수적인 방제시스템이 구축되어 있지 않기 때문에 사고 상황에서 방제 책임자의 신속하고 과학적인 방제 명령을 기대하기 어려운 상황에 있다. 지난 7월 인천에서 발생한 유조선 유출사고로 인하여 우리나라에서도 해양유류오염의 심각성이 일반에게 널리 알려지는 계기가 되었으나, 아직도 산적인 문제점들을 해결하기 위해서는 국가적 차원의 지원과 많은 연구가 필요하다.

본고에서는 해상으로 유출된 기름의 풍화과정과 유출유가 생태계에 미치는 영향, 그리고 방제작업으로 인한 부차적인 오염현상 등에 관하여 논하고자 한다.

## II. 해상 유출유의 풍화과정

해상의 유출사고는 선박의 해난이나 파손 사고, 취급부주의, 고의적인 배출 등 다양한 원인에 의하여 발생한다. 바다는 너무나 넓고, 기름은 해상의 기상조건에 따라 급속하게 이동, 확산되기 때문에 초기의 방제에 실패할 경우 방제 작업에는 많은 어려움이 따르게 마련이다. 더구나 사고는 악천후나 안개 등 방제작업이 어려운 상황에서 주로 발생하기 때문에 사고장소에 접근한다고 하더라도 물리적인 수거작업을 실시하지 못하는 경우가 비일비재하다.

해상에 유출된 유류는 급속하게 넓은 지역으

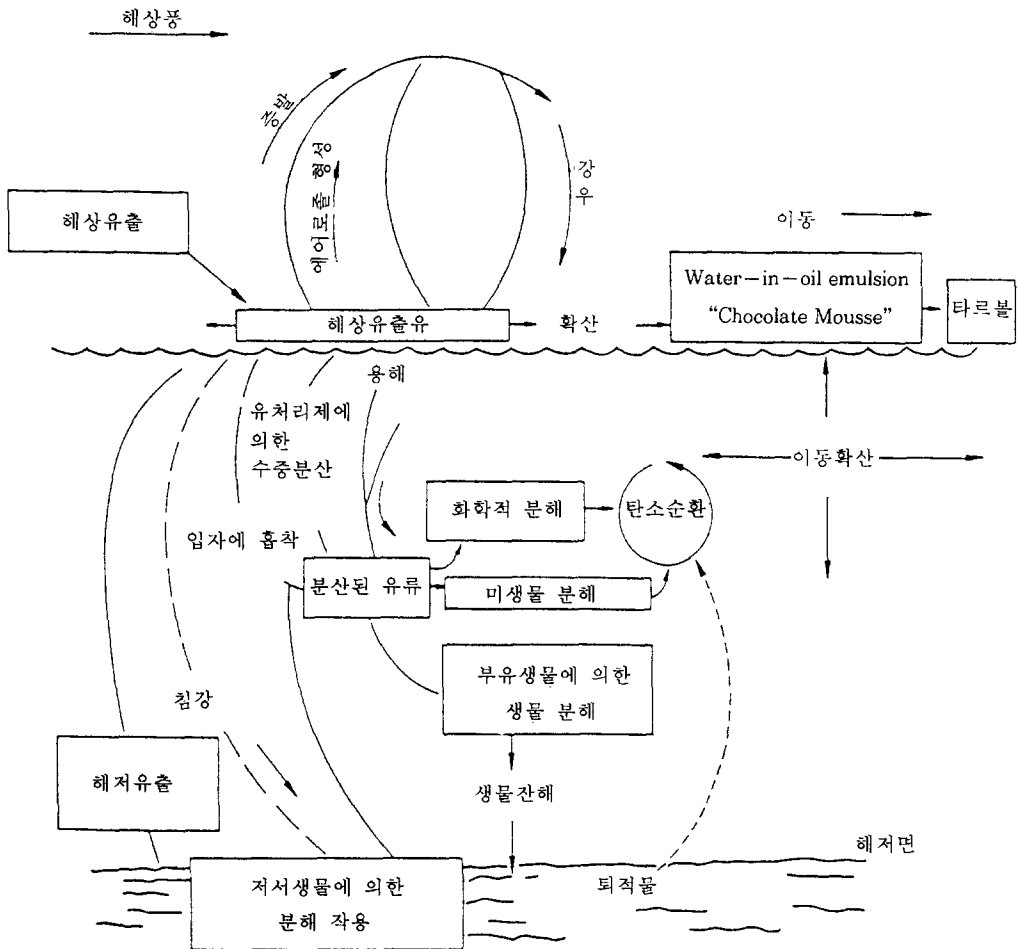


그림 1. 바다에서의 유출유의 물리, 화학, 생물학적 분해과정

로 확산되고, 이와 동시에 기름은 증발, 용해, 분산, 에멀전화, 광산화, 생분해 등 복잡한 풍화과정(Weathering processes)을 겪게 된다(그림 1). 해상으로 수송되는 유류는 약 300여종에 달할 뿐만 아니라, 각개의 기름이 복잡한 구성 성분으로 이루어져 있으므로 해상으로 유출된 이후의 변화과정(Fate)은 상황에 따라 매우 상이할 수 있다.

