

生態系内に 있어서 汚染物質의
移動體系에 關한 研究

A Preliminary study on the Korean Mussel Watch

1982. 10

研究責任者：李 光 雨

研究員：李 壽 玠

梁 東 範

吳 在 龍

金 銀 洙

韓國科學技術院
海洋研究所

目 次

Abstract

第I章 序 論	1
第II章 研究調査内容 및 方法	4
第1節 調査海域 및 調査時期	4
第2節 試料採取 및 保存方法	7
第3節 分析器機	8
第4節 測定 및 分析方法	8
第III章 結果 및 考察	16
第1節 진주담치 및 참굴중의 重金屬含量	16
1. 진주담치生体中の 重金屬分析을 위한 試料의 前處理法	16
2. 진주담치의 清臟期間(depuration period)과 重金屬含量	21
3. 全國 沿岸의 진주담치 및 참굴중의 重金屬含量	24
4. 진주담치의 成長度와 重金屬含量變化	47
5. 진주담치의 무게와 重金屬負荷量	50
6. 진주담치 및 참굴의 重金屬 濃縮係數(concentration factor)	55
7. 진주담치生体和 껍질의 重金屬含量比	57
8. 統計學的 相關關係	58
第2節 진주담치중의 PCB含量	60
1. 진주담치중의 PCB分析方法	60
2. 진주담치중의 PCB含量	63
第IV章 結 論	68
參 考 文 獻	73

LIST OF TABLES

- Table 1 Instrumental conditions for the determination of lead by Carbon Rod Atomizer.
- Table 2 Comparison of sample preparation methods for mussel meat on dry weight basis.
- Table 3 General water quality parameters in Yeosu and Jinhae Bay.
- Table 4 Heavy metal concentrations in seawater in Yeosu and Jinhae Bay.
- Table 5 Heavy metal concentrations in sediments in Yeosu and Jinhae Bay.
- Table 6 Heavy metal concentrations in soft tissues of mussels, *Mytilus edulis*.
- Table 7 Heavy metal concentrations in shells of mussels, *Mytilus edulis*.
- Table 8 Heavy metal concentrations in soft tissues of oyster, *Crassostrea gigas*, in Jinhae Bay.
- Table 9 Heavy metal loads on individual bodies of mussel (*Mytilus edulis*) and oyster (*Crassostrea gigas*).
- Table 10 Concentration factors of heavy metals in mussel (*M. edulis*) and oyster (*C. gigas*) in Yeosu and Jinhae Bay.
- Table 11 The ratios of metal concentrations in soft tissues to those in shells of mussel, *M. edulis*.
- Table 12 Significant correlation coefficients among various parameters in mussels, *M. edulis*.
- Table 13 Gas chromatographic conditions for PCB analysis.
- Table 14 Results of gas chromatographic analysis and recovery test for PCB residues in mussels, *M. edulis*.
- Table 15 Gas chromatographic data of a PCB standard, Aroclor, 1254.
- Table 16 Gas chromatographic data of PCB's in a mussel extract with addition of Aroclor 1254.

LIST OF FIGURES

- Fig. 1 Sampling sites in Korea.
- Fig. 2 Sampling stations in Jinhae Bay.
- Fig. 3 Depuration of heavy metals in mussels, *M. edulis*.
- Fig. 4 Relationships of heavy metal loads to body weights for cadmium, chromium, copper and zinc in mussels, *M. edulis*.
- Fig. 5 Gas chromatogram of a sample from Yeosu.
- Fig. 6 Gas chromatogram of a PCB standard, Aroclor 1254.
- Fig. 7 Gas chromatogram of a standard-added sample from Yeosu.

ABSTRACT

Studies on pollution from heavy metals and PCB's in the Korean coastal waters were carried out using indicator organisms, such as mussels, *Mytilus edulis*, and oysters, *Crassostrea gigas*, during 1981-82.

Various methods for the preparation of mussels and oysters and the determination of heavy metals by atomic absorption spectrophotometry were tested, and the Modified Methods of the Conventional Dry Ash Digestion was found to be the most suitable for the present study. The preparation methods tested were dry ash digestion, wet ash digestion with NH_4NO_3 or $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$, and HNO_3 extraction.

Depuration of mussel samples in clean seawater was needed immediately after collection for the complete excretion of gut contents. A depuration period of 48 hours was observed to be adequate for most of the heavy metals analyzed.

When the samples of mussels and oysters were taken, the heavy metals in seawater and sediments were measured in the coastal waters of Imweon, Banweol, Yeosu, Chungmu and Jinhae Bay. The metals analyzed were Cd, Cr, Cu, Pb and Zn for seawater, and Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb and Zn for sediments. The concentrations of heavy metals in the surface water were generally higher than those in the bottom water, and the dissolved fractions of metals were much higher than the particulate ones in seawater.

In the soft tissues of mussels and oysters, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn were analyzed, whereas in the shells Cd, Cr, Cu, Pb and Zn were analyzed. The ranges of heavy metal levels in the soft tissues of mussels were: Cd, 1.8-2.9 ppm; Cr, 2.3-4.4 ppm; Cu, 3.7-6.6 ppm; Fe, 170-790 ppm; Mn, 5.5-21.2 ppm; Pb, 0.65-2.75 ppm;

and Zn, 50-108 ppm. Mussel shells in Imweon showed the highest concentrations of Cd and Pb, and the lowest of Cr, Cu and Zn. Heavy metal concentrations in the soft tissues of oysters were investigated only in Jinhae Bay, and the levels of Cu in oysters were higher than those in mussels, whereas the levels of other metals were similar in both bivalves.

The ranges of heavy metal loads on individual bodies of mussels were: Cd, 2.5-3.4 µg; Cr, 3.7-7.2 µg; Cu 6.7-10.4 µg; Fe, 180-1430 µg; Mn, 6-34 µg; Pb, 1.1-4.4 µg; and Zn, 63-171µg. Individual body loads of Cd, Cu, Mn, and Zn of oysters were much higher than those of mussels, whereas Cr, Pb and Fe loads on individual bodies of oysters were similar to those of mussels. Heavy metal loads per individual, Y, relates to dry body weight of mussel, W, as a power function expressed by

$$Y = aW^b$$

where a and b are constants. The values of a and b were 1.89 and 0.99 for Cd, 2.56 and 0.97 for Cr, 5.30 and 0.92 for Cu, and 7.1 and 0.84 for Zn, respectively.

The concentrations of heavy metals in the soft tissues of mussels had a tendency to decrease gradually with the growth of mussels. This trend was also shown for mussel shells in Masan Bay.

The ranges of concentration factors of the soft tissues of mussels and oysters against the dissolved heavy metal concentrations in seawater were: Cd, 2,900-28,600; Cr, 900-7,200; Cu, 1,900-7,200; Pb, 300-2,100; and Zn, 1,400-16,600 for mussels, and Cd, 9,300-50,000; Cr, 1,200-3,300; Cu, 12,600-29,200; Pb, 200-700; and Zn, 3,700-56,900 for oysters.

Statistical analyses indicate significant correlations between

Cd-Cu(-), Cd-Pb(+), Cr-Cu(+) and Cu-Pb(-) in the shells, and Zn-Mn (+), in the soft tissues of mussels. The reason for this phenomenon can be related to difference in biological half-lives of metal in the shells in comparison to the soft tissues, and biological behaviors of the metals in different tissues of bivalves.

The concentrations of PCB's were investigated by extraction with acetonitrile, cleanup with Florisil and Silica gel column and determination by gas chromatography with electron capture detector. They were found to be less than 0.01 $\mu\text{g/g}$ (wet weight) in the soft tissues of mussels in Yeosu and Jinhae Bay.

第 I 章 序 論

PCB, 농약 및 알킬수은등과 같은 유기물질이나 중독성(中毒性) 중금속등은 그것이 자연환경에 버려지면 그 양이 극히 미량일지라도 일단 하등 동·식물의 생체내에 축적되고 결국은 먹이사슬(food chain)을 통해 인간에게까지 해를 끼치게 되는 무서운 오염물질이다. 그 좋은 예로 1953년부터 일본에서 수백명의 무서운 신경장애 환자를 생기게 했던 Minamata 병이나 1962년 일본 도야마에서 발생하여 무려 70여명의 목숨을 앗아 갔던 Itai-itai 병은 각각 유기수은과 카드뮴의 만성중독으로 야기 되었음이 판명된 바 있다. 또 PCB는 일본의 유증사건(油症事件)을 비롯하여 피부병과 간장해(肝障害)를 일으키는 중독현상을 갖고 있는 데도 불구하고 전기절연체, 변전기, 플라스틱등에 섞여 환경에 널리 퍼져 있다.

우리나라는 지난 20여년간 중화학공업을 비롯해 제반 산업의 발전과 수출확대로 고도의 경제성장을 이루는 과정에서 전국 연안에 수 많은 공업단지가 설립되고 주변 도시에는 인구집중화 현상이 심화되면서, 공장폐수 및 도시하수로 인해 연안해수의 오염이 가속화되고 있는 실정이다. 이미 알려진 바와 같이 마산만은 점차 죽어 가고 있으며, 울산만, 광양만, 낙동강하구 그리고 금강하구등도 오염이 극심한 상태에 이르고 있다. 그러므로 우리나라의 경제발전에 중요한 수산생물자원의 보호를 위해서는 무엇보다도 연안 해수의 수질을 보전하는 것이 중요하다. 이에 따라 연안의 오염현황을 조사하여 환경보전대책을 강구하기 위한 연구조사가 필요한 것이다.

