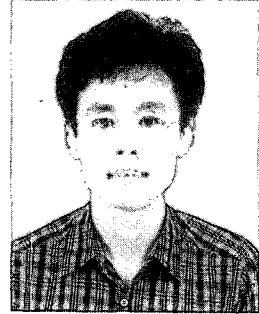




# 해양오염방지를 위한 연구개발 동향과 전망



강 성 현 / 한국해양연구소  
선임연구원

## I. 서 론

우리나라의 주변해역은 잦은 해상유출사고와 육상으로부터의 막대한 오염부하, 그리고 무분별한 연안역 개발로 인하여 해양환경 파괴가 가속화되어 왔다. 그러나 해양오염의 문제는 물과 공기의 오염처럼 급박한 문제로 받아들여지지 않았던 것이 사실이다. 해양오염의 심각성이 일반에게 알려질 기회는 주로 대형 오염사고나 어장피해가 발생하여 사회문제화 되는 경우가 대부분이었다.

인간이 만들어 내는 많은 오염물질들은 직접 또는 간접적인 경로를 통하여 바다라는 종착역에 도달하게 되므로 해양오염의 문제는 육상의 모든 오염문제와 밀접한 관련이 있다. 해양환경으로 유입되는 오염원의 상대적 기여도를 보면 해상활동과 선박기원의 오염은 전체의 약 23%에 불과하다. 물론 이러한 퍼센트가 총량의 의미는 아니지만 해상기원의 오염 뿐만 아니라 육상기원의 오염을 줄이려는 노력이 없이는 해양환경을 보전할 수 없다는 것을 의미한다.

본고에서는 미국 등 선진각국에서 수행되고 있는 해양 오염 연구의 최근 동향을 살펴보고 앞으로의 연구과제에 대하여 포괄적으로 논의함으로써 여러가지 원인에 의하여 발생하는 오염으로 인한 해양환경의 파괴를 최소화하고 장기적인 변화를 예측하기 위한 우리의 대응방안을 모색해 보고자 한다.

## II. 기름과 유해물질의 해상유출사고 방제기술

'70년대말 대형유출사고를 경험한 선진 각국에서는 기름과 유해물질의 유출사고에 대비하기 위하여 지난 20여년 동안 막대한 연구비를 지원하여 왔으며, 자국 연안에 대한 오염방제체제와 각종 대응기술을 개발해 왔다. 그러나 우리나라의 경우에는 아직 방제기술과 장비의 측면에서 후진성을 면치 못하고 있으며 과학적인 방제작업을 위한 전담기구나 전산화된 지원체제가 없는 실정이다. 지난 6월 각 부처에 분산되어 있던 모든 해양오염 방제 업무를 차후 해운항만청으로 일원화하고 방제센터 설립을 추진하는 등 정부는 오염방제체제 구축을 위한 의지를 보이고 있으나, 막대한 기금 조성문제등 많은 어려움이 예상되고 있다.

우리나라 해상에서 발생하는 각종 유출사고는 매년 약 200여건으로서 어업이나 생산활동이 활발한 연안에서 사고가 발생할 경우 그 피해가 현저하여 연간 1천억원 이상의 피해를 유발하고 있는 것으로 추정되고 있다. 해상운송되는 유해액체물질은 1천여종에 이르며, 우리나라에서는 연간 6백만 Kℓ 이상 수송되고 있으나 사고발생시 방제와 정화작업에 필요한 기술을 확보하지 못하고 있다.

기름과 유해물질의 유출오염사고는 발생시기와

**기름과 유해물질의 유출오염사고는  
발생시기와 장소를 예측할 수 없을 뿐만  
아니라, 유출상황과 조건이 매번 상이하므로  
고도의 기술 전략적인 방제체제를 보유하고  
있어야만 한다.**

장소를 예측할 수 없을 뿐만 아니라, 유출상황과 조건이 매번 상이하므로 고도의 기술 전략적인 방제체제를 보유하고 있어야만 한다. 유류와 유해물질의 방제를 위하여 미국에서는 '72년부터 10년 동안 CHRIS/HACS라는 포괄적인 방제지원체제를 개발하였고, 이후 CAMEO, COMPAS 등 퍼스널 컴퓨터를 이용한 정보시스템을 개발한 바 있다.