따라서 유출된 기름의 풍화과정을 예측하고, 그 영향을 사전에 예보할 수 있는 기술을 보유하는 것은 유출유 방제 기술에 있어서 가장 중요한 측면 중의 하나이다. 원유가 해상에 유출되었을 경우 시간에 따른 확산과정과 유막의 두께 변화, 증발속도, 증발되는 성분의 양 등은 현재의 기름량을 추정하는데 중요한 자료이다. 또한, 이동하는 유막의 방향과 속도는 물론 부유하는 기름 중에서 해수중으로 용해되는 양과 분산되는 양, 에멀전이 생성되는 속도 등을 예측할 수 있어야 한다.

특히 유류의 용해도나 분산도는 수중생물에 대한 독성과 밀접한 관계가 있으며, 이들 용해도가 높은 물질들은 증발성 또한 높기 때문에 유처리제의 투입시기 등을 좌우하게 된다. 더구나, 에멀전의 형성은 기름의 점도를 크게 증가시키고 부피를 약 10배까지 증가시킬 수 있으므로, 에멀전의 생성경향과 안정도를 사전에 파악하여, 에멀전이 생성되지 않도록 하는 방제조치가 필수적이다.

기름의 풍화과정은 방제행위의 성공여부 뿐만 아니라 기름에 의한 환경피해와 환경에서의 지속성과 밀접한 관련을 지니고 있다. 예를 들면 해상에 유출된 유류는 일단 수표면에 유막을 형성하면서 계속 퍼져나가게 되는데, 100리터의 기름은 약  $0.1\mu\text{m}$ 의 두께로  $1\text{km}^2$ 의 지역을 뒤덮게 된다. 퍼지는 속도는 경질유일수록 빠르는데, 이란 원유 1리터는 10분안에  $0.1\text{mm}$ 의 두께로 직경  $48\text{m}$ 의 유막을 형성한다. 유막을 해상에서 물리적으로 수거하려면 두께가  $0.1\text{mm}$  이하로 얇아지기 전이어야하며, 이보다 더 얇아지면 물리적인 수거 방법을 사용할 수 없다.

부유하는 기름은 해상공의 2~4%, 유속의

60% 정도의 힘의 백터합으로 해상에서 확산된다. 확산되는 유막에서는 계속 대기중으로 증발이 이루어지는데, 증발은 유출 초기 몇시간 동안이 가장 크다. 유출된 후 하루가 경과하면 탄소수 13~14의 지방족 탄화수소 성분 중 절반이 증발하며, 3일 후에는 탄소수 17의 탄화수소중 절반까지 증발된다. 북해산 원유의 경우 성분이 50%내외가 탄소수 12이하이므로 24시간 이내에 절반이 증발될 수 있다. 증발속도를 좌우하는 요인은 수온과 기온, 파고 등으로써, 파도가 높으면 증발이 잘되지만, 반대로 에멀전의 생성속도 또한 빠르므로 속도는 상쇄된다.

기름의 수중 용해도는 탄소수가 늘어날수록 급격히 감소하는데, 미국산 원유의 경우 8일간 해수에 노출될 경우  $46\text{mg}/1$ , 경유는 5일간  $7.5\text{mg}/1$ 정도가 용해될 수 있다. 기름의 용해도는 광산화(Photo-oxidation)과정과도 밀접한 관련을 맺고 있어서, 광분해 과정의 산물들은 수용성의 지방산이나 지방 알콜이므로 광도에 따라 기름의 자연 용해량을 증가시킬 수 있다.