특정해역의 오염도를 측정하는 방법에는 해수나 해저퇴적물, 또는 이 해역에 서식하는 생물을 이용하는 방법등 크게 세가지로 구분할 수 있다. 해수의 수질분석을 통한 오염도 측정방법은 해수 자체가 해류, 조석 등으로 인해 시시각각으로 유동하므로 1~2회의 측정만으로는 정확한 오염도 측정이 곤란하며 또 해수중의 대부분 오염물질농도는 $10^{-12} \sim 10^{-15} g/g$ (Goldberg *et al.* 1978b)으로 낮아 측정하기가 매우 까다로운 단점이 있다. 한편 해저퇴적물은 오염물질이 단기간내에 퇴적되는게

아니고 오랜 시일이 걸려야 하며 그 것도 연안처럼 조석차가 심한 곳에서는 亂流(turbulence) 때문에 규칙적인 퇴적을 기대할 수 없다. 그러나 패류와 같은 해양생물들은 활동범위가 거의 한 지역에 국한되면서도 중금속이나 유기화합물, 또는 방사성물질등을 생물농축(bioaccumulation) 시키기 때문에 오염지표생물(indicator or sentinel organisms)로 널리 이용되고 있다. 더우기 오염지표생물로서 세계적으로 널리 분포되어 있는 종(種)을 선택하면 지역간이나 국가간의 오염도 비교가 가능하게 된다.

미국에서는 1976년 처음으로 "Mussel Watch Program"이 시작되어 전국 연안의 담치나 굴등을 오염지표생물로 하여 그 속의 중금속, PCB, 석유탄화수소(petroleum hydrocarbons), 초우라늄원소 등에 의한 오염도를 측정해 오고 있으며 (Goldberg *et al.* 1982; Koide *et al.* 1982) WESTPAC(서태평양기구)에서는 회원국간에 Task Team을 구성하여 Mussel Watch를 통한 오염감시체제를 확립하고자 노력하고 있다(IOC Summary Report 1981). 이 외에도 오염지표생물을 이용한 오염도 측정에 관해서 세계적으로 활발한 연구들이 수행되고 있다(Cunningham and Tripp 1975; Chow *et al.* 1976; Phillips 1977b; 1978; 1979; Hung *et al.* 1981). 그러나 우리나라의 경우는 수산생물에 대한 중금속조사가 간헐적으로 있었을 뿐(元 1973; 李 等 1975; 국립수산진흥원 1977; 都 等 1981) 오염지표생물을 이용한 연안 해역의 오염도 측정에 대해서는 아직 체계적인 조사연구가 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 오염지표생물을 이용한 특정해역의 중금속 및 PCB오염도를 측정하기 위하여 지표생물로서 우리 나라에 널리 분포되어 있는 진주담치(*Mytilus edulis*)와 참굴(*Crassostrea gigas*)을 선택하여 일차적으로 이들 생물중에 들어 있는 중금속과 PCB의 분석방법을 고안한 후 이 방법과 기존 방법과의 차이점을 비교 검토하였으며 또 이 분석방법을 이용하여 동해안, 남해안 그리고 서해안에 서식하는 자연산 및 양식 진주담치와 참굴 중의 중금속 및 PCB 함량을 조사하였다. 아울러 진주담치 성장도에 따른 진주담치 생체내의 중금속 함량변화, 진주담치 생체와 껍질사

이의 중금속 농도분포, 清臟期間 (depuration period), 지표생물 생체내의 중금속 부하량, 해수중의 중금속함량에 대한 지표생물 생체중의 농축계수 (concentration factor) 그리고 해수 및 해저퇴적물과 같은 지표생물의 주위환경내의 중금속과 화학수질지수변화 등에 대해서도 조사가 이루어졌다.

第II章 研究調査内容 및 方法

第1節 調査海域 및 調査時期

진주담치 시료는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 동해안에서는 1981년 11월 17일 강원도 임원 앞바다(37° 13' 28" N, 129° 20' 53" E)에서 수심 5 m 되는 곳에 잠수하여 바위에 부착되어 있는 자연산을 채취하였으며, 서해안에서는 반월 앞바다에 있는 위도에서 양식되는 진주담치를 1982년 4월 7일 채취하여 시료로 사용하였다.

남해안에서는 여수와 충무, 진해만 등에서 시료를 채취하였는데 여수는 신월동 앞바다의 진주담치 양식장에서 1981년 12월 10일과 1982년 3월 28일등 두 차례에 걸쳐 시료채취 및 화학수질지수들을 측정 조사하였다.

충무와 진해만에서는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 9개 조사점에서 진주담치와 참굴 시료채취와 함께 해수 및 해저퇴적물의 중금속조사 그리고 일반 수질지수들을 동시에 측정 조사하였다. 마산만의 조사점으로는 창원시 귀산동(St. 1)과 모개등대 뒷편의 진주담치 양식장(St. 2)등 2개점을 정하였는데 St. 1에서는 1981년 10월 13일과 1982년 3월 24일, 그리고 St. 2에서는 1981년 11월 10일과 1982년 3월 25일등 각각 2회에 걸쳐 시료채취 및 현장조사를 실시하였다. 행암만에서는 만입구에 있는 도투마리암(St. 3)에서 1982년 3월 25일 자연산 진주담치를 채취하여 시료로 하였다. 가조도 쪽의 진해만에서는 실리도 부근의 진주담치 양식장(St. 4), 계도 부근(St. 5), 수우도 부근(St. 6), 칠천도 안쪽(St. 7) 등 4개 조사점을 정하여 St. 4에서는 1981년 11월 10일, 1982년 2월 18일, 3월 25일등 모두 3회에 걸쳐 조사하였고 St. 5와 6은 1982년 3월 24일, St. 7은 1982년 3월 25일등 기타의 조사점들은 1회에 한해 조사하였다. 충무 연안에서는 충무와 거제도사이의 참굴양식장(St. 8)과 북신동의 참굴양식장(St. 9)에서 양식 참굴 및 자연산 진주담치시료 등을 채취하고 동시에 해수와 해저퇴적물의 여러가지 수질지수들도 측정하였다.

