

KEI/1993

1993



한국환경정책·평가연구원  
Korea Environment Institute

# 차례

## 요약문

### I. 序論

### II. 國內·外 現況

### III. 研究事例의 調査

1. 담치類 (Mytilus 屬)
2. 海洋顯花植物 (Posidonia 屬)
3. 성게類, 바다상치類 等
4. 調査研究事例에 對한 評價

### IV. 細部技術事項에 對한 檢討 分析

1. 生物體內的 汚染物質 含量測定을 利用한 評價
2. 生物體의 細胞·生理學的 反應測定에 의한 汚染度評價

### V. 沿岸海域의 環境保全 및 生態係의 復元方案

## 參考文獻

## 요 약 문

沿岸海域은 全 海洋面積의 약 10%에 지나지 않으나 해양자원의 대부분이 이 곳에 分布되어 있는 자원의 寶庫이다. 그러나 우리는 지난 30여년 동안, 急激한 산업화 過程에서 발생한 都市下水, 産業廢水 等の 각종 汚染物質을 적절히 처리하지 않고 沿岸海域으로 직접 流入시킴으로서 沿岸의 汚染이 나날이 深化되어 왔다.

이러한 沿岸海域의 汚染度を 측정하는 방법은 크게 海水, 堆積物 및 生物體를 대상으로 한 측정방법의 세 가지로 나눌 수 있으며 各各 長短點이 있다. 貝類 等の 몇몇 해양생물들은 棲息處가 일정하며, 여러 가지 오염물질들을 生物體內에 濃縮시키므로 이들 해양생물을 이용한 汚染度 측정방법이 海水나 堆積物을 이용한 방법에서 나타나는 여러 問題點들을 해결할 수 있다. 이 방법은 또한 오염물질의 體內에서의 移動, 變化 및 作用 등에 대한 情報 獲得도 용이하다. 이러한 汚染指標生物들을 통해 얻어지는 정보들은 해양생태계의 平衡維持 및 인간의 健康을 위하여 매우 중요한 자료가 된다.

좋은 汚染指標生物이 되기 위한 條件은 이미 여러 학자들에 의해 많이 연구되었으나 아직까지 모든 조건을 갖춘 완벽한 汚染指標生物은 발견되지 않았다. 그러나 세계적으로 널리 사용되고 있는 홍합, 성게, 海洋顯花植物 等は 이러한 조건에 매우 近接해 있다고 볼 수 있다.

60년대 후반부터 미국과 북유럽에서는 홍합을 사용하여 沿岸의 汚染度を 측정하였으며, 지금은 여러 나라에서 이 방법을 採擇하고 있다. 또한 홍합 외에도 海洋顯花植物類, 棘皮動物類를 이용하는 방법이 개발중이다. 우리 나라에서의 汚染指標生物을 이용한 연구는 1970년대까지는 몇몇 해양생물에 대한 重金屬汚染實態調査 정도였으며, 1980년대 들어 海洋研究所를 중심으로 본격적인 연구가 시작되었으나 안타깝게도 持續的인 연구가 이루어지지 않았다.

細部技術事項의 경우, 우리 나라는 企劃을 제외한 다른 분야에서는 先進 外國에 접근했다고 볼 수 있으나, 企劃段階의 기술, 즉 汚染指標生物의 選定, 측정대상 오염물질의 選定, 採取地域 및 標本크기의 選定 등에서 先進 外國의 技術과 懸隔한 差異를 보이고 있다.

최근에는 生物體內의 오염물질의 濃度を 측정하여 汚染度を 측정하는 방법 외에 오염에 의한 스트레스가 影響을 미치게되어 나타나는 生理學的 反應關係를 밝힘으로써, 汚染에 의한 綜合的인 影響을 평가하는 방법도 開發中이다. 이 방법은 既存의 化學적 측정의 代替技術이나 重複技術이 아닌, 汚染監視體制 프로그램에 追加 綜合되어야 할 새로운 방법이다. 그러나 아직까지 現場에서 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 부족하여, 實用化를 위한 더욱 많은 研究가 이루어져야 한다. 최근 水産振興院 및 海洋研究所에서 이 분야에 대한 관심을 갖고 指標生物의 생물학적 反應을 이용한

汚染度調査 프로그램을 計劃中이다.

한편, 이러한 沿岸汚染度 調査方法 等を 통하여 나타난 沿岸의 汚染問題를 根本的·持續的으로 해결하기 위한 對策方案으로는 廢·下水 處理場의 增設 및 처리된 放流水의 再活用을 통한 陸地로부터의 流入量을 줄이는 방법 외에 沿岸放流方式의 外·深海放流方式으로의 전환 및 海洋草原의 造成 등이 提案되었다.

## I. 序論

沿岸海域은 全 海洋面積의 약 10%에 지나지 않으나, 생물자원, 광물자원, 에너지자원, 관광자원, 공간의 이용 등 해양자원의 대부분이 이 곳에 分布되어 있어, 대부분의 未來學者들이 豫見하는 21世紀 자원의 主役이 될 해양자원의 寶庫이다. 따라서 세계 여러 나라들은 200해리 경제수역 선포 등을 통하여 해양자원의 濫用을 방지한다는 명목아래 해양자원의 소유권 확보에 노력하고 있다.

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있고, 3천개가 넘는 섬, 국토의 3배에 해당하는 넓은 大陸棚과 총 연장길이가 약 1만2천km나 되는 긴 해안선을 가지고 있어 沿岸자원의 利用 潛在力이 매우 높다. 그러나 지난 30여년 동안의 급격한 산업화 과정에서 발생한 도시하수, 산업폐수 등의 각종 오염물질이 적절히 처리되지 않고 沿岸해역으로 직접 유입되어 오염이 나날이 가속되어 왔다. 예를 들어 현재 우리나라의 생활하수처리비율(33%)은 미국, 영국 등의 선진국 수준(70-80%)의 절반에도 미치지 못하며 전국 37개의 沿岸 背後도시 중 3개 도시만 하수처리장을 가동중인 실정이다(강시환, 1993)

이에 따라 沿岸지역의 생산성은 날로 감소하고 있으며, 특히 80년대 이후 富營養化가 급격히 진행되어 無酸素水塊 및 赤潮가 頻發하여 養殖生物의 大量廢死가 증가하고 있다. 또 최근에는 해상운송 物動量이 늘어남에 따라 선박사고에 의한 海上油類오염사고가 증가되어 漁場汚染을 가중시키고 있다. 그 외에 무분별한 개발·양식산업의 증가 및 어선수의 증가, 1회용품의 사용증가로 인한 해양쓰레기 발생량이 증가하는 것도 오염증가의 原因으로 들 수 있다.

이러한 沿岸오염의 근본적인 문제해결을 위해서는 각종 독성물질에 대한 연구, 해수의 流動, 생물적 현상 등을 결부시킨 종합적 오염조사와 장래의 오염예측이 필수적이다(해양연구소, 1990 : 국립환경연구원, 1992).

沿岸海域의 汚染度를 측정하는 방법은 크게 해수, 퇴적물 및 생물체를 대상으로 한 측정방법의 세 가지로 나눌 수 있다. 해수의 수질분석을 통한 汚染度 측정방법은 潮流 및 海流에 의한 이동 때문에 정확한 汚染度 측정이 어려우며, 해수중의 오염물질의 농도가 매우 낮아 정밀한 분석기술을 요한다. 퇴적물의 경우는 長期間에 걸친 오염축적현상을 보여줄 수 있지만, 몇 개월 내지 1-2년 정도의 중·단기간 오염을 측정하기에는 적당치 않다.