점도가 높은 기름들은 대부분 해상에서 풍화되면서 50%에서 90%의 수분을 함유하는 끈적끈적한 갈색의 에멀전(Water in oil emulsion)을 형성하게 된다. 이런 에멀전들은 초콜렛 무스(Chocolate mousse)라 불리기도 하는데, 암갈색을 띄며, 부피와 점도가 크게 증가하여 물리적인 수거에 큰 장애가 된다. 해상에 유출된 유류는 시간이 경과함에 따라 여러가지 복합적인 풍화과정을 겪게 되지만, 그중에서도 특히 에멀전의 형성은 유출유 방제에 있어서 가장 큰 골치거리가 되어 왔다. 에멀전이 형성되면, 점도가 크게 증가하고 부피가 최대 10배까지 늘어나게 되므로 방제 및 정화작업의 실행상에 막대한 차질을 초래한다. 점도가 증가하면 오일 스키머 등 흡착재의 기능이 현저히 저하되며, 펌프의 사용이 불가능해지는 등 유회수 작업이 극히 어려워질 뿐만 아니라, 부피가 증가하면 회수된 기름의 운반, 중간 저장시 과도한 공간을 차지하게 되므로 처리 비용이 크게 소요된다. 더군다나 에멀전은 비중이 증가하여

침전할 경우 타르볼(Tar ball)의 형성 원인이 될 뿐만 아니라 일단 형성되면 안정하기 때문에 분산처리가 무척 어렵고, 높은 수분함량 때문에 수거후 소각 처리할 수 없는 경우가 많아 이종의 어려움을 겪게 된다. 에멀전의 생성속도와 기작은 아직 정확히 밝혀져 있지 않으나, 성분중 아스팔텐과 왁스의 양과 밀접한 관련이 있음이 밝혀지고 있다.

생분해(Biodegradation) 과정은 해양환경 내에서 기름을 제거하는 중요한 과정으로서 약 90여종의 박테리아와 균류들이 기름의 분해능력을 가지고 있는 것으로 보고되어 있다. 유류 분해 미생물들은 유출사고 해역에서 자연적으로 크게 현존량이 증가하는데, 온도나 영양염 등 환경조건에 따라 분해능력이 크게 좌우된다.

기름은 이외에도 덩어리 형태의 타르볼로 변하여 침강하거나, 연안퇴적물 속에 침착되어 오래 시간이 지나도 분해되지 않고 지속되기도 하지만 일정 기간이 지나면 주변생물에게 영향을 주는 물질들을 방출하지 않는 비활성의 고체로 변한다.

유출된 기름은 풍화과정이 진행됨에 따라 분산력, 에멀전 형성 속도, 확산 속도등이 변화하므로 방제에 필요한 정확한 정보를 보유하기 위해서는 국내에 수입되는 모든 유류에 대하여 풍화정도에 따른 성질 변화를 시험해야 한다. 이러한 작업은 무척 방대한 실험이 수반되며, 완벽한 데이터베이스의 구축을 위해서는 많은 시간이 소요된다. 유류의 풍화과정을 연구함으로써 얻는 자료들은 보다 정확한 유류유출모형을 개발하는데 기여하게 될 뿐만 아니라, 오염물질의 독성과 환경 내에서의 지속성, 시간에 따른 회복정도를 파악하는데에도 유용하게 사용될 수 있다.

우리나라에는 약 70여종의 원유가 수입되고 있으나 몇종을 제외하고는 풍화과정에 대한 자료가 확보되어 있지 않으므로, 각 유종에 의한 풍화과정 연구와 생태계피해를 추정하는데 필요한 기름별, 성분별 독성실험이 시급히 요망되고 있다.

### Ⅲ. 유류오염에 의한 해양 생태계의 피해

#### 1. 유류오염에 의한 직접적인 해양생물 피해

유출된 기름이 해양생물들에게 미치는 영향은 유출사고 초기의 직접적인 생물피해와 사고 후 수개월 또는 수십년에 걸친 장기적인 생태계 피해로 크게 나누어 설명할 수 있다. 직접적인 생물 피해는 기름과의 접촉이나 독성이 높은 용해성분에 의한 치사효과, 그리고 기름냄새 등으로 인한 상업적 가치 소실을 들 수 있다.

기름에 의한 직접 피해는 물리적 효과와 생리적 효과로 나눌 수 있는데, 물리적효과는 질식이나 접촉으로 치사를 유발하는 것으로써 조류의 대량 폐사나 어패류의 질식사 등을 말한다. 원유나 병커유와 같은 고점도유의 경우에는 기름과의 직접 접촉에 의한 질식 등 물리적 피해가 가장 심각하다(표 1). 특히 해안에 서식하는 생물군들이나 해양조류들은 집단적으로 기름과 접촉하여 폐사하거나 떼죽음을 당하기도 한다. 물리적 효과는 점도가 높은 유류의 경우 특히 더 심한데, 새들의 깃털에 묻으면 익사하거나 보온력을 잃어 사망하게 된다. 북해 지역에서는 연간 15만 마리에서 45만 마리의 조류가 치사하는 것으로 조사되었으며, 토리케년 사고시 10만 마리의 물오리가 죽었고, 탕에커 Gerd Maersk(1955)의 사고 때는 약 50만 마리의 조류가 떼죽음을 당하기도 하였다.