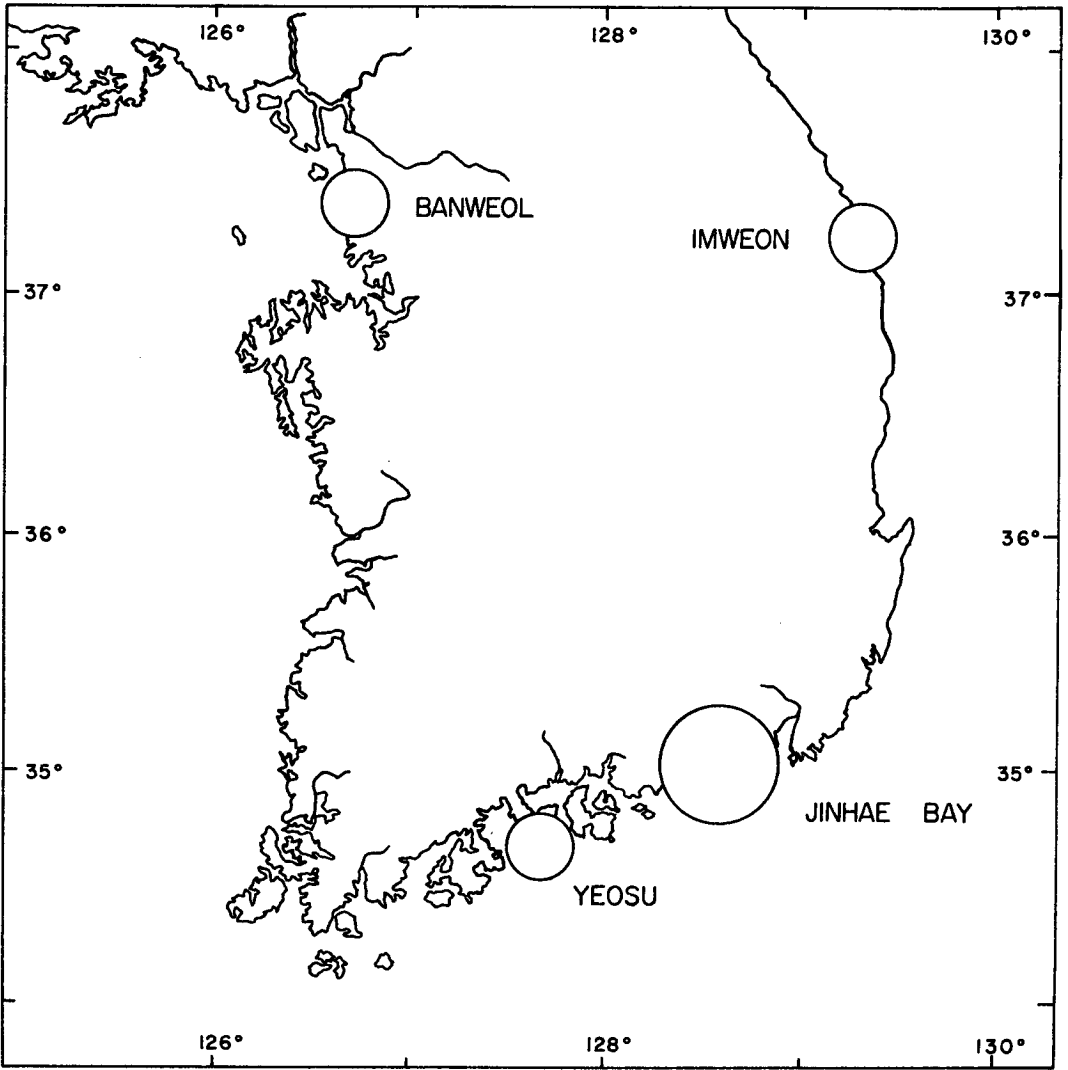


Fig. 1. Sampling sites in Korea

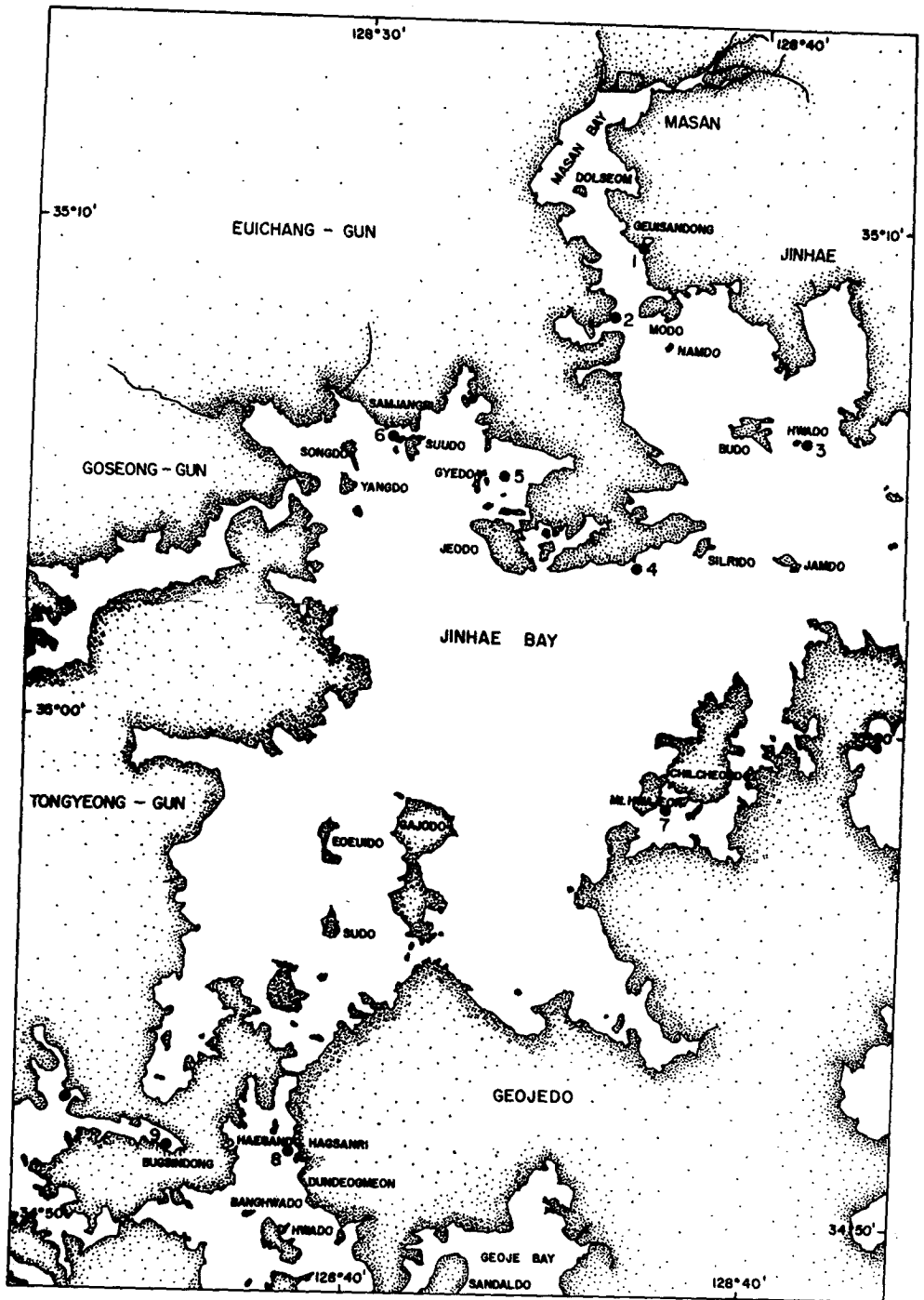


Fig.2. Sampling stations in Jinhae Bay

第 2 節 試料採取 및 保存方法

양식 진주담치 및 참굴은 양식장에서 바로 채취하였고 자연산 진주담치는 칼을 사용하여 채취하였다. 채취된 진주담치시료는 해수에 8시간 이상 담가 놓아 清臟 (deputation) 시킨후 비닐백에 넣었으며 참굴시료는 현장에서 除殼 (shucking) 하여 생체시료만 비닐백에 보관하였다. 이 시료들은 현지 냉동공장에서 냉동시킨 다음 얼음상자에 담아 실험실로 옮겼으며 실험시까지 냉동고에 보관하였다가 필요한 양만큼 꺼내서 실험에 사용하였다.

해수시료는 각 조사점에서 van Dorn 채수기를 사용하여 표층과 저층에서 채수하는 것을 원칙으로 하였으며 수질지수에 따라 다음과 같은 용기와 보존 방법을 사용하였다.

중금속측정을 위한 해수시료는 미리 질산과 증류수로 수회 세척한 3.8ℓ 용 폴리에틸렌병에 담아 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

Winkler 법에 의한 용존산소량 (DO) 측정용 시료는 300 ml 용 유리병에 기포가 생기지 않도록 잘 담은 후 황산 망간과 알카리성 요오드화 칼륨용액으로 용존산소를 고정시켜서 얼음상자에 넣고 실험실로 옮긴 다음 측정하였다.

화학적산소요구량 (COD) 시료는 300 ml 용 폴리에틸렌병에 담은 후 얼음상자에 넣고 실험실로 옮겨서 측정하였다.

영양염시료는 현장에서 일단 여과 한 다음 여액을 20 ml 용 폴리에틸렌병에 담아 냉동시키고 실험실로 옮긴 다음 측정하였다.

해저퇴적물시료는 sediment snapper 로 채취하여 폴리에틸렌병에 담은 후 냉동공장에서 일단 냉동시키고 얼음상자에 넣어 실험실로 옮긴 다음 중금속을 분석하였다.

第 3 節 分 析 器 機

1. Dissolved oxygen meter : Yellow Springs Instrument Co. Model 57.
2. pH meter : Orion Model 407 A/F.
3. Salinometer : Yeo-Kal Environmental Electronics Model 601 MKIII
4. Automatic titrator : Metrohm Herisau Co. Multi-Dosimet Model E 415.
5. Atomic absorption spectrophotometer : Instrumentation Laboratory Model 251 및 Varian Model 875.
6. Freeze dryer : Virtis Model 10-100.
7. Auto Analyzer : Technicon AA II.
8. Muffle furnace : Gallenhamp.
9. Gas Chromatograph : Hewlett - Packard Model 5840A.

第 4 節 測 定 및 分 析 方 法

1. 진주담치 및 참굴생체중의 중금속

측정된 중금속은 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn), 납(Pb), 아연(Zn) 등 7가지이다. 진주담치시료는 냉동된 것을 실온에서 녹인 후 껍질에 묻은 더러운 것들을 수돗물로 깨끗이 닦아 내고 진주담치속에 들었던 해수는 따라 버린 다음 스테인레스 칼로 除殼(shucking)하였다. 푸울(pool)당 10개 시료씩, 시료량에 따라 2~3개 푸울을 만들어 분석에 사용하였는데, 즉 10개 시료를 블렌더(blender)에 넣고 약 10분동안 均質化(homogenization)시킨 후 직경 7cm짜리 자기(磁器)증발접시 3개에다 각각 시료 10g씩을 취하였다. 각 푸울에서 나오는 진주담치껍질은 중금속분석을 위해 따로 보관하였다. 자기증발접시에 담긴 시료는 오븐(oven)속에 넣고 105°C에서 12시간정도 말려 무게를 단후

머플가마 (muffle furnace) 에 넣고 550°C 에서 약 3 시간동안 가열해서 유기물을 태워 백회 (白灰) 를 만들었다. 만일 시료가 백회화 (白灰化) 되지 않았을 경우에는 다시 1 ~ 2 시간 더 가열해서 완전히 백회화시켰다. 시료를 실온에서 냉각시킨뒤 1N HNO₃ 10ml 를 가하고 이 용액을 15ml pyrex 시험관에 옮겨 1 시간정도 방치함으로써 회분 (灰分) 으로부터 중금속을 浸出 (leaching) 시켰다.