한편 貝類 등 몇몇 해양생물들은 서식처가 일정하며, 여러 가지 오염물질들을 生物體內에 濃縮 시키므로 이러한 해양생물을 통한 汚染度 측정방법은 해수나 퇴적물을 이용한 방법에서 나타난 문제점들을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 오염물질의 體內에서의 이동, 변화 및 作用 등에 대한 정보 획득도 용이하다. 이러한 오염지표

생물들을 통해 얻어지는 정보들은 해양생태계의 평형유지 및 인간의 건강을 위하여 매우 중요한 자료가 된다 (Cossa, 1989).

오염지표생물이 되기 위한 좋은 조건은 이미 여러 학자들에 의해 연구되었으며(Widdows, 1985 ; Augier, 1987; Cossa, 1989), 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ①直接的인 含量分析이 가능할 만큼 오염물질이 체내에 충분히 축적되어야 한다.
- ②着生生物로서 연구지역을 대표할 수 있어야 한다.
- ③지역적 비교연구를 위하여 넓은 지역적 분포를 가져야 한다.
- ④계절적 변화연구를 위하여 적어도 1년 이상의 수명을 가져야 한다.
- ⑤오염에 의해 야기되는 생존에 불리한 환경에 잘 견뎌야 한다.
- ⑥體内に 축적된 오염물질의 含量과 주변 환경의 汚染度 사이에 밀접한 相關關係를 나타낼수 있는 것이어야 한다.
- ⑦内部的 要因(나이, 크기, 생식 등)과 外部的 要因(溫度, 鹽度, 溶存酸素量 等)에 따른 反應이 잘 알려져 있어야 한다.

현재까지 이러한 조건을 두루 갖춘 오염지표생물은 발견되지 않았으나, 세계적으로 널리 사용되고 있는 홍합, 성게, 海洋顯花植物 等은 이러한 조건을 거의 갖추고 있다.

본 보고서에서는 이러한 오염지표생물을 이용한 연구에 대한 국내·외 현황 및 사례, 세부기술사항을 조사·분석하고, 沿岸환경보전 및 생태계의 복원을 위한 근본적이며 지속적인 대책을 提案하고자 한다.

## II. 國內・外 現況

60년대 후반부터 미국과 북유럽에서는 홍합을 사용하여 沿岸의 汚染度를 측정하였으며, 지금은 여러 나라에서 이 방법을 채택하고 있다. 최근에는 홍합 외에도 海洋顯花植物( Cristiani et al., 1980; Augier et al., 1989; Maserti et al., 1989; Malea, Haritonodis, 1989; Costantini et al., 1991), 棘皮動物類 (Augier et al., 1987, 1988; Catsiki et al., 1991; Delmas, 1988)를 이용한 방법을 개발 중에 있다. 한편 濃度를 측정하여 汚染度를 측정하는 방법 외에 오염에 의한 스트레스가 영향을 미치게 되어 나타나는 生理學的 反應關係를 밝힘으로써, 오염에 의한 종합적인 영향을 평가하는 방법을 개발중이다 (Bayne, 1985; Martin, 1985; Baksi, Frazier, 1988; Allemand et al., 1989; Donkin et al., 1989; Lowe, Clarke, 1989; Ward, 1990; Boge et al., 1991; Lafaurie, 1991; Pagano, Romana, 1991).

우리나라에서의 오염지표생물을 이용한 연구는 1970년대까지는 몇몇 해양생물에 대한 중금속 오염 실태 조사 (김장량, 1972; 원종훈, 1973) 및 중금속間의 독성 비교 (박주석, 김학균, 1979) 정도였으며, 1980년대 들어 홍합감시, IOC (International Ocean Committee)의 서태평양기구 주관 지표생물의 중금속, 및 PCB 농도분석 Workshop 등 해양연구소를 중심으로 본격적인 연구가 시작되었다. (해양연구소, 1990). 그러나 생물체의 생리학적 반응을 이용하는 방법에 관한 연구는 거의 없다.

### Ⅲ. 研究事例의 調査

현재 세계적으로 沿岸의 汚染度 측정에 사용되는 대표적인 오염지표생물은 담치류 (Mytilus sp.), 海洋顯花植物 (Marine Phanerogam), 성게 등을 들 수 있다. 이 생물들을 이용한 대표적인 연구사례들은 다음과 같다.

#### 1. 담치類 (Mytilus 屬)

담치類를 이용한 연구사례로 대표적인 것은 홍합감시 프로그램(Mussel Watch Program)이다. 홍합감시 프로그램은 담치類 등의 二枚貝類, 굴, 대합과 같은 貝類를 오염지표생물로 이용하여 沿岸해역의 중금속, 유기독성물질 등의 汚染度를 측정하기 위해 제안되었다 (Goldberg et al., 1983). 현재 세계적으로 여러 나라들이 홍합감시공동프로그램 수행을 위하여 노력하고 있으며, 여러 국제기구에서 특정 독성물질의 오염조사 및 장기적인 추세 파악에 이 방법을 채택하고 있다 (해양연구소, 1990).

미국에서는 1976년부터 대대적으로 Mussel Watch Program이 개발되어 미국 沿岸의 담치와 굴의 중금속, 염화탄화수소 (Chlorinated Hydrocarbon), 석유탄화수소(Petroleum Hydrocarbon), 방사성 동위원소 등에 의한 오염을 측정해오고 있으며, 1986년부터는 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 안에 설치된 NS & T 프로그램 (National Status and Trends Program)에 의거, 전 미국 沿岸의 약 150개 지점으로부터 貝類(bivalve molluscs)를 채취하여 분석하고 있다. 이러한 Mussel Watch Program에 의한 연구 결과 많은 논문이 발표되었으며, 또 70년대와 80년대의 자료를 비교하여 납에 의한 오염이 감소하였음을 보여주는 논문도 발표되었다 (Lauenstein et al., 1990).

프랑스의 경우, 1979년부터 환경부(Ministre de l'environnement)에서 담치와 굴을 오염지표생물로 이용한 沿岸오염조차 프로그램 (R.N.O.)에 재정적인 지원을 함으로써 Mussel Watch Program이 시작되었다.