기름의 생리적 효과는 주로 방향족 탄화수소의 생물대사작용 방해에 의해 일어난다. 기름의 독성은 성분의 용해도와 밀접한 관련을 가지고 있는데, 벤젠과 톨루엔 등 저분자량의 방향족 탄화수소들은 수중에 잘 용해되며 독성이 높아 직접적인 치사효과를 유발한다. 이들은 생물의 세포벽을 파괴하고 단백질과 결합하여 효소나 구조단백질에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 지방족 탄화수소나 환형 탄화수소는 생물들에게 마취나 마비효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 수중의 용해도가 큰 저분자량의 탄화수소들은 경질유일수록 많이 함유되

어 있기 때문에 가솔린이나 경유 등 경질 연료 유의 유출 사고는 중질유의 유출사고보다 훨씬 심각한 오염 피해를 유발한다.

원유나 경질유의 유출사고 후에는 식물플랑크톤의 생산력이 떨어지며, 수 ppm의 농도에서 동물 플랑크톤이나 난치자어에게도 치사효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 일반적으로 어류는 도피할 수 있는 유연능력을 가지고 있기 때문에 피해가 적으며, 어류의 아가미에 있는 점액막으로 인해 낮은 농도의 기름에 대해서는 어느정도 내성을 가지고 있다고 생각

되고 있다. 그러나 아모코카디즈(Amoco Cadiz)호 유출사고시에는 좌초지점으로부터 10 km 이내에서 3종의 어류가 폐사하였으며, 청어류의 알은 90% 이상 부화하지 않았고, 치어의 경우에는 유류오염사고 후 심한 성장 장애를 유발하는 사례가 보고된 바 있다.

경질유의 유출사고시에는 저서생물(Benthos)의 피해가 심각하게 나타나는 경우가 많다. 약 0.01ppm의 수중 농도에 노출된 조개류는 사람의 후각으로 기름 냄새를 식별할 수 있기 때문에 식품으로의 사용이 불가능하다. 우

표 1. 유류의 물리화학적 성질과 독성

분 류	종 류	물리화학적 특성	독 성
경질, 휘발성유류	부 유 류 가솔린 등유 경유 경질원유 디젤유	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 휘발성 성분이 많다.</li> <li>* 급속히 확산</li> <li>* 증발속도 및 용해도 크다.</li> <li>* 불안정한 에멀전 형성 가능</li> <li>* 초기의 생물독성 크다</li> <li>* 해안에서의 침투성 크다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 방향족성분의 함량에 따라 급성독성이 좌우되며, 주로 나프탈렌이나 벤젠 화합물에 기인</li> <li>* 고분자량의 화합물은 대부분이 발암물질이므로 만성적 독성유발</li> </ul>
중질유류	점 성 유 병커유 보통원유	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 보통 내지 높은 점성</li> <li>* 기상조건에 따라 안정한 에멀전형성</li> <li>* 풍화되면 침강할 수도 있다.</li> <li>* 초기에 수표면에서 제거 가능</li> <li>* 풍화되어 타르 덩어리 형성</li> <li>해안에서의 침투성은 입자의 크기에 좌우됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 질식등과 같은 물리적 영향</li> <li>* 저분자량의 방향족성분에 따라 화학적독성 좌우됨</li> <li>* 물리적 영향과 화학적독성이 복합적으로 작용</li> </ul>
반고체, 타르	반 고 체 아스팔트	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 상온에서 타르덩어리</li> <li>* 퍼지지 않음</li> <li>* 태양에 노출되면 물러지거나 유동성</li> <li>* 수표면에서의 회수 불가능</li> <li>* 해안에서 쉽게 제거 가능</li> <li>* 타르 덩어리 형성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 화학적독성보다 질식등과 같은 물리적 효과가 크다</li> <li>* 급성독성을 나타내는 방향족 성분은 작으나 만성적 독성 크다</li> <li>* 해안에 오염되면 온도상승에 의한 영향이 있다.</li> </ul>

리나라와 같이 연안의 양식장이 밀집한 지역에서는 유출된 기름이 연안을 덮치게 되면 수십억 내지 수백억원대의 피해를 입는 경우가 비일비재하다. 특히 개펄이나 습지는 오염에 민감한 어린 생물들의 서식처이기 때문에 기름에 의한 피해는 눈에 보이는 것보다 훨씬 막대할 수 있으며, 이러한 피해는 정량적으로 추산하기 어렵고 금전적으로 환산할 수도 없으므로 문제가 된다. 기름이 각개 생물에게 어떠한 영향을 끼칠 것인가는 단지 환경독성학적 연구를 통해서 파악될 수 있으며, 독성실험을 통하여 얻어진 결과는 실제 상황에서 생물들이 받을 수 있는 영향을 유추해 내는데 매우 중요한 자료가 된다. 그러나, 우리나라 주변에 서식하는 해양생물에 대한 환경독성자료가 전혀 축적되어 있지 못한 상태이므로, 기름 피해와 정확한 영향평가가 불가능한 실정이다.