해상유출사고로 인한 피해를 최소화 하기 위해서는 유출물의 풍화과정을 예측하고 이를 효과적으로 수거하거나 처리하는 기술을 확보하여야 하며, 오염지역의 환경 회복력 극대화 기술을 개발하고 오염지역에 대한 장기적인 모니터링을 통하여 잔류하는 독성물질의 만성적인 영향을 규명하여야 한다.

### Ⅲ. 연안역의 오염발생량 추정 및 오염억제기술

배타적 경제수역내의 해양환경으로 유입되는 각종 오염물질들을 제어하기 위해서는 모든 오염발생원을 종합적으로 파악하고 발생량을 추정하여야 한다. 오염 총량의 추정은 엄밀히 말하면 해양오염의 현상을 다루는 것은 아니지만 오염물질들이 궁극적으로 연안으로 방출되기 때문에 해양환경 개선을 위해서는 필수적인 연구분야이다. 미국의 해양대기청(NOAA)에서는 이러한 필요성에 부응하기 위하여 지난 '81년부터 연안역으로 유입되는 오염물질의 총량을 추정하기 위한 국책연구(NCPDI)를 수행하고 있다. 오염발생원별 오염부하를 계산하는 이와같은 접근 방법은 미국 전하천의 유역에 대한 점원(point source), 비점원(non-point source) 오염원을 완벽하게 파악하여 총량을 계산하고, 해저석유 개발과 선박기원 오염, 준설물질의 해양투기 등에 의한 오염물질 유입량을 계산함으로써 발생원 규제를 통한 오염 정책의 판단기준을 세우는데 매우 유용하게 사용되고 있다.

우리나라의 경우 환경처를 중심으로 전국 주요

하천의 오염부하추정을 위한 연구를 수행해 오고 있으나, 주로 하천 수질관리를 목적으로 하고 있어서 연안해역으로 방출되는 오염총량의 추정이 이루어지지 않고 있다. 오염물질의 총부하를 계산하기 위한 데이터베이스 구축작업은 적어도 앞으로 방대한 자료 수집과 검증이 필요하며, 이를 통하여 정책결정자가 사용할 수 있는 시스템으로 개발되기 위해서는 5년 이상의 연구개발이 필요할 것으로 보인다.

### Ⅳ. 독성물질 오염의 영향예측 기술

지난 수십년 동안 하천이나 대기를 통해 해양환경으로 유입되는 독성물질의 양은 크게 증가하였다. 해수와 퇴적물, 해양생물 내의 각종 독성물질 농도가 급격히 증가함에 따라 해양생태계와 인간의 보건에 미치는 독성물질의 영향에 관한 연구가 세계 각국에서 활발히 수행되어 왔다. 해양환경에 미치는 영향이 크고 연구가 시급한 독성물질은 (1) 다이옥신(dioxins)과 PCBs 등 할로젠 화합물, (2) 연소과정의 부산물이나 유류 성분내에 있는 다환방향족 탄화수소류(PAHs)와 질소를 포함한 이환화합물, (3) 중금속과 유기금속, (4) 살충제 등인데 (1) 오염원 및 해양으로의 유입량 추정, (2) 오염물질의 이동과 생물에 대한 유효성(bioavailability), (3) 독성물질의 영향등 크게 세가지 측면에서 활발히 연구되고 있다.