Table III-1

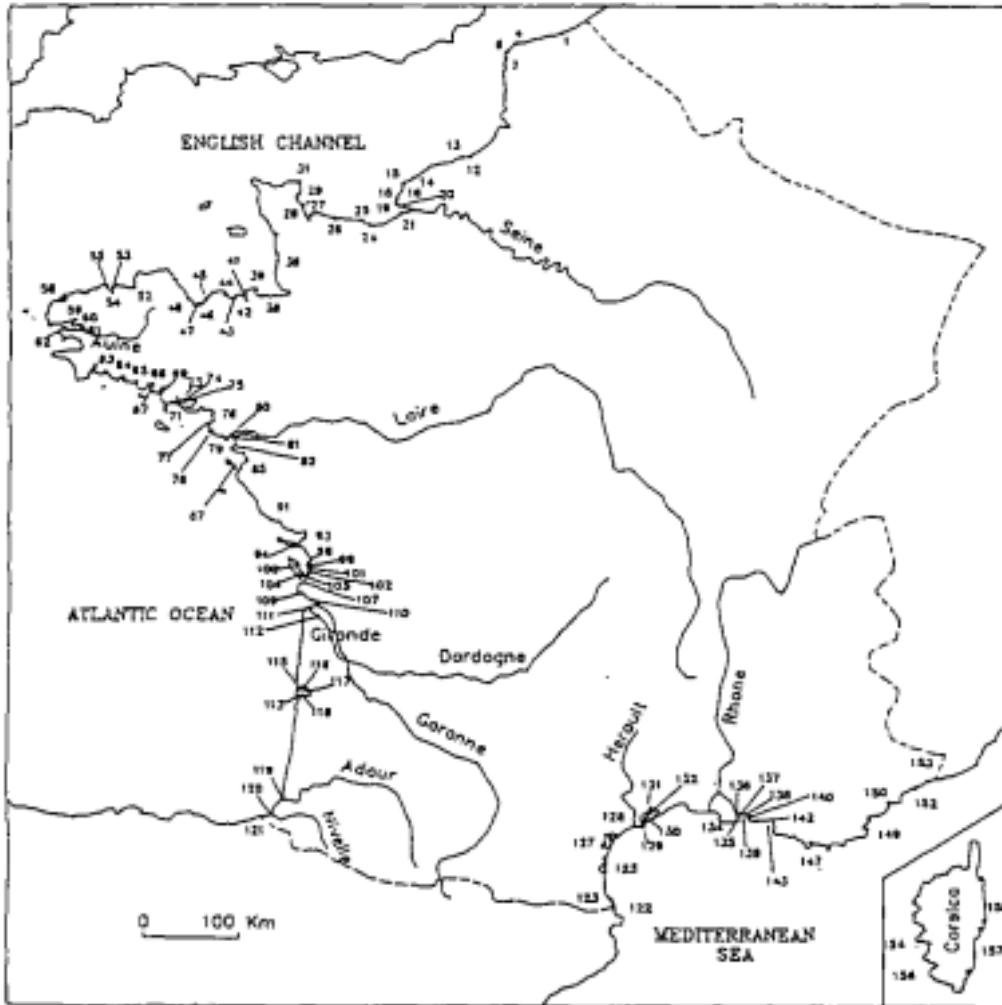
Concentration(dry wt.) range found on the French coast. N=number of observations. PCBs are expressed by reference to Arochlor 1254.

		Min.	Max.	N
Hg	Mussels(mg kg <sup>-1</sup> )	<0.02	0.83	1,341
Hg	Oysters(mg kg <sup>-1</sup> )	0.03	1.66	980
Cd	Mussels(mg kg <sup>-1</sup> )	0.10	36.20	1,458
Cd	Oysters(mg kg <sup>-1</sup> )	0.25	129.10	1,036
Pb	Mussels(mg kg <sup>-1</sup> )	<0.10	21.40	1,451
Pb	Oysters(mg kg <sup>-1</sup> )	<0.10	8.90	1,017
PAH	Mussels(mg kg <sup>-1</sup> )	<0.10	303.00	1,488
PAH	Oysters(mg kg <sup>-1</sup> )	<0.10	69.50	1,062
PCB	Mussels(μg kg <sup>-1</sup> )	<20.0	10,427.00	1,498
PCB	Oysters(μg kg <sup>-1</sup> )	<25.0	2,280.00	1,075
DDT	Mussels(μg kg <sup>-1</sup> )	<0.4	590.00	1,452
DDT	Oysters(μg kg <sup>-1</sup> )	1.0	728.00	1,066
DDD	Mussels(μg kg <sup>-1</sup> )	<0.5	219.00	1,477
DDD	Oysters(μg kg <sup>-1</sup> )	<0.6	487.00	1,076
DDE	Mussels(μg kg <sup>-1</sup> )	<0.1	222.40	1,477
DDE	Oysters(μg kg <sup>-1</sup> )	1.0	252.00	1,061

이 프로그램에 따라 프랑스 해양연구소 (IFREMER) 주관 하에 전 沿岸의 110개 지점(그림 III-1)에서 2, 5, 8, 11월에 담치와 굴의 중금속 (Hg, Cd, Pb)과 유기오염물질 (PAH, PCB, DDT, DDD, DDE)의 농도를 측정하고 있으며, 1979년부터 1988년까지 얻어진 자료는 표 III-1에 나타내었다. (Claisse, 1989).

일본의 경우, 금속함량의 측정을 중심으로 한 제1차 "홍합감시" 프로그램이 1978년부터 10년간 수행되었으며, 유기오염물질을 중심으로 한 제2차 "홍합감시" 프로그램이 1992년부터 수행중이다. 제1차 "홍합감시" 프로그램에서 얻어진 결과 가운데 Cd와 Pb의 함량을 그림III-2에 나타내었다 (일본 국립공해연구소, 1991). 이 그림은 중국의 양자강으로부터 흘러드는 오염물질이 구로시오 해류를 통해 일본의 서해안에 영향을 미치는 (특히 Cd) 오염의 월경현상을 잘 나타내준다.

Fig. III-1 Sampling sites



우리 나라에서는 1980년대 들어 오염지표생물을 이용한 본격적 연구가 해양연구소와 국립수산진흥원을 중심으로 시작되었으나, 지속적이며 전국적인 연구가 되지 못하였으며, 연구대상 오염물질도 중금속에 국한되어 있어 시간적, 공간적 비교연구가 어려운 실정이었다.

전 沿岸을 대상으로하는 중금속 오염조사 프로그램은 1990년에 처음으로 해양연구소에 의해 그 결과 (해양연구소, 1990)가 발표되었다. 標本採取地域 및 여기서 얻은 자료들을 각각 그림 III-3과 표 III-2에 나타내었다.

유기오염물질의 경우 지난 몇 년간 마산灣 지역의 자료가 발표되었으나 자료의 신빙성은 의문이며, 최근 해양연구소가 미국 NMFS로부터 기술을 이전 받아 미국의 NS & T Program에서 사용하는 방법을 도입하였다.

한편 12개 지역의 16개 표본채취 지점 (그림 III-3)이라는 숫자를 선진외국의

사례(그림 III-1)와 비교해 보면, 우리 나라 沿岸환경관리가 얼마나 영성한가를 알 수 있다.

## 2. 海洋顯花植物 (Posidonia 屬)

해양현화식물 포지도니아를 이용한 汚染度 조사는 지역적 분포성 때문에 담치類와는 달리 세계적으로 널리 확대되지 않았으나, 지중해 沿岸국가와 대양주 국가에서 많이 사용되고 있다.

이탈리아에서는 해양식물 포지도니아 (Posidonia oceanica)와 코디움 (Codium tomentosum)을 오염지표생물로 이용하여 이탈리아 沿岸 31개 지역의 중금속 (Hg, Cd, Pb) 汚染度를 평가하는 프로그램이 1986년 여름에 수행되었으며, 표 III-3과 4에 그 결과를 나타내었다(Constantini et al., 1991).

프랑스의 남부 지중해沿岸의 경우, 1913년에 Marcelet가 포지도니아의 비소(As)와 망간(Mn)의 함량을 측정하였으며, 1965년 Fukai에 의한 크롬(Cr)의 농도 측정 이후 포지도니아가 지금까지 꾸준히 沿岸의 중금속 및 방사성원소의 측정에 이용되었다. 1984년에는 포지도니아 숲에 관한 국제 Workshop이 열렸으며, 1913년부터의 포지도니아를 이용한 중금속 및 방사성 동위원소 汚染度 측정 결과가 Augier et al.(1991)에 의해 종합 정리되었다.