같은 현장에서 제각 (除殼) 하여 껍질은 버리고 생체만 냉동시켜 실험실로 옮겼는데 측정시 일단 시료를 녹이고 시료 크기에 따라 10 ~ 20 개를 블렌더로 갈아 균질화시켜서 시료 10g 씩 3 ~ 4 개를 자기증발 접시에 담아 진주담치와 동일한 방법으로 처리하였다.

측정상에 있어서 분자흡수방해 (molecular absorption interference) 를 제거하기 위해 deuterium background corrector 를 사용하였으며 또 매트릭스방해 (matrix interference) 를 예방하기 위해서는 표준물질첨가법 (standard addition method) 을 이용하였다. 즉, 전처리된 시료용액 1ml 에다 10ppm 표준용액을 각각 0, 1, 2, 3 ml 를 가하고 1N HNO₃ 용액으로 최종용적을 5ml 로 만들어 이 용액을 원자흡수분광기의 공기-아세틸렌불꽃에 분무시켜 각 원소의 농도를 측정하였으나 납 원소만은 비불꽃 원자화기 (non-flame atomizer) 인 Varian CRA-90 carbon rod atomizer 로 측정하였다. 납측정을 위한 carbon rod atomizer 의 조작조건은 Table 1 과 같다. 측정에 사용된 각 원소의 흡수파장은 Cd 228.8 nm, Cr 357.9 nm, Cu 324.7 nm, Fe 248.3 nm, Mn 279.5 nm, Pb 283.3 nm, Zn 213.9 nm 였다.

진주담치 및 참굴생체중의 중금속농도표시는 乾重量 (dry weight) 의 ppm 단위로 나타냈다.

Table 1. Instrumental conditions for the determination of lead by Carbon Rod Atomizer.

	Temperature (°C)	Hold time (sec.)
Dry	100	50
Ash	400	50
Atomize	1,200	2
Ramp rate	300°C/min.	
Sheath gas	Nitrogen	
Sample size	5 μ l	

2. 진주담치 껍질중의 중금속

제각(除殼)하고 남은 진주담치껍질은 크기를 재고 표면의 더러운 것들을 수돗물로 깨끗이 씻어 낸후 단단하게 붙은 이물질(異物質)들은 스테인레스 칼로 표면을 다치지 않도록 조심스럽게 긁어낸 다음 증류수로 닦아 냈다. 이 시료를 오븐속에 넣고 105°C에서 5시간정도 건조시키고 무게를 단후 1ℓ용 pyrex 비커에 넣고 손으로 진주담치 껍질을 몇토막 내어 잘게 부수었다. 이것은 나중에 HNO₃를 가할 때 되도록 빨리 녹게 하기 위해서이다. 여기에다 진한 HNO₃ 25 ml를 가하고 비커를 서서히 회전시켜 시료에 질산이 골고루 접촉되게 하여 반응을 촉진시킨다. 탄산가스 발생이 멈춰서 거품이 적게 생기면 다시 증류수 25 ml를 가하고 시계접시로 비커를 덮어 실온에서 12시간정도 방치하여 두었다. 껍질크기가 큰 것들은 진한 HNO₃를 최고 50 ml까지 가하고 같은 부피의 증류수를 가해서 시료가 HNO₃ 용액에 잠기도록 하였다.

이와 같이 12시간정도 방치시키면 무기성분(無機成分)은 거의 녹고 유기성분만 남게 되는데 비커를 가열판(hot plate)위에 올려 놓고 가열해 주면 시료는 맑은 용액으로 변한다. 이 용액을 110~120°C를 유지하면서 완전히 증발 건조시키면

시료의 색깔은 완전히 백색으로 변하게 된다. 이것은 시료중의 유기물이 충분히 산화되었다는 표시로 볼 수 있다. 비커에다 증류수 약 800 ml를 가해 시료 성분을 녹인 다음에 이것을 마개 달린 1ℓ용 둥근 바닥 플라스크에 옮겨 담았다. 진주담치 껍질을 용해시키면 용액속에 칼슘함량이 매우 높아서 용액의 점성(粘性)이 커지므로 시료를 불꽃에 분무시키기가 곤란하다. 따라서 칼슘염으로부터 측정코자 하는 중금속을 분리해 내는 과정이 반드시 필요하다. 이 분리작업은 Fe-APDC 침전법 (Lee *et al.* 1980)을 이용하였다.

둥근바닥 플라스크에 담긴 시료에 0.1% 메틸오렌지 지시약 2방울과 1000 mg/l Fe(III) 용액 5 ml를 가하고 묽은 염산과 묽은 암모니아수로 용액의 pH를 대략 3으로 조절하였다. 여기에 구연산암모늄 완충용액(구연산 365g과 구연산이암모늄 179g을 2ℓ 증류수에 녹이고 pH를 3으로 조절한 용액) 15 ml와 5% APDC (ammonium pyrrolydine dithiocarbamate) 5 ml를 가하고 약 1분간 흔들어진 다음 20~30분동안 침전이 완결토록 방치하였다. 이 용액을 pore size 0.45 μm인 Millipore 막 여과지(membrane filter paper)로 여과하여 침전은 여과지와 함께 10 ml pyrex 시험관에 넣고 1N HNO₃ 5 ml를 가한 후 60°C 건조기속에서 30분동안 방치시켰다. 이와 같이 처리하면 여과지는 그대로 남고 침전물만 용해되어 맑은 용액이 되는데 이 용액을 공기-아세틸렌 불꽃에 분무시켜 각 원소의 농도를 측정하였으나 납 원소만은 비불꽃원자화기(non-flame atomizer)를 이용하여 측정하였다. 공시험(blank test)은 1ℓ 비커에 HNO₃ 25 ml와 증류수 25 ml를 가하고 이후는 시료의 실험조작과 동일하게 하여서 바탕값(blank)으로 정하였다.

진주담치껍질중의 중금속 농도표시는 건중량의 ppm 단위로 나타냈다.

3. 해저퇴적물중의 중금속

측정된 중금속은 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 코발트(Co), 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 등 9가지이며 시료는 얼림

건조기 (freeze dryer)로 말려서 막자사발 (mortar)로 곱게 빻은 다음 60 mesh 나이론채 (nylon sieve)로 걸렀다. 이 퇴적물 시료 1g을 50 ml 자기 (磁器)도 가니에 담아 머플가마에 넣고 550°C에서 약 3 시간정도 가열하여 유기물을 태운 후 꺼내 식힌 다음 30 ml pyrex 시험관에 옮겨 담았다. 여기에다 진한 HNO₃ 3 ml를 가하고 기름증탕 (重湯)에서 120°C를 유지한채 digestion 시켰다. 다시 1 N HNO₃ 20 ml를 시험관에 넣고 전기진탕기 (electric shaker)로 1분간 잘 흔들어 준 다음 이 용액을 원자흡수분광기의 공기-아세틸렌불꽃에 분무시켜 각 원소의 농도를 측정하였으며 농도표시는 건중량의 ppm 단위로 나타냈다. 측정에 사용된 각 원소의 흡수파장은 Cd 228.8 nm, Cr 357.9 nm, Co 240.7 nm, Cu 324.7 nm, Fe 248.3 nm, Mn 279.5 nm, Ni 232.0 nm, Pb 283.3 nm, 그리고 Zn 213.9 nm 였다.

4. 해수중의 중금속

해수중의 중금속은 Cd, Cr, Cu, Pb, Zn 등 5 가지를 용존성 (dissolved) 성분과 粒子性 (particulate) 성분으로 구분하여 측정하였다. 즉, 해수시료를 0.45 μm, Millipore 막여과지를 사용하여 여과한 다음 여액 (filtrate) 중의 금속 성분을 용존성 금속 그리고 부유물질중의 금속성분을 입자성 금속으로 구분하고 각 성분중의 금속농도의 합을 총금속으로 표시하였다.

1) 용존성 중금속

중금속은 해수중에 극미량으로 존재하기 때문에 그 양을 직접 측정하기는 매우 어렵다. 따라서 측정이 가능한 농도까지 그 함량을 농축시켜야 하는데 본 연구에서는 용존성중금속의 농축방법을 진주담치껍질 중의 중금속 측정시 킨슈염으로부터 중금속을 분리해 낼때 사용하였던 Fe-APDC 침전법 (Lee et al. 1980)을 이용하여 800 ml 시료를 4 ml로 200 배 농축시킨후 Cu, Cr, Zn는 공기-아세틸렌불꽃에 시료를 분무시켜서 측정하였고 Cd과 Pb는 비불꽃원자화기를 이용해 시료를

분석하였다. 측정은 두번씩 실시하여 그 평균값을 취했으며 농도표시는 $\mu\text{g}/\ell$ 로 나타 냈다.