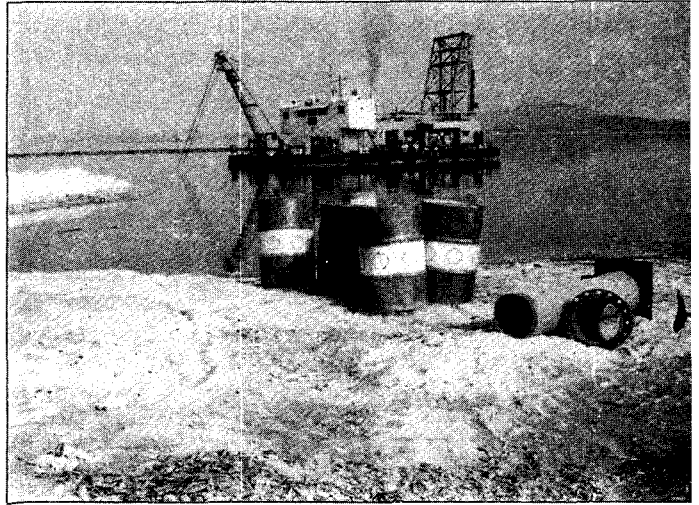
독성물질의 오염원과 유입량에 관한 연구는 하천이나 대기를 통하여 해역으로 배출되는 독성물질의 상대적 중요성을 파악하기 위한 모니터링이 주된 연구 내용이다. 독성물질의 현존량과 그 유입속도 등을 측정하기 위해서는 연안지역의 해저 퇴적물과 해수중, 생물체내의 독성물질 농도를 계속적으로 측정하는 것이 필수적이며, 유입 하천과 인접한 해안에서의 직접적인 배출량을 모니터링하고 대기를 통한 유입량을 측정하여 상대적인 기여도를 파악해야 한다. 또한, 농약 등 각종 독성물질의 유

입량 평가에 있어서는 반드시 하계의 홍수시나 폭풍시에 집중되는 유입량을 평가하여야 한다.

현재 우리나라에서는 Mussel Watch Program과 오염현황조사 등을 통하여 전국의 오염도에 대한 모니터링을 수행하고 있으나, 지속적인 조사가 수행되지 못하고 있으며, 분석내용도 중금속에 대한 자료만이 보고되고 있을 뿐 유기독성물질들은 조사되지 못하고 있는 실정이어서 앞으로 전국 규모의 모니터링이 요망되고 있다.

독성 오염물질들은 해양환경으로 유입된 후 이동하면서 여러가지 변화과정을 겪게 되는데, 여러가지 독성물질의 유입경로나 유입속도, 축적량 등에 관여하는 요인들을 이해하는 것은 필수적이다. 국내의 환경기준치는 수중이나 퇴적물 내의 농도로서 오염 정도를 구분하고 그 유해도를 평가하는 방법을 사용하고 있지만, 해양환경 내에 존재하는 독성물질의 농도 만으로는 그 물질이 해양생물에게 유해한 영향을 미칠 것인지를 예측할 수 없다. 생물에게는 농도 뿐만 아니라 생물 유효성, 노출시간, 생물의 성장 단계 등 화학적인 요인과 생물학적 요인이 복합적으로 작용하며, 자연적인 변화나 인위적인 다른 요인이 개입되므로 오염물질이 생물에게 미치는 영향을 구분하여 유해성 평가를 한다는 것은 매우 어렵다. 또한 유해한 결과는 외관상으로 관찰되지 않을 수도 있으며, 독성물질에 노출된 후 수년이 지난 후에야 그 결과가 나타날 수도 있다.

아치사 농도의 독성물질에 노출됨으로써 받게되는 생물의 피해는 무척 다양하다. 발생단계에서부터 형태적인 기행이 발생하거나 섭식행동의 변화가 일어나기도 하며, 성장속도가 저하되거나, 면역성 상실, 생식능력 상실 등의 생리적인 변화가 나타나거나 질병이 유발되기도 한다. 기존의 급성 만성 독성실험방법으로는 낮은 농도의 독성물질에 오랜 시간 노출되는 실제 환경에서의 동식물에 대한 영향을 파악하는데 많은 문제점이 있다. 따라서 최근에는 오염에 따른 스트레스를 조기에 탐지하기 위한 여러가지 새로운 기술이 개발되고 있다. 또한 독성물질들의 영향을 보다 정확히 규명하기 위해서 여러가지 독성물질의 복합효과와 환경요인과의 관계, 분해중간물질의 동정, 분배, 생성속도에 관한