우리 나라의 경우 해양식물을 이용한 중금속 및 유기독성물질의 汚染度 평가 프로그램은 아직까지 全無한 실정이다.

## 3. 성게類, 바다상치類 等

담치類와 海洋顯花植物類 외에도, 지역적인 汚染度를 측정하기 위하여 여러 종들이 오염지표생물로 이용되고 있으며, 대표적인 생물들로 성게類, 바다상치類, 어류등을 들 수 있다.

또한 심해 방사능 폐기물 투기 지역의 汚染度를 측정하기 위하여 深海魚인 Coryphaenoides(Nematonurus) armatus를 이용한 프로그램도 실행되었다. 이러한 생물들은 표본채취의 어려움 때문에 아직까지는 몇몇 국가에서 지역적 汚染度 조사에만 이용되고 있으나, 성게류, 바다상치류는 그 분포 및 서식처를 고려할 때, 담치류를 능가하는 조건을 갖추고 있다고 할 수 있다.

한편, 우리 나라에서는 몇몇 商業種 魚類에 대한 중금속 汚染度 조사만 간헐적으로 이루어 졌을 뿐 그 외의 생물을 이용한 지역적 汚染度 조사는 전무한 실정이다.

Fig III-2 일본지역의 이매패류 중 Cd와 Pb농도

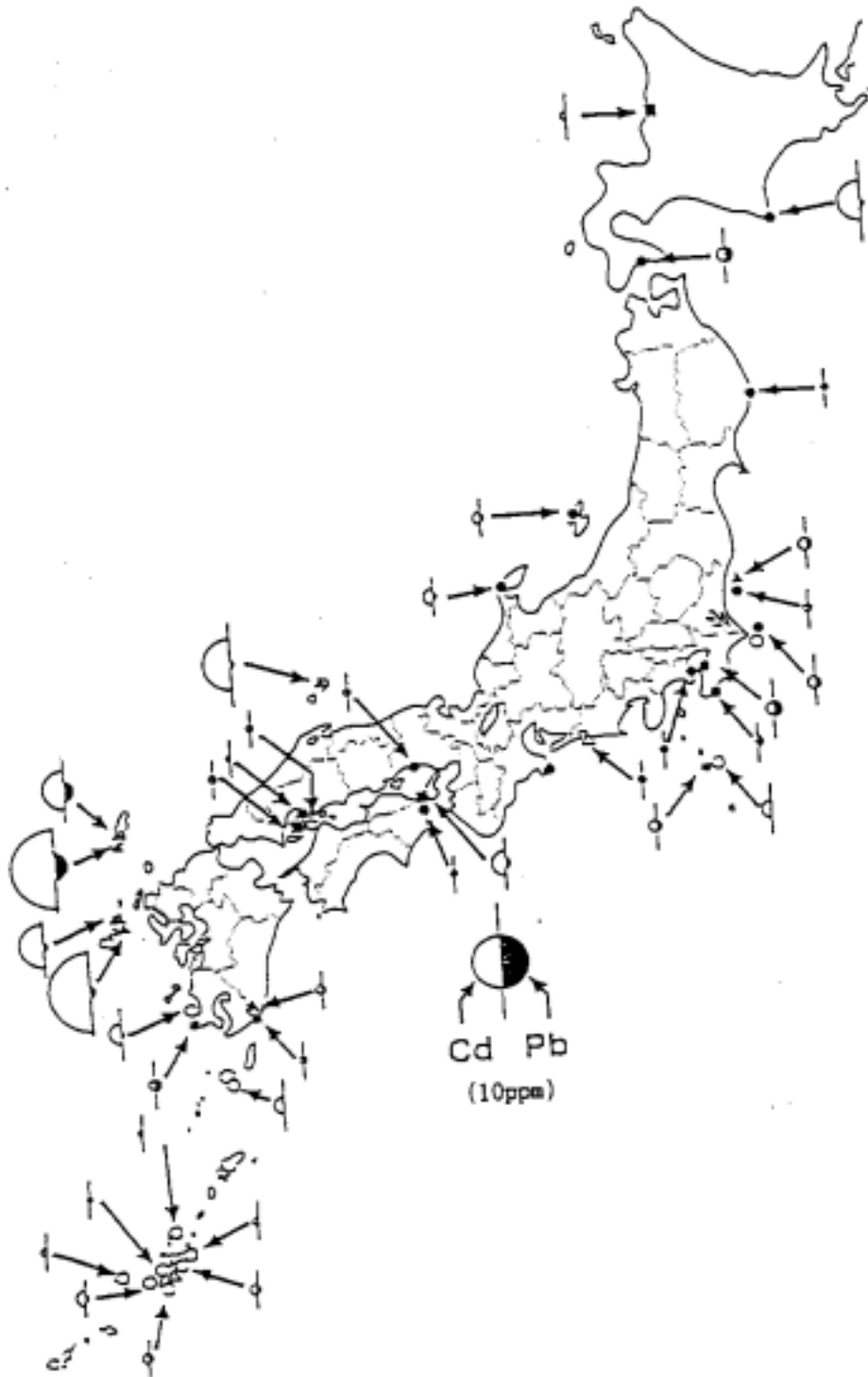


Fig III-3 Sampling sites of mussels

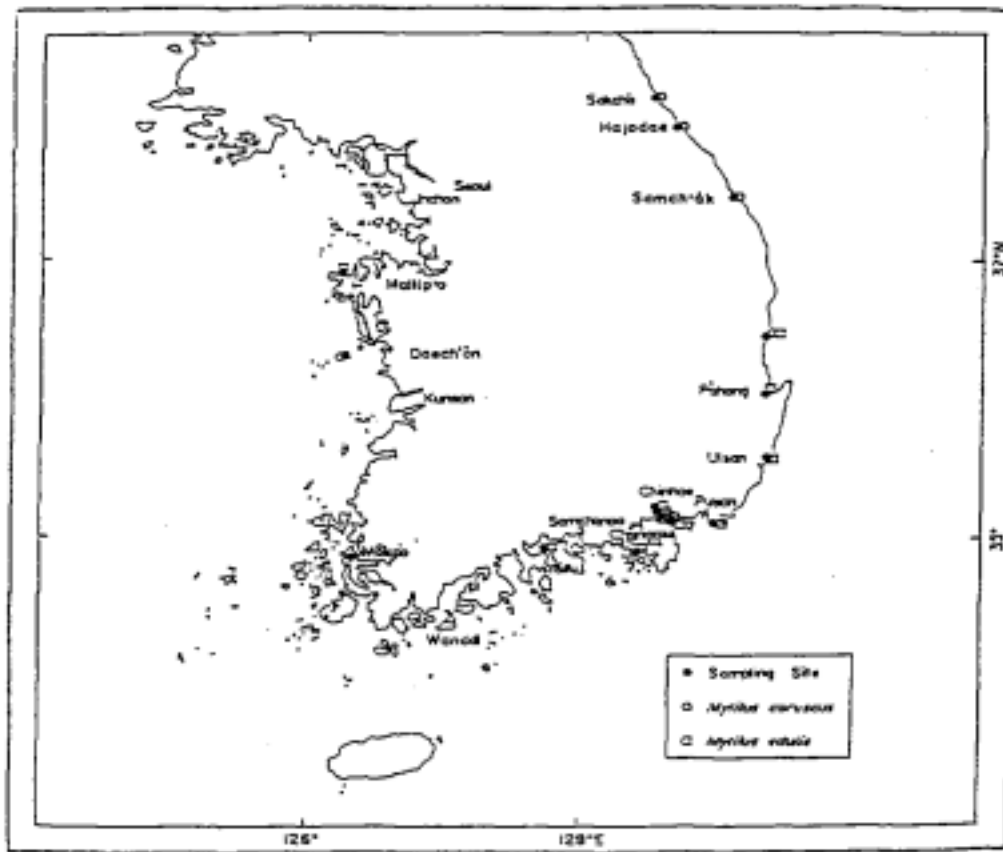


Table III-2 Biological data of mussels sampled in the Korean coastal waters in 1990