2) 입자성 중금속

Millipore 막여과지에 걸른 부유물질을 여과지와 함께 10ml pyrex시험관에 넣고 진한 질산 3 ml 를 가한 후 기름중탕 속에서 120°C 를 유지하면서 완전히 질산이 증발될 때까지 digestion 시켰다. 다시 진한 질산 1 ml 를 가하고 동일한 조작을 반복한 후 시료가 완전히 증발 건조되면 시험관에 1N HNO₃ 4 ml 를 넣고 측정에 사용하였다.

용존성 중금속 측정에서와 마찬가지로 Cu, Cr, Zn 는 공기-아세틸렌불꽃을 사용하였고 Cd와 Pb 는 비불꽃원자화기를 이용해 측정하였다. 입자성 중금속의 농도표시는 $\mu\text{g}/\ell$ 로 나타 냈다.

생물, 해저퇴적물, 해수등 모든 시료의 중금속분석에 사용된 시약들은 대부분 독일 Merck 제 특급시약이었으며 증류수는 초차증류기 (glass still) 로 일단 증류한 물을 다시 이온교환수지칼럼을 통과시켜 탈염수 (脫鹽水) 로 만들어 사용하였다. 구연산암모늄 완충용액은 디치존 (dithizone) 을 조금 넣고 클로로포름과 노르말렉산으로 수회 추출하여 사용하였고 APDC 용액은 클로로포름과 MIBK (methyl-isobutyl ketone) 로 2~3 회 추출하여 금속을 제거한 다음 사용하였다. 그리고 Millipore 막여과지는 2N HNO₃ 에 2주일정도 담가 둔후 다시 0.1% APDC 와 증류수로 수회 세척하여 사용하였다.

5. 일반수질지수

1) 수 온

휴대용 DO meter 를 사용하여 현장에서 측정하였다.

2) 염 분(Salinity)

시료를 300 ml 폴리에틸렌병에 담아 실험실로 가져와 전도도계 (conductivity meter) 로 전도도를 측정 한 후 염분으로 환산하였다.

3) pH

휴대용 pH meter 로 현장에서 측정하였다.

4) 용존산소량(DO)

휴대용 DO meter 로 현장에서 일차 측정하고, 또 300 ml BOD 병에 시료를 담아 Winkler 법에 의해 황산망간(II) 과 알칼리성 요오드화칼륨용액으로 용존산소를 고정시킨 후 실험실로 옮겨 황산으로 시료를 산성으로 한 다음 유리되어 나오는 요오드를 치오황산나트륨으로 역적정하여 측정하고 Weiss의 산소포화도공식을 써서 포화백분율을 계산하였다(Weiss 1970).

5) 부유물질

부유물질량은 미리 건조기속에서 건조시켜 무게를 측정한 0.45 μ m Millipore 막여과지로 여과한 다음 105°C 오븐속에서 24 시간 건조하고 다시 건조기속에서 실온으로 식힌 후 무게를 측정하여 여과하기 전의 막여과지 무게를 빼어 측정하였다. 부유물질측정을 위해서는 시료 1ℓ를 여과하였으며 그 농도표시는 mg/ℓ로 나타 냈다.

6) 화학적 산소요구량(COD)

시료 50 ml 에다 수산화나트륨용액을 가해 알칼리성으로 한 다음 일정과량의 과망간산칼륨용액을 넣고 수욕상에서 20 분간 가열한 후 냉각시켰다. 다시 요오드화칼륨용액을 가하고 황산으로 시료용액을 산성으로 만들어 요오드를 유리시킨 후 치오황산나트륨으로 역적정하였다(Carlberg 1972). COD는 O₂ mg/ℓ 농도로 표시하였다.

7) 투 명 도

Secchi disc (직경 20 cm) 를 사용하여 현장에서 측정하였다.

8) 영양염류

$\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$ 등의 영양염류는 실험실에서 Zimmermann *et al.* (1977) 의 방법에 따라 Technicon AA (II) 자동분석기를 이용하여 측정하였다.

第Ⅲ章 結果 및 考察

第1節 진주담치 및 참굴중의 重金屬含量

1. 진주담치生体中の 重金屬分析을 위한 試料의 前處理法

원자흡수분광법 (atomic absorption spectrophotometry)에 의한 汚泥 (sewage sludge), 해저퇴적물, 토양 그리고 생물체내의 중금속측정에 있어 어떤 시료의 전처리법이 가장 좋은 방법인가에 대해서는 분석화학자들에 따라서 각기 의견이 다른 것 같다. 그러나 크게는 乾性灰化 (dry ashing)와 濕性灰化 (wet ashing)의 두 가지로 구분할 수 있다. 건성회화는 시료를 머플가마 (muffle furnace) 안에서 500~550°C 로 가열함으로써 유기물을 태워 주고 또 유기금속 (organometal) 을 깨뜨려 무기금속 (inorganic metal) 으로 만든 다음에 산 (酸) 으로 浸出 (leaching) 시키는 전처리 방법이다. 반면에 습성회화는 질산, 불소산, 과염소산 또는 왕수 (aqua regia) 등의 무기산을 이용하여 약 120°C 에서 digestion시켜 유기물을 파괴시키는 조작이다.

Giron (1973) 은 식물체의 중금속을 측정하는데 있어서 시료의 전처리방법으로 건성회화와 습성회화를 동시에 사용하고 그 장단점을 보고한 바 있는데, 그의 실험에 의하면 건성회화법이 습성회화법보다 정밀도도 좋고 또 시료처리시간이 빠른 장점을 가지고 있다. Ritter *et al.* (1978) 은 오니 (汚泥) 와 토양에 대해서 Giron 과 유사한 실험을 하였다. 그들은 1) 건성회화법 2) $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ 를 이용한 습성회화법 3) HNO_3 추출법 4) $\text{HNO}_3 - \text{HCl}$ 를 이용한 습성회화법 5) HF 를 이용한 습성회화법 등의 다섯가지 방법에 대해 실험한 결과 건성회화법이 원자흡수분광법에 의한 오니와 토양중의 Cd, Pb, Ni, Cu, Zn 등의 중금속분석에 가장 좋은 전처리법이라고 보고하였다. 원자흡수분광법에 의한 동물체내의 중금속분석에 있어서

도 시료의 전처리방법으로는 건성회화법 (National Shellfish Sanitation Program 1975) 과 습성회화법으로 HNO_3 - HClO_4 법 (Johansson 1975), HNO_3 - H_2O_2 (FAO Workshop Manual 1979), HNO_3 법 (National Shellfish Sanitation Program 1975) 등이 주로 사용되고 있다.

일반적으로 담치나 굴의 생체에는 중금속이 미량 함유되어 있기 때문에 시료채취나 전처리를 하는 과정에서 외부로부터 오염이 되거나 시료중의 성분손실이 문제가 된다. 건성회화법을 이용한 전처리과정에서는 시료를 머플가마에서 가열하는 동안에 알킬납과 같은 유기금속이나 휘발성이 강한 금속성분들의 손실을 가져올 수 있으며, 가열후 산으로 침출시키고 여과지로 걸르는 동안에 여과지나 용기들로부터 오염될 가능성도 크다. 따라서 시료를 처리하는 과정은 되도록 간단해야 하며 사용하는 시약 역시 철저히 정제해야겠지만 시약의 사용량은 가능한한 최소한도로 줄이는게 외부로부터의 오염을 감소시키는 방법이 된다.

본 연구에서는 원자흡수분광법을 이용한 담치나 굴 생체중의 중금속분석을 위한 시료의 전처리법으로 간단한 건성회화법을 고안하여 이 방법과 기존의 건성회화법, HNO_3 - H_2O_2 와 HNO_3 습성회화법 그리고 HNO_3 추출법등과의 차이점을 조사하였다. 사용된 시료는 진주담치 (*Mytilus edulis*) 로 실험은 진주담치 약 50개를 제작하여 생체를 블렌더 (blender) 로 갈아서 균질화시킨 후 1ℓ용 비커에 넣고 비닐막 (vinyl film) 으로 덮은 위에 다시 알루미늄박막 (aluminium foil) 으로 덮어서 보관하여 두고 필요할때 꺼내서 사용하였다.

실험에 이용된 다섯가지 시료의 전처리법을 요약하면 다음과 같다.

1) 變形 乾性灰化法(Modified dry ash digestion)

시료 10g을 직경 7cm 자기증발접시에 담아 오븐속에 넣고 105°C를 유지하면서 12시간정도 걸려 완전히 말린 후 건중량을 알기위해 무게를 달고 다시 머플가마에서 약 550°C를 유지하며 3시간정도 가열하여 회화(灰化)시킨다. 이때 시료는 거의 백회(白灰)가 되는데 만일 덜 되었으면 1~2시간정도 가열을 계속한다.

회화가 끝나면 시료를 실온에서 냉각시키고 1N HNO₃ 10 ml 를 가한 다음 용액을 15 ml pyrex 시험관에 옮겨 전기진탕기로 잘 혼합하여 준다. 이 시료를 한시간정도 방치하여 회분(灰分)으로부터 중금속을 침출시킨후 측정에 사용한다.

이 방법은 본 연구에서 고안된 것으로서 실제의 진주담치와 참굴시료중의 중금속 측정에는 이 방법을 이용하였다.