## 2. 유류오염에 의한 장기적인 생태계 피해

유출된 유류는 방제 및 정화작업을 통하여 일부는 해양환경으로부터 제거되지만, 대부분은 복잡한 풍화과정을 거치면서 환경 내에 잔류하여 각종 해양생물들에게 영향을 끼치게 된다. 외국의 사고사례를 살펴보면 원유나 연료유의 유출사고후 7~10년이 경과하여도 게나 굴 등 갑각류와 패류 서식지가 회복되지 않

는 경우를 쉽게 찾아볼 수 있다 (표 2).

자연분산되거나 유처리제에 의해 분산처리된 기름은 수중으로 확산되어 미세한 유적의 형태로 존재하면서 일부는 유류분해 미생물에 의해 분해되고, 난분해성물질들은 해양 환경내에 오랜 기간동안 잔류하게 된다. 또한 에멀전이 형성되거나, 타르볼의 형태가 된 기름들은 덩어리의 형태로 분해되지 않고 바다속에 남아서 장기적인 영향을 미치게 된다.

기름 속에는 독성을 가진 방향족 탄화수소가 다량 포함되어 있는데, 이러한 물질들은 미생물에 의한 분해속도가 매우 느리거나, 거의 분해되지 않기 때문에 퇴적물 속에 잔류하여 만성적인 독성을 나타내게 된다. 유류 성분중 탄소수가 작은 지방족 탄화수소나 방향족 탄화수소는 유류분해 미생물들에 의하여 수개월 내에 분해가능하지만, 분자량이 크고 구조가 복잡한 탄화수소들은 분해가 매우 늦거나, 미생물에 의해서는 전혀 분해되지 않은 성분도 많다. 특히 이러한 잔류성분 중에서도 다환방향족 탄화수소((Polycyclic Aromatic Hydrocarbons : PAHs)는 환경내에서의 지속성이 크고 발암성을 가지고 있는 물질들이 많기 때문에 오랫동안 많은 관심이 주어져 왔다. PAHs는 용해도가 매우 낮아 해양으로 유입된 후 주로 입자성 물질에 붙어 해저로 침강하며, 구조적 안정도

표 2. 환경별 유류오염의 지속성

오염의 지속성 순위	지 역 구 분	오염 지속 시간	비 고
12	외해수	수일-수주	파도와 해류가 충분히 유류를 분산시킴
11	인공구조물, 노출된 암석 해안	수일-수주	파도에 의해 정화
10	파도에 의해 침식되는 해안	수일-수주	파도에 의해 정화
9	평탄한 세립질 모래 해변	1~6개월	저층으로 침투하면 수개월 지속
8	경사진 조립질 모래 해변	1~6개월	저층으로 침투하면 수개월 지속
7	노출된 개펄	1년이하	저층에 흡착하거나 침투하지 않음
6	모래 자갈 혼합 해변	1년이하	급속히 저층으로 침투
5	자갈해변	1~8년	급속히 저층으로 침투
4	산호초	수개월-수년	표층의 산호초에 큰 피해
3	파도가 약한 암석 해안	1~8년	수년간 지속
2	파도가 약한 개펄	10년이상	우선적으로 방어 필요
1	염소	10년이상	우선적으로 방어 필요

는 고리의 수가 증가함에 따라 함께 증가한다. 고리의 수가 3개 이상인 PAHs는 자연상태에서 미생물에 의한 분해속도가 극히 낮고, 이들 PAHs만을 유일한 탄소원으로 하는 미생물은 존재하지 않는 것으로 밝혀져 있다.

오히려 이들 고리가 많은 PAHs들은 해양의 무척추동물들에 의해 분해되거나, 분해 중간산물이 미생물 분해의 사전 매개체가 된다는 것이 밝혀진 바 있다. 무척추동물의 분해능력은 이들이 척추동물의 간에 존재하는 Cytochrome P-450과 같은 복합기능 산화효소계(Mixed Function Oxygenase System)를 가지고 있다는 증거가 발견됨으로써 알려지게 되었다. 이러한 분해 효소는 갯지렁이류와 연체동물류 등에서 폭넓게 발견되었으며, 오염물질에 대한 생물의 내성과 밀접한 관계가 있음이 밝혀지고 있다.