Sampling site	Sampling date	species	Shell Length(mm)		Shell Height(mm)		Shell Thickness(mm)		Shell Weight(g)		Flesh Weight(g)		Age	Individuals
			Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean		
Saich'yo	June 5, 1990	<i>M. coruscus</i>	39.0-40.5	35.9	66.0-78.7	70.0	23.3-29.0	25.2	12.04-20.30	15.70	8.26-17.13	13.11	I = 10, II = 2	N = 20
Ho-palae	June 3, 1990	<i>M. coruscus</i>	33.7-43.7	40.5	70.8-87.7	78.5	25.3-37.3	30.6	16.53-40.86	27.89	10.29-31.26	18.07	I = 5, II = 14	N = 19
Saech'ok	June 15, 1990	<i>M. edulis</i>	31.7-45.0	35.1	57.7-74.3	65.2	23.0-31.3	26.6	7.57-14.82	10.13	4.30-10.98	7.20	I = 4, II = 16	N = 20
Y'uhang	June 17, 1990	<i>M. edulis</i>	31.2-41.5	36.4	57.7-75.0	67.6	24.2-32.0	28.0	7.87-16.53	11.47	5.67-12.66	8.96	I = 1, II = 12, III = 7	N = 20
Ulsan	June 18, 1990	<i>M. edulis</i>	30.0-37.5	34.8	59.3-73.0	65.7	21.7-27.0	25.1	6.21-10.06	8.07	5.77-12.99	9.13	I = 20	N = 20
Y'usan	June 20, 1990	<i>M. edulis</i>	27.9-38.3	32.2	48.6-62.3	54.1	19.2-25.1	21.6	3.96-9.14	5.00	4.40-11.70	7.53	I = 18, II = 1	N = 19
		<i>M. coruscus</i>	30.0	30.0	54.4	54.4	22.7	22.7	8.48	8.48	-	-	I = 1	N = 1
Chinhae Bay 1	June 27, 1990	<i>M. edulis</i>	25.8-33.0	29.3	51.3-64.0	55.4	21.0-25.0	22.5	4.40-6.06	5.05	3.00-5.74	5.36	I = 20	N = 20
Chinhae Bay 2	June 27, 1990	<i>M. edulis</i>	28.7-36.5	32.8	52.5-66.0	58.2	21.9-28.3	24.9	4.84-13.04	7.69	5.06-11.29	7.96	I = 16, II = 4	N = 20
Chinhae Bay 3	June 27, 1990	<i>M. edulis</i>	25.6-34.3	30.2	47.0-63.0	54.0	19.5-26.0	22.3	4.18-8.02	6.12	4.17-7.78	5.58	I = 20	N = 20
Chinhae Bay 4	June 27, 1990	<i>M. edulis</i>	26.5-35.0	31.2	52.3-64.8	57.1	21.2-28.0	23.6	5.70-16.60	7.86	3.51-8.70	5.85	I = 14, II = 5	N = 19
Chinhae Bay 5	June 27, 1990	<i>M. edulis</i>	30.3-38.2	33.0	54.0-64.0	58.0	19.0-24.2	22.2	5.44-9.78	6.65	3.22-6.33	4.98	I = 17, II = 3	N = 20
Chungomsu	June 29, 1990	<i>M. edulis</i>	28.5-38.2	32.8	57.0-73.4	64.1	25.2-30.8	27.5	6.40-11.85	8.53	5.32-16.67	9.01	I = 10, II = 4, III = 6	N = 20
Yuan	June 30, 1990	<i>M. edulis</i>	27.6-35.6	32.3	55.0-66.4	60.9	21.4-28.0	24.9	5.41-10.14	6.62	5.24-14.03	7.79	I = 20	N = 20
Mokpo	July 2, 1990	<i>M. edulis</i>	30.6-39.8	34.3	56.8-68.3	62.4	22.8-29.0	26.0	8.96-12.32	10.13	3.80-9.15	6.06	I = 1, II = 17	N = 20
Daecheon	July 3, 1990	<i>M. edulis</i>	24.3-34.6	31.2	57.4-68.1	62.3	19.5-27.0	23.5	4.70-8.63	6.32	4.80-14.58	6.40	I = 20	N = 20
Mulgyo	July 4, 1990	<i>M. coruscus</i>	21.8-30.2	22.8	52.0-74.2	59.1	19.7-30.5	22.4	3.24-21.26	11.07	3.36-7.44	4.88	I = 20	N = 20

Table III-3 Mercury, cadmium and lead concentrations in *Posidonia oceanica*  
 mg kg<sup>-1</sup> fresh wt.

Station	Mercury	Cadmium	Lead
Genoa	0.028	1.76	1.96
Portofino	0.017	0.74	0.96
La Spezia	0.018	1.46	1.89
Livorno	0.020	1.00	0.73
Gorgona	0.016	1.02	1.13
Piombino	0.027	0.76	0.94
Porto S. Stefano	0.023	0.43	0.87
Montecristo	0.012	1.34	1.46
Olbia	0.006	0.62	1.03
Tavolara	0.010	0.99	0.38
Orosei	0.006	0.77	1.03
Cala Gonone	0.008	0.46	0.70
Fiumicino	0.014	0.72	0.41
Terracina	0.009	0.61	0.89
Ponza	0.006	0.49	0.87
Naples	0.019	0.68	0.96
Ischia	0.004	0.73	0.87
Capri	0.006	0.40	0.54
Salerno	0.010	0.95	0.85
Agropoli	0.011	0.62	0.44
Palinuro	0.006	0.57	0.86
Maratea	0.005	0.45	0.54
Vibo Valentia	0.012	0.85	0.57
Gioia Tauro	0.012	0.48	0.78
Lipari	0.019	0.81	1.03
Messina	0.018	0.75	0.60
Taranto	0.016	1.17	0.66
S. Maria di Leuca	0.020	0.81	0.86
Brindisi	0.025	1.32	0.53
Bari	0.038	0.78	0.44
Tremiti	0.029	0.71	0.64

Table III-4 Mercury, cadmium and lead concentrations in *Codium tomentosum* mg kg<sup>-1</sup> fresh wt.

Station	Mercury	Cadmium	Lead
Genoa	<DL	0.008	0.70
La Spezia	<DL	0.010	0.42
Gorgona	<DL	0.004	0.62
Montecristo	0.010	0.018	0.41
Olbia	<DL	0.007	0.32
Fiumicino	<DL	0.010	0.47
Naples	<DL	0.008	0.92
Salerno	0.008	0.007	0.51
Taranto	<DL	0.018	0.46
Brindisi	<DL	0.005	0.68
Bari	<DL	0.010	0.34

DL = detection limit.