2) 乾性灰化法(Dry ash digestion)

시료 10 g 을 직경 7 cm 자기증발접시에 담아 오븐속에 넣고 105°C 에서 12 시간정도 말린후 다시 500°C 의 머플가마에서 3 시간정도 회화시킨다. 시료에다 진한 HNO₃ 3 ml 를 가하고 시료를 15 ml pyrex 시험관에 옮긴 다음 기름증탕속에서 120°C 를 유지시키면서 2 시간동안 digestion 시킨다. 이 것을 Whatman No. 1 여과지로 여과하여 여액을 10 ml 메스플라스크에 옮겨 담은 후 증류수를 채워 측정에 사용한다.

3) 질산을 이용한 濕性灰化法(Wet ash digestion with HNO₃)

시료 10 g 을 100 ml pyrex 비커에 담고 진한 HNO₃ 5 ml 를 가한 후 시계접시를 비커위에 덮어서 한시간가량 방치시켜 둔다. 이 비커를 가열판에서 서서히 가열하면서 거품이 끓어 넘치지 않도록 주의한다. 거품이 완전히 없어지면 용액의 온도가 약 120°C 정도 되게 유지하면서 용액이 거의 증발될 때까지 가열을 계속한다. 다시 진한 질산 5 ml 를 가하고 비커속의 용적이 약 1 ml 정도 남을 때까지 시료를 digestion 시킨다. 비커를 실온에서 냉각시킨후 증류수를 약간 가해 용액을 희석시키고 이 것을 10 ml 메스 플라스크에 옮긴 후 증류수로 채워 측정에 사용한다.

4) 질산-과산화수소를 이용한 濕性灰化法(Wet ash digestion with HNO₃-H₂O₂)

시료 10 g 을 100 ml pyrex 비커에 담고 HNO₃-H₂O₂ 1:1 용액 5 ml 를 가한 후 이하의 시료처리조작은 질산을 이용한 습성회화법때와 똑같이 하여 측정에 사용한다.

5) 질산을 이용한 추출법(Extraction with HNO₃)

용량 125 ml 실린더형 분별깔대기 (cylindrical separatory funnel)에 시료 10 g 과 HNO₃: H₂O (1 : 1) 50 ml 를 가하고 왕복식 전기진탕기 (왕복거리 4cm, 왕복주기 200회/분)로 10 시간 진탕한 후 Whatman No. 1 여과지로 여과하여 여액을 100 ml pyrex 비커에 받는다. 이 용액을 가열판에서 용적이 약 5ml 될 때까지 증발시킨 다음 냉각시키고 10ml 메스 플라스크에 옮겨 담은 후 증류수로 채워 측정에 사용한다.

위의 다섯가지 방법을 써서 전처리된 시료용액들을 가지고 원자흡수분광법으로 Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn 등의 7가지 중금속을 측정하였다. Pb를 제외한 나머지 금속들은 시료용액을 원자흡수분광기의 공기-아세틸렌불꽃에 분무시켜 각 원소의 흡광도를 측정하였고, Pb는 비불꽃원자화기를 이용하여 측정하였다. 이 측정결과가 Table 2에 나와 있다. Table 2에 나와 있는 각 방법을 이용한 측정값은 모두 5회 분석한 후 그 평균값을 취한 것이며 有意差 (significant difference)는 본 연구의 변형건성회화법과 타 전처리법을 이용한 측정값사이에 뚜렷한 차이가 있는지를 알아보기 위해 *t*-test를 해 보고 *p*(probability) < 0.05인 경우에 한해 유의차를 두었다 (Harnett and Murphy 1980). 측정결과는 건중량기준 (dry weight basis)의 ppm 농도로 표시하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 Cd의 경우는 건성회화법과 습성회화법사이에 뚜렷한 차이를 나타내었다. 본 실험결과에 의하면 습성회화법이 대략 건성회화법의 60%정도밖에 digestion이 안되고 있다. 재현성 (reproducibility)에 있어서는 상대표준편차 (RSD)로 볼 때 변형건성회화법이 9.0%로 비교적 좋은 편이었으며 일반 건성회화법은 23.7%로 가장 좋지 않았다. Cr도 Cd의 경우와 마찬가지로 건성회화법과 습성회화법 사이에 약간의 차이를 보였으나 HNO₃-H₂O₂ digestion법을 제외한 나머지 전처리법들은 변형건성회화법과의 사이에 유의차가 없었다. 한편 HNO₃-H₂O₂ digestion법은 상대표준편차 2.6%로 다른 방법들보다 재현성이 비교적 좋았다.

Table 2. Comparison of sample preparation methods for mussel meat on dry weight basis.

Element	Method ^a	Mean metal conc. ($\mu\text{g/g}$)	S.D. ^b	RSD (%) ^c	Significant difference from Method 1 ^d
Cd	1	1.1	0.10	9.0	—
	2	1.1	0.26	23.7	No
	3	0.7	0.13	18.6	Yes
	4	0.6	0.05	8.3	Yes
	5	—	—	—	—
Cr	1	2.4	0.30	12.6	—
	2	2.6	0.52	20.0	No
	3	2.8	0.84	30.0	No
	4	1.7	0.04	2.6	Yes
	5	2.2	0.23	10.4	No
Cu	1	5.3	0.61	11.8	—
	2	6.3	0.38	6.1	Yes
	3	5.7	0.33	5.8	Yes
	4	5.2	0.43	8.4	No
	5	4.9	1.70	34.8	No
Pb	1	0.36	0.05	15.2	—
	2	0.41	0.11	27.6	No
	3	0.27	0.07	26.5	Yes
	4	0.40	0.10	25.1	No
	5	0.75	0.31	41.3	Yes
Mn	1	8.0	0.39	4.9	—
	2	7.9	0.42	5.3	No
	3	9.2	0.21	2.3	Yes
	4	9.8	0.63	6.5	Yes
	5	8.0	1.02	12.7	No
Zn	1	47	4.5	9.5	—
	2	43	4.0	9.3	No
	3	47	4.1	8.8	No
	4	46	3.3	7.2	No
	5	53	5.9	11.1	Yes
Fe	1	108	5.0	4.6	—
	2	105	9.0	9.0	No
	3	109	8.0	7.5	No
	4	116	5.0	4.7	Yes
	5	96	14.0	15.2	No

- a Methods
1. Modified dry ash digestion
 2. Dry ash digestion
 3. HNO_3 wet ash digestion
 4. HNO_3 — H_2O_2 wet ash digestion
 5. HNO_3 extraction

b Standard deviation of metal concentrations

c Relative standard deviation in percent

d t-test for significant difference ($p < 0.05$) between means

Cu 는 다른 금속에서와는 달리 건성회화법과 변형건성회화법사이에 큰 차이를 보였고 또 건성회화법의 측정값이 다른 방법의 측정값보다 상당히 높았다. HNO₃추출법은 비록 변형건성회화법과 유의차는 없으나 상대표준편차가 34.8% 로서 재현성이 매우 나빴다. Pb 는 변형건성회화법, 일반 건성회화법, 그리고 질산 습성회화법등이 비슷한 측정결과를 보였으며, HNO₃ 추출법은 다른 방법들보다 월등히 높은 값을 보이면서 재현성도 좋지 않았다. Pb 는 비불꽃원자화기를 이용해 측정하였기때문에 전반적으로 재현성이 나빴다.

Mn 의 경우는 Cd 와는 반대로 습성회화법이 건성회화법보다 측정값이 높았으며 HNO₃ 추출법은 건성회화법과 측정결과가 잘 일치하지만 재현성은 좋지 않았다. Mn 은 건성회화법과 습성회화법 공히 재현성이 모든 측정 금속중 가장 좋았다. Zn 은 HNO₃ 추출법이 값이 높을뿐 나머지는 측정결과가 비교적 잘 일치하였으며 재현성에 있어서도 모두 비슷한 결과를 나타냈다. Fe 는 Zn 의 경우와는 반대로 HNO₃ 추출법이 다소 낮을뿐 나머지는 측정값이 잘 일치하고 있다. 그러나 HNO₃ 추출법도 변형건성회화법과의 유의차는 없었다. 재현성에 있어서 HNO₃추출법을 제외하고는 모두 좋은 결과를 나타냈다.

이상의 결과에서 볼 때 변형건성회화법은 일반 건성회화법과 측정결과가 잘 일치하였으며 습성회화법과는 금속에 따라 다소의 차이를 보였으나 그 차이가 Cd를 제외하고는 대부분 10% 미만으로 그다지 큰 차이는 아니었다. 그러나 HNO₃추출법과는 Pb, Zn 등의 금속측정에서 큰 차이를 나타냈다.

2. 진주담치의 清臟期間(depuration period)과 重金屬含量

지표생물(指標生物)중의 중금속조사를 위해서는 현장에서 시료를 채취한 후 깨끗한 해수에 일정한 시간동안 담가 두어 소화관에 들어 있던 먹이찌꺼기나 퇴적물등을 체외로 배설시킬 필요가 있다. 그렇지않으면 플랑크톤류의 먹이찌꺼기나 퇴적물중의 중금속이 지표생물의 중금속 측정에 결정적인 영향을 줄 수도 있는 것이다.