미생물에 의해 분해되지 않는 상당량의 기름들은 환경내에 그대로 남아서 독성작용을 나타내며 생물군집을 변화시키는 등 되돌이킬 수 없는 피해를 입히게 된다. 특히 우리나라의 서해와 남해는 넓은 조간대가 발달한 지역으로서 유류오염에 가장 취약한 특성을 가지고 있다. 이러한 개펄 지역은 한번 오염되면 회복하는데 10년 내지 20년 이상의 시간이 소요되는 것으로 보고되고 있으며, 연안의 鹽沼나 습지는 어류의 산란장이나 치어가 성장하는 장소이므로 이러한 환경파괴가 가속화 될 경우 장기적으로 연안어장의 피해가 심각한 사회문제로 대두될 것이 분명하다.

우리나라에는 아직 유류오염의 장기적 영향이나 지속성, 환경의 회복력 등을 연구한 자료가 없으므로 장기적인 오염피해를 추산할 수도 없는 실정이다. 특히 최근의 잦은 대형사고로 인해 연안어장과 양식장이 막대한 피해를 입게 됨에 따라 어업을 생계수단으로 하는 많은 국민들은 계속 정신적, 경제적 피해를 입고 있음에도 불구하고 생태계 파괴에 대한 인식부족으로 피해보상 중심의 일회적인 행정조치만이 우선되고 있는 실정이다. 유류오염의 영향에 관한 초기, 중장기적인 연구는 이러한 환경변화를 극소화하고 인위적인 방법으로 빠른 시일 내에

환경을 원상복구하는데 필수적이며, 나아가 오염에 의한 해양생태계의 변화를 추적하는데 귀중한 자료를 제공할 수 있다.

#### IV. 유출사고 방제와 해양 생태계 피해

##### 1. 유분산처리제의 사용과 그 영향

1967년 3월 18일 영국 근해의 Seven Stone Reef에서 탱커 토리캐년(Torrey Canyon)호가 침몰함으로써 발생한 대형 유출사고로 100,000톤의 쿠웨이트산 원유가 바다로 쏟아졌으며, 이 사건을 계기로 유류오염으로 인한 환경문제가 전세계적으로 크게 부각되기 시작했다. 이 사고로 인해 영국 연안 242마일이 오염되었으며 BP1001이라는 방향족 탄화수소 용제형의 유처리제 15,000톤이 사용되었는데 이 유처리제의 투여가 결과적으로 해양환경에 막대한 오염을 가중시키는 결과를 초래하였다.

토리캐년호 사건 이후 각국에서는 유류오염 방제기술과 환경피해에 관한 연구를 본격적으로 시작했는데, 유분산처리제가 잘못 사용될 경우 오히려 유류오염의 피해를 크게 가중시킬 수 있다는 것이 밝혀졌다. 유처리제는 유출사고시 물리적인 수거작업이 불가능한 경우에 가장 널리 사용되고 있는데, 부유하는 유막을 작은 기름방울의 형태로 수중에 분산시키는 작용을 한다. 유처리제를 사용한 화학적 처리방법은 물리적인 수거방법에 비해 취급이 용이하고, 복잡한 장비나 기기가 불필요할 뿐만 아니라, 나쁜 해상상태에서도 살포가 가능하다는 점 등의 고유한 장점을 갖고 있으나, 해양에 다량의 화학물질을 투여한다는 측면에서 이의 사용에는 엄격한 규제와 고도의 기술이 필요하다.

유처리제는 기름의 체적에 대한 표면적의 비를 크게 증가시켜 궁극적으로 미생물에 의한 생물분해를 용이하게 하며, 기름이 연안의 오염 민감지역으로 접근할 경우 사전에 분산처리하여 피해를 예방할 수 있게 하거나, 에멀전의 생성을 방해하는 등 여러가지 잇점을 가지고 있다.

유처리제의 사용여부나 사용방법, 사용시기의 결정 등은 유출사고 상황에 따라 크게 다를 수 있으며, 오염 피해를 최소화 하기 위해서는 주변 생태계나 지역적인 특성을 종합적으로 고려하여야 하므로 고도의 의사결정 기술이 필요하다. 그러나 우리나라의 경우 유류오염 방제시에 의사결정 과정을 거치지 않고 유처리제를 남용하고 있을 뿐만 아니라, 사용하는 유처리제가 외국 제품에 비해 성능과 독성면에서 크게 뒤떨어지는 제품이 대부분이기 때문에 이로 인한 부차적인 오염이 심각한 실정이다. 외국에서는 널리 사용되고 있는 농축형 유분산제가 우리나라에서는 아직 생산되지 못하고 있으며, 에멀전 파괴제나 응고제 등의 신행유처리제가 개발되지 못하고 있으므로 이에 대한 집중적인 투자가 요망된다.