#### 4. 調査研究事例에 對한 評價

앞에서 설명한 바와 같이 현재 沿岸환경관리에는 담치類가 주로 사용되고 있다. Mussel Watch Program은 표본채취의 용이성, 측정의 편리성 등 여러 利點 때문에 전세계적인 연구참여를 유도하였으며, 이에 따라 담치류에 관한 연구가 매우 진전되어 미국, 프랑스 등 선진외국에서는 담치류를 이용한 沿岸오염 감시 체제망을 구축하였다.

담치류 외에도 지역적 특성을 고려한 海洋顯花植物類, 해양상치류 등의 해양식물, 성게류 등의 극피동물, 어류 등이 부분적으로 사용되고 있으며, 오염 감시 체제망을 보충하기 위한 지표생물로의 채택에 대한 연구가 진행중이다.

한편, 우리 나라에서는 해양연구소를 중심으로 82년과 90년에 중금속 汚染度 조사가 이루어졌으나, 현재 중단되어 있다. 沿岸 환경관리에는 무엇보다도 과학적인 汚染度 조사자료가 필수적임을 고려할 때 이에 대한 지속적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

마지막으로, 지금까지 언급한 生物體內的 오염물질 농도측정을 이용한 汚染度 조사 외에 최근에는 생물체의 오염에 대한 세포학적 또는 생리학적 반응을 조사하는 연구가 진행되고 있으며 곧 이 방법을 이용한 국가 차원의 프로그램이 등장할 것으로 예상된다.

## IV. 細部技術事項에 對한 檢討 · 分析

오염지표생물을 이용한 沿岸의 汚染度 평가방법은 크게 생물체내의 오염물질 함량측정과 오염물질의 투입에 따른 생물체의 세포학적 또는 생리학적 반응측정의 두가지로 나눌 수 있다.

### 1. 生物體內의 汚染物質 含量測定을 利用한 評價

앞에서 예를 든 연구사례들이 이 방법에 속하며, 기술적인 면에서 기획, 표본채취, 화학적 분석 및 자료분석의 단계로 나눌 수 있다.

현재 우리 나라는 기획을 제외한 다른 분야에서는 先進 外國에 접근했다고 볼 수 있으나, 기획단계의 기술, 즉 오염지표생물의 선정, 측정대상 오염물질의 선정, 채취지역 및 표본크기의 선정 등에서 선진 외국과 현격한 기술의 차이를 보인다.

이러한 기획단계의 기술은, 우리 나라 沿岸의 특성에 맞는 방법을 개발하여야 하는 까닭에, 다른 단계의 기술과 달리 기술의 이전이 어려우며 많은 경험과 조사지역에 대한 기초조사(생물자원도, 海流圖 等)가 필수조건이다. 사실, 汚染度 평가를 위한 기획기술이나 기초조사의 발전이 이루어지지 않으면 아무리 측정장비나 측정기술을 개발해도 그 성과가 나타나지 않는다. 우리 나라 沿岸환경관리기술이, 측정 기술의 발전 및 첨단 분석기기의 도입에도 불구하고, 분석결과의 현실적 적용이 잘 이루어지지 않는 이유는 이러한 기본적인 沿岸환경 조사의 필요성에 대한 沒理解 또는 당장의 눈앞에 보이는 성과만을 위주로 한 정책으로 야기되는 인색한 투자 때문이기도 하다.

그러므로 장래의 해양자원시대의 주역이 될 沿岸자원의 필요성을 널리 인식시킴으로써 이 분야에 지속적이며 과감한 투자를 유도한다면, 위에서 지적된 문제점들이 극복될 것이며 그 동안 투자하였던 측정기술 및 첨단장비의 활용도 극대화 될 것이다.

마지막으로 沿岸오염의 대부분이 육지로부터 유입된다는 점을 고려하면, 더욱 효과적인 沿岸관리를 위해서는 하천 및 육지를 연안과 連繫시킨 종합적 오염방지 감시망을 구축하여야 한다.

### 2. 生物體의 細胞 · 生理學的 反應 測定의 對한 汚染度 評價

지표생물의 세포학적 및 생리학적(생물학적)반응 측정을 이용하는 방법은 DNA의 변질상태, 수정란의 이상, 에너지 소모량 等과 주변의 汚染度 사이의 질적 양적

상관관계 등을 밝힘으로써 주위 환경의 汚染度를 평가하는 것이다.

이러한 해양환경독성학적 연구의 필요성은 1991년 FAO 주관 하에 열린 오염물질의 해양생물에 대한 생물학적 반응현상 연구를 위한 Workshop에서, IOC, UNEP, GEEP(Group of Experts on the Effects of Pollutants)의 전문가들에 의해 제기되었다. 사실, 이 방법은 기존의 화학적 측정의 대체기술이나 중복기술이 아닌, 오염감시 체제 프로그램에 추가 통합되어야 할 새로운 방법이다.

그러나 아직까지 현장에서 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 부족하여, 실용화를 위한 더욱 많은 연구가 이루어져야 한다. 한편, 현실에서 자주 나타나는 여러 종류의 오염물질의 복합적 기작 및 그 위험도를 평가하기 위해서는 하나의 지표생물만 사용하는 것보다 상호 보충역할을 할 수 있는 여러 지표생물을 사용하는 것이 바람직하다.

현재 우리 나라의 이 분야에 관한 기술을 선진외국에 비해 거의 모든 분야에서 뒤떨어져 있으나, 최근 수산진흥원 및 해양연구소에서 이 분야에 대한 관심을 갖고 지표생물의 생물학적 반응을 이용한 汚染度 조사 프로그램을 계획중이며, 곧 이러한 방법을 이용한 논문이 발간될 것으로 기대된다.

## V. 沿岸海域의 環境保全 및 生態係의 復元方案

바다는 우리가 예전에 생각했던 것처럼 무한한 自淨능력을 갖고 있지도 않으며, 특히 沿岸해역이라는 좁은 공간에서는 더욱 더 그 능력이 줄어든다. 바로 이러한 沿岸해역을 보호하기 위하여, 정부는 沿岸별, 오염원별 특성에 따른 해양오염의 종합적 체계적 관리를 위하여 전국 63개 沿岸을 행정구역 및 환경영향권에 따라 6개 圈域으로 구분하여, 해양환경 보전을 위한 圈域別 종합대책을 마련하였으며, 96년까지 차질없이 사업이 실행되면 현재 3등급을 초과하는 海域水質이 2등급이하로 크게 개선될 것으로 전망하고 있다. 또한 최근에는 여러 지역단체 및 주민들이 참여하는 바다 되살리기 운동이 남해안 일대에서 전개되고 있으며, 이 운동에 대한 각계의 적극적인 호응을 얻고 있다.

이러한 民·官 협동의 노력으로 최근에는 沿岸해역 오염의 상징이었던 마산灣으로, 10년만에 처음으로 灣內에 철새들이 날라 오고, 해마다 5-6차례나 나타났던 赤潮현상도 92년에는 단 두 차례에 그치는 등, 이 지역이 회생의 기미를 보이기 시작했다고 한다. 마산만이 눈에 띄게 되살아나고 있는 직접적인 원인은 94년까지 총 2백68억원의 예산을 들여 시행하기로 되어있는 堆積汚泥 浚渫사업의 추진으로서, 시민들의 적극적인 관심과 행정당국의 집중적인 투자가 환경의 질적 개선에 효과적이라는 것을 입증하였다.