이와같은 이유로 진주담치를 채취하여 깨끗한 해수에 담가두었을 때 시간에 따른

진주담치생체중의 중금속함량변화를 조사하여 보았다. 즉, 진주담치시료를 접질표면을 깨끗이 닦아 밑부분에 배수구가 달린 플라스틱통속에 넣고 시료가 충분히 잠길 정도로 해수를 채워 넣었다. 최초 8시간동안은 2시간마다 새물로 갈아주고 그다음에는 8시간마다 갈아주면서 72시간동안 실험을 계속하였다. Depuration 시험 동안 매 24시간마다 시료를 채취하여 시간에 따른 중금속 함량변화를 조사하였으며 이 조사결과는 Fig. 3a~3g 까지에 나와 있다. Fig. 3에 나오는 각 점은 6회 측정값의 평균을 나타내며 범위는 두 푸울(pool)의 평균값을 나타내고 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 진주담치 생체내의 중금속함량은 Pb를 제외하고는 대체로 depuration 시간에 따라 감소하는 양상을 보이고 있다. Cd는 depuration 전에는 건중량기준으로 평균 1.4 ppm 이던 것이 24시간 depuration 후에는 1.1 ppm으로 21.4% 감소하였고 48시간 depuration 후에는 0.7 ppm으로 50%나 감소하였으나 더 이상의 함량감소는 없었다. Cr은 평균 2.3 ppm이던게 24시간 depuration 후에는 2.0 ppm으로 13%의 감소를 보였으나 48시간 depuration 후에는 1.9 ppm, 72시간 depuration 후에는 2.0 ppm으로 24시간 depuration 이후로는 뚜렷한 함량변화가 없었다.

Cu와 Fe의 경우에도 Cr과 매우 비슷한 경향을 보이고 있다(Fig. 3c; 3d). Cu는 건중량기준으로 평균 5.6 ppm 이던게 24시간 depuration 후에는 5.0 ppm으로 10.7%가 감소하였으며 48시간, 72시간 depuration 후에는 공히 5.1 ppm으로 24시간 depuration 때와 비슷하였다. Fe의 경우도 처음 220 ppm 이던게 24시간 depuration 후에는 140 ppm으로 36.4%나 감소했으나 48시간, 72시간 depuration 후에는 각각 150 ppm, 140 ppm으로 비슷한 함량을 보였다. 따라서 Cr, Cu, Fe 등은 24시간내에 충분히 depuration 된다고 보겠다.

Mn은 depuration 시간에 따른 진주담치 생체중의 함량변화가 현저한 것 같다(Fig. 3e). Depuration 전의 평균 Mn 함량은 11.4 ppm이었으나 24시간 depuration 후에는 7.8 ppm으로 31.6%의 감소를 보였고 48시간 depuration 후에는 6.0 ppm으로 47.4% 감소하였으나 72시간 depuration 후에는 4.7 ppm으로 무려 58.8%의 감소를 나타냈다. Pb는 다른 중금속들과는 달리 depuration 시간에 따라 함량이 증가하는 경향을 나타냈는데(Fig. 3f), 이것은 depuration시키는 과정에서 시료를 담았던 용기로 부터 오염되었을 가능성이 있다고 추측된다. Zn은 de-

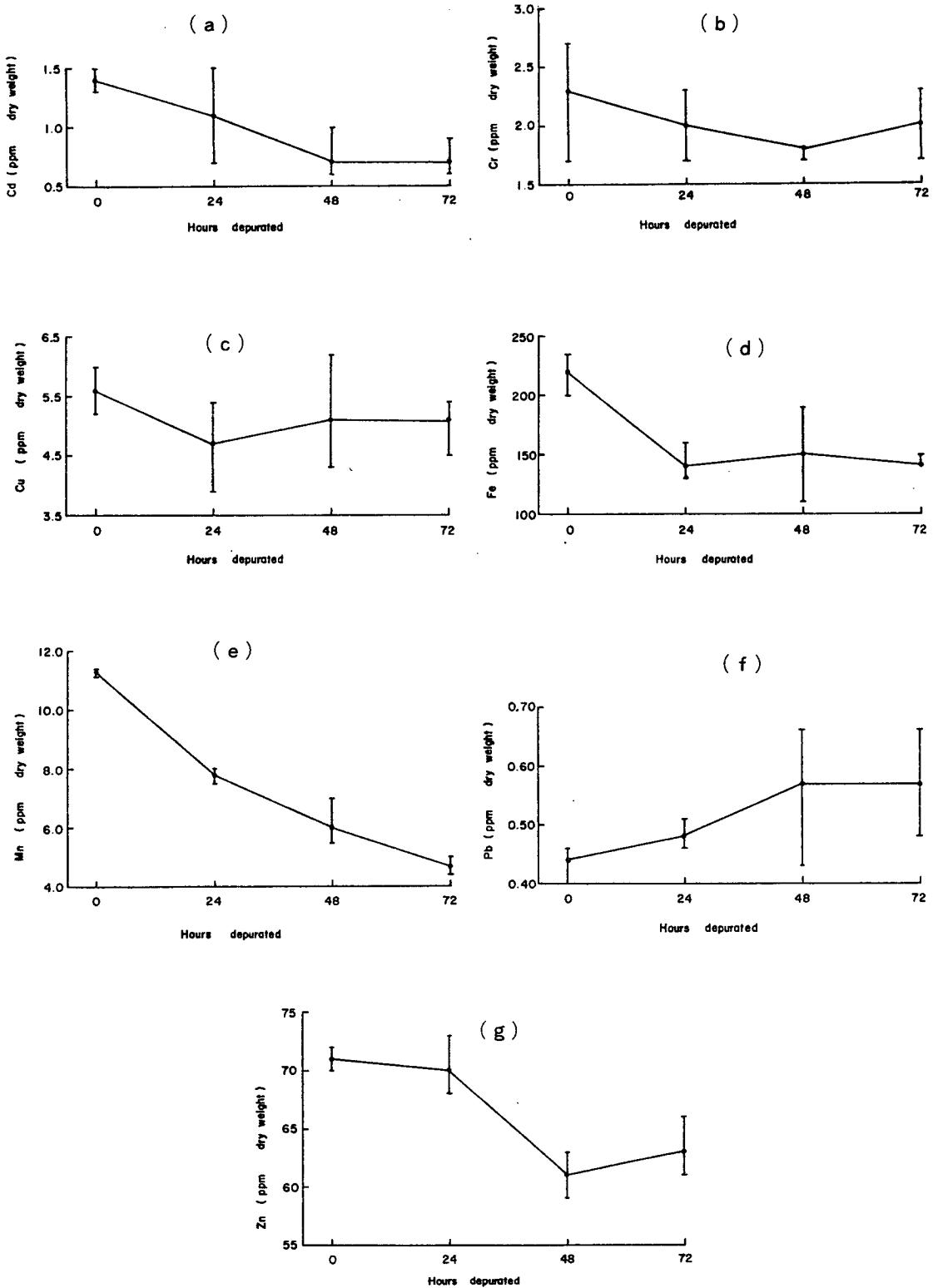


Fig. 3. Depuration of heavy metals in mussels, *M. edulis*

uration 전에는 평균 71 ppm, 24 시간 depuration 후에는 70 ppm으로 별다른 함량변화를 보이지 않았으나 48 시간 depuration 후에는 62 ppm으로 10.1%의 감소를 보였다. 그러나 72 시간 depuration 후에는 63 ppm으로 48 시간 depuration 때와 비슷한 값을 나타낸 점으로 봐서 Zn은 24 ~ 48 시간 사이에서 주로 depuration 되는 것 같다.

이상의 사실로부터 진주담치를 이용하여 특정 해역의 중금속오염도를 측정하기 위해서는 반드시 시료를 채취한 후 깨끗한 해수에 담가두어 depuration 시키는 과정이 필요함을 알 수 있다. 그렇지 않으면 소화관에 들어 있던 먹이 찌꺼기나 해저퇴적물등이 함께 측정됨으로써 중금속함량이 실제보다 높게 측정될 수 있기 때문이다. Depuration 시간은 측정하고자 하는 중금속에 따라 다르긴 하지만 대략 48 시간 정도가 적절한 것으로 생각된다.

3. 全國 沿岸의 진주담치 및 참굴중의 重金屬含量

전국 연안에 서식하고 있는 자연산 및 양식 진주담치와 참굴중에 함유되어 있는 중금속을 조사하였다. 일반적으로 담치 및 굴의 중금속함량은 계절과 成長度에 따라 변화하기 때문에 지역적 특성을 비교하기 위한 시료의 채취는 가능한한 양식진주담치의 성숙기인 3 ~ 4월에 집중적으로 실시하였으며 진주담치는 껍질과 생체중의 중금속함량을 함께 측정한 반면 참굴은 생체중의 중금속만 조사하였다. 패류가 중금속을 섭취하는 방법으로는 체표면 (body surface)을 통한 흡착 (adsorption) 및 흡수 (absorption), 플랑크톤류의 먹이섭취, 그리고 무기성 부유물질 (inorganic particle) 섭취에 의한 방법등 크게 세가지로 나눌 수 있다 (Phillips 1977c). 따라서 해수나 해저퇴적물중의 중금속함량은 곧 패류의 중금속함량에 커다란 영향을 미치게 된다. 본 조사에서는 지표생물들의 생활환경요소를 파악하기 위하여 일반수질조사와 함께 해수 및 해저퇴적물중의 중금속함량등도 측정조사하였다.