연구가 활발히 진행중에 있다. 돌연변이 유발물질이나 발암성 물질이 분해과정에서 형성·농축되는 지에 관하여 알게 되면 해양생물에 대한 독성물질의 만성적 영향에 대해 이해하는데 중요한 열쇠가 될 수 있을 것이다.

## V. 해양 서식처의 상실 및 변화 억제기술

여러가지 인간활동은 연안과 기수역의 생물서식처를 파괴해 왔으며, 이러한 서식처 감소는 해양생물자원의 감소를 초래하였다. 우리나라에서는 주로 서남해에서 매립과 간척사업이 계속되어 왔으며, 낙동강, 금강, 영산강 등에 하구언을 건설함에 따라 기수지역의 특성이 변화되고 기존의 생물서식처가 크게 파괴되어 왔다. 우리나라에서의 해양서식처 파괴는 개펄이나 습지가 단지 버려진 쓸모없는 장소로 밖에 여겨지지 않고 있는 일반의 인식부족에 기인하고 있으며, 앞으로 서해안 개발과 하구의 개발계획이 계속될 경우 생태계는 회복할 수 없는 피해를 입게 될 것이 분명하다.

습지는 각종 생물들의 산란장소가 되며, 생산력이 높아 먹이가 풍부할 뿐만 아니라 어린 생물들이 포식자들로부터 보호를 받으며 성장할 수 있는 무척 중요한 장소로서, 식용으로 중요한 여러가지 어류의 어획량이 해양서식처의 존재와 무척 밀접한 관계를 가지고 있음이 밝혀져 있다. 미국의 경우 10년전에 작성된 습지 지도가 이미 해양서식처의 현황에 대하여 정확한 정보를 제공할 수 없다고 판

단하여 '86년 부터 15가지 서식처로 분류한 새로운 습지 지도를 작성하였으며, '90년부터 지리정보시스템(geographic information system)을 이용한 습지 지도를 작성중에 있다. 우리나라에서도 습지의 기능과 주요 수산자원과의 정량적인 관계에 관한 연구가 시급하며, 전국 연안의 생물 서식처를 지도화하여 연차적인 서식처 감소 추세를 정량화 하고, 해양 서식처의 감소가 자연적인 원인과 인위적인 원인에 의해 어느정도 피해를 받고 있는지, 장단기의 서식처 파괴가 생태계에 어떠한 영향을 미치는지를 보다 심층적으로 규명하여야 할 것이다. 앞으로 해양의 자원 생산력과 관련된 서식처의 기능을 이해하고 인간활동에 의한 영향에 대하여 이해할 수 있게 된다면 서식처 감소로 인한 영향을 최소화하고 장기적인 측면에서 연안환경을 효율적으로 관리할 수 있게 될 것이며, 서식처 감소를 줄이고 서식처를 재생시키는 기술을 개발할 수 있게 될 것이다.

## VI. 해양 쓰레기 오염의 방지기술

'80년대 이후 플라스틱, 금속류, 유리, 타르볼 등 마구 해양으로 버려지고 있는 각종 파쇄물들에 관한 관심이 전세계적으로 크게 고조되기 시작했다. 미국은 선박에 의한 해양오염 방지협약(MARPOL)의 부속서 V에 규정하고 있는 선박기원 쓰레기의 규제를 위하여 '87년 국내법을 제정한 후 미국 환경교육센터와 해양 대기청의 주관 하에 플라스틱 오염을 줄이기 위한 범 국가적인 노력을 계속하고 있다. 여러가지 해양 파쇄물 중에서도 플라스틱 파쇄물이 해양생물에게 미치는 영향이 가장 큰데, 특히 어류와 해양동물에게 치명적인 피해를 끼치고 있음이 밝혀지고 있다.