그러나 週期的인 浚渫사업은, 沿岸지역의 개발에 따른 인구의 증가 및 경제활동의 증대에 의해 육상기원 오염물질이 증가한다는 사실을 고려할 때, 沿岸환경보전 및 복원의 근본적·장기적 대책이 될 수 없다.

이러한 沿岸오염의 근본적인 방지대책은 육지에서 발생하는 생활하수 및 산업폐수를 적절히 처리해 재활용함으로써 육지로부터 연안에 유입되는 오염물질의 양을 감소시키는 것으로, 정부도 폐·하수 처리장 건설사업을 준설사업과 함께 역점을 두고 확대 실시해 나갈 계획이다.

한편, 폐·하수 처리장 건설사업과 준설사업을 중심으로 한 현재의 沿岸환경 보전 및 생태계 복원 대책이 중·장기적으로 지속될 수 있는가 하는 점에 대해서는 의구심을 갖지 않을 수 없다. 왜냐하면, 폐·하수 처리장 건설사업만을 위해서도 엄청난 비용이 소요되는데 (예, 충무市 하수종말처리장 건설비 200억원, 삼천포市 하수 종말처리장 290억원 등), 그 외에 정기적으로 준설공사에 막대한 비용을 (예, 마산만 준설공사 268억원 등) 투자한다는 것은 자연의 自淨능력을 최대한 이용하지 못하는 비경제적인 방법이며, 투자의 實現측면에서 보아서도 불가능하다고 할 수 있기 때문이다.

따라서 沿岸환경의 지속적인 보전과 생태계의 복원을 위해서는, 적절한 위치에 폐·하수 처리장을 설치하여 육지에서 발생한 폐·하수를 적절히 처리한 후

재활용하는 방법 외에 외·심해의 自淨능력을 이용하는 방법과 육지에서의 숲의 역할에 비교할 수 있는 海洋草原의 조성이 그 근본적·장기적 대책이 될 수 있을 것이다.

沿岸보다 큰 외·심해의 自淨능력을 이용하는 방법은 매우 간단하다. 즉 폐·하수의 再使用이 불가능하여 海洋放流가 불가피하다면, 沿岸지역보다는 自淨능력이 크고 자원의 활용도가 떨어지는 외·심해 지역으로 파이프라인을 건설하여 방류하는 것이다.

물론 외·심해 방류해역의 環境容量 및 경제성 등이 고려되어야 하며, 기술적인 문제점들은 해저 석유파이프라인 공사 등을 통한 기술축적으로 해결될 수 있다(Quentin, De Rouville, 1986 ; Gunnerson, 1988). 세계적으로도 이미 미국, 프랑스 등 여러 선진국에서 이 방법을 사용하였으며, 현재까지는 가장 이상적인 폐·하수의 해양 방류방식으로 인식되고 있다.

이와 같은 인식은 장마 및 폭풍우 시에는 대부분의 폐·하수 처리장이 유입되는 담수를 모두 처리할 수 없어 그대로 沿岸으로 방류를 하는 경우가 많으며 또 아무리 폐·하수 처리장에서 완벽히 처리하였다 해도 담수인 배출수는 沿岸환경에서는 하나의 汚染源으로 작용하는 점 등에 기인한다.

해수에 담수가 섞이게 되면 鹽度가 떨어지게 되고 이에 따라 粘度가 낮아져 바다 플랑크톤들의 부유성이 떨어지는 등 해양생태계에 악영향을 미치게 된다.

우리 나라의 경우, 최근에 발표된 폐·하수 처리장 관리방안에 관한 연구에 따르면 에너지 소모 등의 경제성 및 국내 기술 등을 고려하였을 때, 동해안도시는 1차 처리후 파이프라인을 통한 해양방류, 서남해안도시는 2차 처리후 파이프라인을 통한 해양방류가 우리의 실정에 가장 적합한 것으로 평가되었다(이상은, 1992).

비용 면에서도 초기 설비투자규모가 크나 시설의 수명이 반영구적이므로 수년마다 정기적으로 해야하는 준설사업에 비해 경제적일 것이다. 참고로 미국에서 파이프라인 및 폐·하수 처리장 건설에 드는 비용을 표Ⅲ-5에 나타내었다.

표 III-5: 주민 수에 따른 약 1500m의 파이프라인 및 폐·하수 처리장 건설 비용  
(Quentin, De Rouville, 1986)

주민 수	평균방출량 (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	배출구 직 경 (mm)	비용(1,000,000US\$, 1985년 기준)			
			파이프라인	폐·하수 처리장	폐·하수 처리장 운영비	계
10,000	0.035	300	0.6-0.8	0.6-0.8	0.6	1.8- 2.2
50,000	0.174	500	1.0-1.2	2.0-2.4	2	5.0- 5.6
100,000	0.347	700	1.4-1.6	4-5	4	9.4-10.6
500,000	1.736	1,500	5-6	12-15	12	29-33

결론적으로 우리 나라에서도 폐 하수 처리장의 해양방류방법을 기존의 沿岸 배출방식에서 외·심해 방류 방식으로 바꾸어야만 장마나 홍수時 많은 비용을 들인 폐·하수 처리장이 沿岸오염을 가중시키는 것을 막을 수 있다고 본다.

海洋草原의 造成은 최근에 많은 관심이 집중되고 있는 방법으로서 육지에서의 造林사업에 비교할 수 있다. 즉 육지에서와 마찬가지로 바다에서도 식물은 모든 해양생산력의 근원이 되는 것이다 (West et al., 1990).

해양식물들에 의해 형성된 숲인 해양초원에는 일반적으로 매우 다양한 종들의 해양생물이 棲息하고 있으며, 이 초원은 여기에 서식하는 생물들에게 먹이를 제공할 뿐만 아니라 산란장과 도피처를 제공해 준다. 또한 탄소동화작용을 통하여 산소를 공급하고 육지로부터 유입되는 영양염류를 식물의 성장에 사용하여 부영양화 현상을 감소시키는 등, 해양의 自淨능력을 높여줌으로써 건전한 해양생태계의 유지를 위해 중요한 역할을 한다.

따라서 지속적인 환경보전 및 건전한 해양생태계의 복원을 위해서는 각 지역의 특성에 맞는 해양식물의 移植에 대한 연구가 이루어져야 할 것이며, 沿岸주민에 의한 각종 운동들도 해양 쓰레기 제거운동과 함께 "海洋植木日"의 제정이나 기존의 잠수클럽을 이용한 해양식물 移植운동 등과 병행되어야 할 것이다.

한편 이 방법도 앞에서 제안한 沿岸배출수의 외·심해 방류 방식과 마찬가지로, 초기에는 연구 및 개발을 위해 상당한 비용이 들것이다. 그러나 다가오는 21세기에 자원의 보고가 될 沿岸해역이 오염되어 막대한 국가적 손실을 가져오게 될 것임을 생각할 때, 이러한 근본적이며 지속적인 沿岸오염 해결방법에 대한 집중적인 연구 및 투자가 하루 빨리 이루어져야 할 것이다.