## 2. 연안 오염지역의 정화작업과 그 영향

기름으로 오염된 해안은 환경에 따라 원상태로 회복되는데 수개월에서 수십년이 소요된다. 일반적으로 파도가 많은 암석해안이나 콘크리트 구조물과 같은 환경은 기름이 쉽게 씻겨나감으로써 쉽게 원상회복되지만, 개펄이나 염소는 기름이 오래 남게 되고 퇴적물 내로 깊이 침투하여 오랜 기간동안 영향을 미치게 된다. 캐나다에서 발생한 대표적인 벙커C유 오염사고인 탱커 애로우(Arrow)호 유출사고 후에는 10년이 경과한 후에도 퇴적물 내에서 분해되지 않고 남아있는 다량의 기름성분들이 검출되었다. 지난 7월 인천에서 발생한 유조선 충돌로 인하여 오염된 개펄지역은 갯지렁이나 게의 서식구멍을 통하여 10cm 이상 기름이 침투하였으며, 이러한 기름덩이들은 미생물에 의한 분해가 어렵기 때문에 장기간 잔류할 것으로 예측되고 있다.

오염된 해안을 정화하기 위해서는 여러가지 방법이 사용되어 왔다. 해안에 표착한 기름을 펌프로 제거하고 오염된 퇴적물을 물리적으로 완전히 제거하는 방법이나 유처리제를 이용하여 해수로 씻어내는 방법을 사용하기도 하나, 오히려 그대로 방치하는 것보다 피해를 가중시

킬 수도 있으므로 환경에 따라 적절한 정화기술을 사용해야 한다. 하지만 오염된 개펄이나 염소는 그대로 방치하는 방법 이외에는 인위적인 정화법을 사용할 수 없기 때문에 순전히 자연의 자정능력에 의존할 수 밖에 없다.

외국에서는 해역별로 유처리제의 사용가능 지역을 세부적으로 지정하거나, 사용을 엄격히 규제하고 있으며, 연안의 정화작업에 있어서도 유처리제의 사용에 엄격한 지도와 감독을 하고 있다. 연안의 정화작업시에 유처리제가 잘못 사용될 경우 기름은 퇴적물 내로 깊이 침투하게 되며, 생물에게 기름의 영향을 가중시킬 수도 있다.

기름으로 오염된 해안이 장기적으로 어떠한 영향을 받는지를 파악하기 위해서는 장기 모니터링을 통한 오염된 지역의 회복력과 오염의 지속성에 관한 연구가 필요하다. 지난 '89년 3월 알래스카의 엑슨 발데즈호 유출사고의 경우 현재까지 2년여에 걸친 방제작업이 계속되고 있으며, 환경 회복력을 가속화시키기 위한 연구가 미국 환경청 연구진에 의해 활발히 이루어지고 있다. 이들은 극지환경의 특수성으로 인해 알래스카 연안의 오염된 지역의 회복력이 크게 떨어지는 것을 감안하여, 해안에 INIPOL이란 비료를 살포하여 유류분해 미생물의 분해활성을 높이려는 시도를 하고 있다. 프랑스에서 개발되어 특허를 획득한 INIPOL이라는 천연유성 비료는 유막에 흡착하는 성질이 있어서 파도에 씻겨나가지 않으므로 비료의 살포에 의한 해역의 부영양화를 방지할 수 있다는 점에서 획기적인 시도였다.

그러나 INIPOL이 초기에 분해되면서 다량의 암모니아가 생성되므로 높은 농도의 암모니아가 무척추동물에게 독성을 나타낼 수 있다는 우려가 있으며, 과연 살포후 수일 이내의 높은 암모니아 농도가 주변 생태계에 어떤 악영향을 줄 수 있을지에 관해서는 아직 밝혀지지 않고 있다.