우리나라에서도 '91년 새로 개정된 해양오염 방지법에서 해양쓰레기의 규제를 일부 수용하고 있으나 여전히 각종 쓰레기가 해양으로 마구 버려지고 있는 실정이다. 우리나라는 MARPOL의 부속서에 유류와 유해물질 부분인 I, II에만 가입하고 있어 우리나라의 영해내로 항해하는 외국선박에 대한 규제를 하지 못하고 있다.

우리나라에서는 우선 해양 쓰레기의 발생 현황을 규명하는 연구가 시급하며, 전국 연안의 오염 실태를 하루빨리 파악하여야 할 것이다. 특히 우리나라의 경우에는 외국과는 달리 양식어장에서 많이 사용하고 있는 스티로폼부이의 파쇄물들의 오염 현황이 조속히 조사되어야 하며, 해양 파쇄물이 생물 군집에 미치는 영향을 정량화 하기 위한 장기적인 모니터링을 수행하여야 할 것이다.

## VII. 보건 및 질병과 관련된 오염사고 방지기술

아직도 해양에서 질병이나 대량폐사를 유발하는 원인 생물을 잘 규명하지 못하고 있을 뿐만 아니라 병원성 미생물들에 대한 생활사, 환경조건, 분류, 환경에의 내성 등 생물학적 속성이 알려져 있지 않기 때문에 오염방지에 많은 어려움이 있다. 오염사고 발생지에서는 박테리아, 바이러스, 진균류의 다양한 원인생물들이 검출되고 있다. 비브리오 속의 박테리아는 해양에 많이 존재하고 있는데, 어류의 피질에 이상을 일으키기도 하며, 비브리오에 의한 질병의 발병은 다른 오염의 압박과 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨지고 있다. 살모넬라속, 슈도모나스속과 렙토스피라속의 박테리아들도 해양동물과 무척추동물들에게 질병을 유발한 사례가 보고되고 있으며, 아메노바이러스, 인플루엔자A 등 여러 바이러스들이 무척추동물과 어류에게 질병을 유발시킨 사례가 있다.

앞으로 병원성 미생물이 질병을 유발하는 시기와 조건간의 관련성을 규명하고 해양생물에 대한 영향을 정량화할 필요가 있으며, 질병의 지속성과 병원성의 전달 기작, 숙주의 범위와 전달관계, 숙주 방어기작과 병원균의 독성등이 연구되어야 할 것이다. 병원성 미생물로 인한 어장의 대량폐사가 발생하거나 발생 위험이 발견될 경우에는 조기에 신속한 진단을 하고 피해를 감소시킬 수 있는 기술이 개발되어야만 한다.

인간의 보건상 유해한 영향을 미칠 수 있는 독성 물질이나 병원균이 수산물 내에 함유되어 있을 가능성에 대비하기 위해서는 전국적으로 식용 어패류

**우리나라에서도 습지의 기능과 주요  
수산자원과의 정량적인 관계에 관한 연구가  
시급하며, 장단기의 서식처 파괴가 생태계에  
어떠한 영향을 미치는지를 보다 심층적으로  
규명하여야 할 것이다.**

의 조직내에 존재하는 오염물질의 농도를 측정해야 한다. 미국에서는 어패류 위생성 프로그램(National Shellfish Sanitation Program)과 Mussel Watch Program 등을 통하여 각종 독성물질과 간염, 콜레라, 장티푸스와 같은 병원균, 그리고 패류에 축적된 생물독으로부터 국민을 보호하기 위한 노력을 계속해 왔다. 우리나라에서도 '91년 하계의 콜레라 발생이 가오리 등의 수산물을 매개로 하여 발생하였으며, 매년 비브리오패염균 바이러스에 의한 질병이 간헐적으로 발생하고 있으나 아직도 수산물에 함유된 독성물질이나 병원균을 사전에 검사하지 못하고 있는 실정이다.