특히 최근에 관심이 쏠리고 있는 서해안 개발계획은 기획단계에서부터 이러한 방법들에 대한 검토가 이루어져야만, 沿岸개발 및 이에 따른 인구의 증가 등에 의해

필수적으로 야기되는 海岸오염문제를 해결할 수 있을 것이다.

따라서 우리 韓國環境技術開發院에서 既存의 G-7 프로젝트인 해양환경보전기술 및 해양생태계 복원기술개발에 이러한 연구방법들을 추가함으로써 서해안 개발이 환경과 개발이 조화를 이루는, 즉 환경적으로 건전하고 지탱가능한 개발이 될 수 있도록 토양을 만들어 주어야 할 것이다.

## 參考文獻

- 장시환 (1993) 해양보전·바다 살면 육지도 산다. 코스모스피어, 11, 50-57.
- 국립환경연구원 (1992) 환경공학기술개발을 위한 연구기획. 국립환경연구원, 서울.
- 김장량 (1972) 한국산 주요 식용 해조종의 수은 카드뮴 납 및 구리의 함량. 한국수산학회지, 5 (3), 88-96.
- 박주석, 김학균 (1979) 해양생물에 대한 생체실험 II. 백합에 대한 수은, 구리 및 카드뮴의 독성. 한국수산학회지, 12 (2), 113-117.
- 이상운 (1992) 우리나라 적합 하수도시설 및 관리방안. 대한위생학회지, 7 (2), 37-52.
- 원종훈 (1973) 한국산 어패류종의 수은 카드뮴 납 구리의 함량. 한국수산학회지, 6 (1-2), 1-19.
- 해양연구소 (1990) 연안환경 보전기술 개발연구-3차년도. 과학기술처, 서울.
- ALLEMAND D. et al. (1989) Alteration of calcium transport as a mechanism of cell injury induced by  $HgCl_2$  in sea urchin eggs. *Mar. Environ. Res.*, 28, 227-230.
- AUGIER H. (1987) Bioindicateurs et indicateurs biologico-biochimiques en pollution marine. *Rev. Intern. Oceanogr. Medic.*, 85-86, 147-150.
- AUGIER H. et al. (1987) Teneur en metaux lourds des oursins comestible *Paracentrotus lividus* Lamarck dans les zones a grande activite touristique de l'île de Port-Cros, Actes Colloque Intern. Oursin Comestible *Paracentrotus lividus*, Carry-le-Rouet, Fr., 271-84.
- AUGIER H. et al. (1988) Teneur en metaux lourds des oursins comestible *Paracentrotus lividus* Lamarck prelevés dans quatre secteurs tests du littoral de Marseille(Mediterranee, Fr.). *Vie Marine, Hors serie*, 10, 226-239.

- AUGIER H. et al. (1991) Neutron-activation analysis of the elementary composition of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* from a reference area in Port Cros National Park(French Mediterranean). *Mar. Biol.*, 109, 345-353.
- BAKSI S.M., FRAZIER J.M. (1988) A fish hepatocyte model for the investigation of the effects of environmental contaminants. *Mar. Environ. Res.*, 24, 141-145.
- BAYNE B.L. (1985) Cellular and physiological measures of pollution effect. *Mar. Pollut. Bull.*, 16 (4), 127-129.
- BOGE G. et al. (1991) Les indicateurs physiologiques de toxicite en milieu marin. *Oceanis*, 17 (4), 351-365.
- CATSIKI A.V., ARNOUX A. (1987) Etude de la variabilite des teneurs en Hg, Cu, Zn et Pb de trois espaces de mollusques de l'Etang de Berre(France). *Mar. Environ. Res.*, 21, 175-187.
- CLAISSE D. (1989) Chemical contamination of French coasts : the result of a ten years messel watch. *Mar. Pollut. Bull.*, 20 (10), 523-528.
- COSSA D. (1989) A Review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanological Acta*, 12 (4), 417-432.
- COSTANTINI S. et al. (1991) Mercury, cadmium and lead evaluation in *Posidonia oceanica* and *Codium tomentosum*. *Mar. Pollut. Bull.*, 22, 362-363.
- CRISTIANI G. et al. (1980) Etude de la contamination experimentale de la phanerogame marine *Posidonia oceanica* (L.) par les compose mercuriques. Partie 1. Modalites de la contamination par le chlorure mercurique. *Environ. Pollut.*, 1 (23), 153-162.
- DELMAS P. (1988) Dynamique des concentrations en metaux lourds dans les gonades et les contenues digestifs de *Paracentrotus lividus* (Lam.) provenant

- d'une zone soumise a une pollution a dominante domestique et transplantees dans la reserve sous-marine de Monaco. Donnee preliminaires. C. R. des activites 1986/1987, Association Monegasque pour la Protection de la Nature Edit., 29-32.
- DONKIN P. et al. (1989) Quantitative structure-activity relationships for the effect of hydrophobic organic chemicals on rate of feeding by mussels (*Mytilus edulis*). *Aqua. Toxicol.*, 14, 277-293.
- GOLDBERG E.D. et al. (1983) U.S. Mussel watch : 1977-78 Results on the trace metals and radionuclides. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol 16, 69-93.
- GUNNERSON C.G. (1988) Wastewater management for coastal cities, World Bank Technical Paper No. 77. The World Bank Edit., New York.
- LAFABRIE M. (1991) Introduction : Biomarqueurs de contamination de l'environnement. *Oecanis*, 17 (4), 335-339.
- LAUENSTEIN G.G. et al. (1990) Comparison of trace metal data in mussels and oysters from a mussel watch programme of the 1970s with those from a 1980s programme. *Mar. Pollut. Bull.*, 21 (9), 440-447.
- LOWE D.M., CLARKE K.R. (1989) Contaminant-induced changes in the structure of the digestive epithelium of *Mytilus edulis*. *Aqua. Toxicol.*, 15, 345-358.
- MALEA P., HARITONODIS S. (1989) Uptake of Cu, Cd, Zn and Pb in *Posidonia oceanica* (Linnaeus) from Antikyra gulf, Greece : Preliminary note. *Mar. Environ. Res.*, 28, 495-498.
- MARTIN M. (1985) State mussel watch : Toxics surveillance in California. *Mar. Pollut. Bull.*, 16 (4), 140-146.
- MASERTI B.E. et al. (1988) *Posidonia* as an indicator of mercury contamination. *Mar. Pollut. Bull.*, 19, 381-382.

- NIES (1991) Trace elements and organic pollutants in mussels and other bivalves in Japan. The National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan.
- PAGANO G., ROMANA L.A. (1991) L'utilisation des oursins comme témoins de contamination. Tests biologiques sur les embryons et le sperme des oursins pour la surveillance de la pollution marine. *Oceanis*, 17 (4), 367-381.
- QUENTIN B., DE ROUVILLE M. (1986) Submarine sewer outfalls. *Mar. Poll. Bull.*, 17 (4), 133-183.
- WARD R.E. (1990) Metal concentrations and digestive gland lysosomal stability in mussels from Halifax inlet, Canada. *Mar. Pollut. Bull.*, 21 (5), 237-240.
- WEST R.J. et al. (1990) Experimental transplanting of seagrasses in Botany Bay, Australia. *Mar. Pollut. Bull.*, 21 (4), 197-203.
- WIDDOWS J. (1985) Physiological responses to pollution. *Mar. Pollut. Bull.*, 16 (4), 129-134.