## V. 맺음말

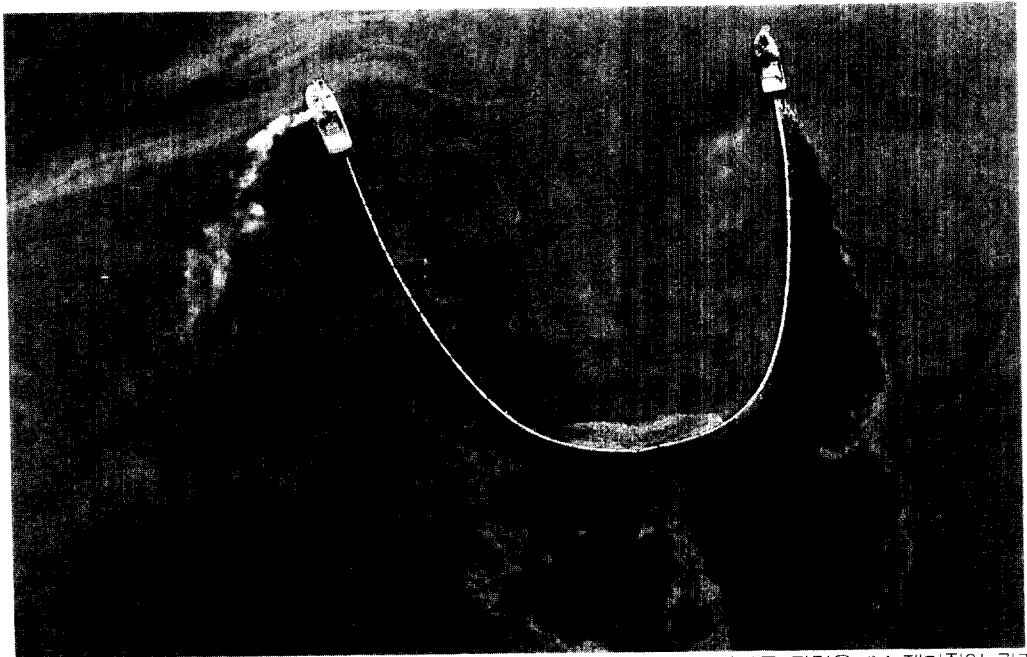
우리나라 연해에서 발생하는 각종 유류 유출 사고로 연안 생태계는 극심한 피해를 입고 있다. 우리나라의 주변 해역은 수심이 낮고, 유류 오염에 취약한 환경조건을 가진 지역이 대부분이기 때문에, 유출사고의 증가는 연안환경보전에 있어서 가장 심각한 문제가 아닐 수 없다. 더우기 최근에는 주변해역에서의 해상 물동량이 급격히 증가하고, 앞으로 서해안 시대의 개막으로 인한 대중국 교역량이 크게 신장될 것으로 전망되고 있는 가운데, 중국의 원유를 수송하는 일본 유조선이 매일 10여대이상 우리나라의 남서해를 통과하는 등 사고의 잠재력은 날로 증가되고 있다.

유류오염 사고에 효과적으로 대응하고 피해를 줄이기 위해서는 유출후 유류의 풍화과정과 환경내에서의 지속성, 그리고 생태계에의 피해 등을 정확히 예측하여야 한다. 우리나라에서는 빈번한 유류오염사고에도 불구하고 유류의 풍화과정이나 생물피해에 관한 전문적인 연구가 극히 미약한 상태에 있으므로 앞으로 집중적인 연구와 데이터 확보가 시급하다. 우리나라에

수입되는 원유와 수송되는 제품유에 대하여 각각 풍화과정에 관한 데이터베이스가 구축된다면 유출사고시 상황에 따른 방제활동에 기초자료를 제공해 줄 수 있을 것이며, 환경피해의 정도를 사전에 예측하고 예보하는데 유용하게 사용될 수 있게 될 것이다.

현재 우리나라에서는 유류에 대한 환경독성자료가 거의 없으므로 피해를 정량화할 수 있는 자료가 전혀 없으며, 장기적인 오염의 영향도 전혀 예측할 수 없는 상태이다. 우리나라 주변해역에 서식하는 대표적인 생물종에 대한 급성독성자료와 아치사 독성자료가 조사되면 유출초기의 생물피해와 오염 이후의 생물군집 변화도 예측할 수 있게 될 것이다.

우리나라에서도 앞으로 유출사고의 피해를 최소로 줄이기 위해서는 방제센터와 같은 전담 처리기구를 조속히 설립하여야 하며, 방제선박이나 장비의 현대화를 통하여 유출 초기의 신속한 대응체제를 갖추어야 한다. 아울러 전국 연안에 대한 전산화된 방제 시스템을 구축함으로써 과학적이고 치밀한 방제작업을 지원할 수 있는 체제를 하루빨리 갖추어야 할 것이다.



• Exxon Valdez 호의 해상유출로 바다를 뒤덮은 (이) 제거작업 광경