식용으로 사용되는 해산물 내에 함유된 독성물질을 모니터링하기 위해서는 우선 시료 채취와 분석방법의 표준화가 필수적이며, 해산물 소비 경향에 대한 정보를 수집하여 지역적, 혹은 식생활의 문화적 차이에 의해 발생하는 위험성을 추정해야 한다. 수산물내에 함유된 물질이 인체에 미치는 독성작용을 예측하고자 할 때에는 해산물의 소비경향이 상이할 뿐만 아니라 다른 식품을 통해서도 오염물질에 노출될 수 있으므로 허용가능농도(acceptable limits)를 설정하는데 큰 어려움이 있다. 또한, 여러가지 오염물질을 한꺼번에 섭취할 경우에 발생하는 위험성을 예측하기 위해서는, 여러가지 오염물질의 농도, 각 오염물질의 인체에 대한 독성, 나타나는 독성 반응과 환경조건과의 연관성 등을 이해하여야 한다.

외국에서는 수산물을 매개로 한 병원성 미생물들이 인체에 일으키는 질병에 대한 연구가 계속되고 있으며, 전통적으로 사용되어온 분변성 대장균에 의한 수질 검사는 바이러스성 병원균이나 자연산 병원균을 검지할 수 없으므로, 병원성 미생물을 검지할 수 있는 새로운 지표(indicator)를 찾아내어 보건상 피해를 예방하려는 시도가 이루어지고 있다. 머지 않아 이러한 연구가 성공하게 되면 질병이 발생할 위험이 예측될 경우 정부는 패류 생산시기를 제한하거나 지역적으로 해산물의 채취 금지나

어획 금지를 명령하거나, 필요할 경우 해수욕의 금지 조치를 내려 오염사고를 예방할 수 있게 될 것이다.

미국은 해양환경을 보전하기 위하여 1978년 해양오염 계획법(National Ocean Pollution Planning : P.L. 95-273)을 개정하여 해양오염 연구, 개발, 모니터링에 관한 포괄적이고 종합적인 국책 해양오염연구 프로그램(National Marine Pollution Program)을 실시하도록 법적 기초를 마련하였고, 1978년부터 중앙 정부에서 매년 800억원 규모의 국책 해양오염연구 프로그램(National Marine Pollution Program)을 지원하고 있다. 이 연구 프로그램은 5개년 계획으로 기획되어, '78~'82, '83~'87에 이어 현재 '88~'92년의 3차 프로그램이 수행중에 있으며, 이미 4차 5개년 계획을 위한 세부연구 기획을 마친 바 있다.

우리나라의 경우 각 기관이나 대학에서 산발적인 해양오염 조사가 이루어져 왔으나 오염의 진행과정과 생태계 내의 상호 복합적인 영향을 규명하기 위한 심층적이고 광범위한 연구는 부족한 상태에 있다. 또한 최근 전세계적인 문제로 대두되고 있는 해양 쓰레기와 플라스틱 오염, 그리고 질병을 유발하는 해양의 미생물오염과 생물농축에 의해 오염사고를 유발할 수 있는 각종 유기·무기독성물질들의 진행·변화과정과 생태계에의 영향등에 관한 집중적인 연구도 극히 미진하다. 기름과 유해물질의 해상유출사고의 방제기술에 있어서도 선진 각국에 비해 상당한 기술 격차를 가지고 있음을 시인하지 않을 수 없다.

흔히 광대한 해양은 엄청난 자정능력을 가지고 있다고 생각되기 쉽지만 대부분의 해양환경파괴가 집중되는 연안역은 여러가지 오염으로 그 고유한 특성을 쉽게 상실하게 된다. 일단 자정능력의 한계를 넘어 순환계가 파괴될 경우 해양환경은 원상복구가 거의 불가능하거나 설사 원상회복이 된다 하더라도 막대한 노력과 비용과 시간이 필요하다는 점을 잊지 말아야 할 것이다.