1) 일반수질지수

진주담치나 참굴의 揚水率 (pumping rate), 심장박동, 산소소모, 먹이섭취 속도등과 같은 생리대사는 정상적 신진대사범위내에서는 온도가 상승함에 따라 증가하며 (Denton and Burdon - Jones 1981), 또 해수중의 중금속은 대부분 강이

나 하천등을 통해 해양으로 유입된 후 pH 및 염분에 따라 화학종(chemical species)과 반응성(reactivity)이 다양하게 변화되기 때문에 지표생물들이 중금속을 섭취하는 데는 수온, 염분, pH 등이 중요한 역할을 할 것이 예측된다. 실제로 진주담치와 참굴의 중금속섭취(heavy metal uptake)에 미치는 수온이나 염분의 영향에 대해서는 많은 보고가 나와있다(Phillips 1976; 1977a; Denton and Burdon-Jones 1981). 그 밖에 용존산소량, COD, 영양염류등도 지표생물들의 중금속함량에 있어서 중요한 환경인자(environmental factor)로 생각된다.

본 조사에서의 일반수질지수에 대한 측정값은 Table 3에 나와 있다. 본 조사에서 측정된 진해만의 수온과 염분은 1980년도(李等 1980)나 1981년도(李等 1981) 3월~4월의 조사값과 비슷하게 나타났다. 용존산소 포화도는 적조 발생에 따라 큰 영향을 받기 때문에 마산만 표층의 경우 1980년 3월~4월에 104.6~173.0%의 포화도를 보여 적조가 이 기간에 벌써 발생되기 시작했음을 알려 주었으며(李等 1980), 1981년도에는 4월에 110.3~113.0%를 유지하다가 5월에 접어들면서 169.2~224.9%(李等 1981)로 상승하여 이 해는 5월부터 적조가 발생했음을 간접적으로 확인할 수 있다. 그러나 1982년도 3월에는 마산만 표층의 용존산소포화도가 98.7~101.2%로 예년에 비해 다소 낮았으며 특히 저층은 57.5~70.7%로 매우 낮은 포화도를 나타냈다. 그러나 행암만 입구의 St. 3 표층에서는 용존산소포화도가 117.0%로 비교적 높고 pH 역시 8.65로 정상적인 표층해수의 pH 범위인 8.0~8.3을 훨씬 상회하였으며 또 COD는 $3.1 O_2 mg/\ell$, 부유물질은 $13.4 mg/\ell$, PO_4-P 는 $19.8 \mu g-P/\ell$ 로 모두 높은 함량을 보여 이 해역에 일시적인 오염물질의 유입이 있었던게 아닌가 추측된다(Table 3). 부유물질은 거제도의 칠천수도에 있는 St. 7이 표층 $16.9 mg/\ell$, 저층 $24.6 mg/\ell$ 로 진해만 9개 조사점들중에서 가장 높지만 부유물질의 양에 비해 COD는 타 조사점보다 낮은 편이어서 부유물질이 주로 무기성분인 微砂(silt)로 구성된 듯하며 NO_2-N 이나 NO_3-N 등은 마산만의 St. 1과 2가 높은 반면 PO_4-P 는 마산만과 행암만이 다같이 높게 나타났는데 이 결과는 李等(1980; 1981)의 조사결과와 일치하는 것으로서 진해만의 질소나 인의 주공급원은 이들 지역인 것으로 해석할 수 있다.

Table 3. General water quality parameters in Yeosu and Jinhae Bay.

Sampling site	Sampling time	Depth (m)	Water layer ^a	W.T. (°C)	DO (mg/L)	DO (%)	Salinity (‰)	pH	COD (mgO ₂ /ℓ)	SS (mg/ℓ)	Tr. (m)	NO ₂ -N (μg-N/ℓ)	NO ₃ -N (μg-N/ℓ)	PO ₄ -P (μg-P/ℓ)	Si(OH) ₄ -Si (μg-Si/ℓ)
Yeosu	Dec. '81	9	S	5.9	9.1	89.7	33.28	8.0	—	—	—	—	—	—	—
		—	B	5.8	8.8	88.2	33.27	8.0	—	—	—	—	—	—	—
	Mar. '82	8	S	10.9	—	—	34.10	8.3	1.67	8.96	2.0	ND ^b	10.1	19.8	12.1
		—	B	11.0	—	—	34.14	8.2	1.72	8.14	—	ND	10.1	18.9	14.3
Jinhae	Mar. '82	12	S	10.3	8.9	98.7	32.33	8.2	2.85	6.25	4.0	8.54	165.0	13.0	40.4
		—	B	9.6	5.3	57.5	33.67	8.1	2.20	7.96	—	5.18	79.7	12.1	40.4
		29	S	11.2	8.9	101.2	33.16	8.4	2.47	7.16	3.0	13.31	117.0	22.3	79.8
	Mar. '82	—	B	9.3	6.5	70.7	32.91	8.3	1.90	7.10	—	10.65	104.0	18.9	69.1
		9	S	12.2	10.1	117.0	33.78	8.7	3.06	13.38	4.0	0.42	10.1	19.8	20.2
		—	B	11.4	8.9	102.0	33.69	8.6	2.55	5.76	—	1.82	12.3	14.2	22.7
	Mar. '82	15	S	10.2	9.4	103.8	33.27	8.1	2.37	7.23	2.5	ND	9.0	8.1	40.4
		—	B	10.0	8.8	97.3	33.54	8.1	1.41	9.10	—	ND	9.0	8.1	45.2
	Mar. '82	10	S	11.6	—	—	29.58	8.2	1.87	6.83	5.0	0.42	13.4	8.7	25.0
—		B	10.5	—	—	33.42	8.1	1.32	5.01	—	0.42	17.9	6.8	22.7	
Mar. '82	14	S	11.4	10.5	119.4	33.25	8.2	1.72	7.56	5.0	ND	10.1	8.1	35.7	
	—	B	9.3	8.4	91.1	33.57	8.1	1.16	8.02	—	ND	15.7	5.3	19.1	
Mar. '82	16	S	10.7	—	—	33.41	8.1	1.98	16.86	6.0	1.12	32.2	12.1	51.4	
	—	B	8.9	—	—	33.53	8.1	1.67	24.56	—	1.12	17.9	9.9	58.4	
Mar. '82	11	S	13.0	—	—	34.41	8.1	1.16	4.31	6.0	ND	11.2	13.3	41.8	
	—	B	12.4	—	—	34.36	8.1	0.86	4.71	—	0.70	12.3	13.3	43.0	
Nov. '81	6	S	10.0	10.5	115.3	32.54	7.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	B	10.0	9.5	104.4	32.55	7.9	—	—	—	—	—	—	—	—

a. S: surface, B: bottom

b. ND: not detected

2) 해수중의 중금속함량

Cu, Zn, Fe, Co, Mn 등은 해양생물의 세포형성에 필수적인 미량원소 (essential microelement)로서 생물의 생식, 성장 및 발육등에 관여하며, 그 함량이 과다할 경우에는 여러 가지 저해요소가 발생하게 된다. 또한 식물성 플랑크톤 종에 따라서는 중금속을 적게는 해수농도의 수배에서 많게는 수백만 배까지도 생물농축 (bioaccumulation) 시키기 때문에 (Bowen 1979), 식물성 플랑크톤을 먹이로 하는 패류, 어류등도 중금속을 체내에 축적시키게 되며 결국은 먹이사슬 (food chain)을 통해 인간에게까지 그 영향이 나타나게 되는 것이다. 연안해수중의 중금속 함량에 영향을 미치는 요인으로는 강이나 하천을 통한 육수유입, 도시하수나 공장폐수유입, 조석, 해수유동, 수온약층 (thermocline)이나 염분약층 (halocline)형성 등과 해양생물활동에 의한 영향, 그리고 대기를 통한 중금속 유입등을 들 수 있다.

해수중의 중금속함량조사에서는 환경오염과 관련이 깊은 중금속 가운데 특히 Cd, Cu, Cr, Pb 및 Zn 등을 조사항목으로 택하였다. 중금속은 용존 (dissolved) 성분과 입자 (particulate) 성분으로 구분하여 측정하였고 이 두 성분을 합하여 총 (total) 중금속으로 나타냈다. 본 조사에서 측정된 중금속함량은 Table 4와 같다.

Table 4. Heavy metal concentrations in seawater in Yeosu and Jinhae Bay ($\mu\text{g}/\ell$).

Sampling site	Sampling time	Water layer	Cd			Cu			Cr			Pb			Zn		
			Dis. ^a	Par. ^b	Total	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.
Yeosu	Dec. '81	S	<0.05	0.01	<0.06	1.87	0.33	2.20	1.4	0.7	2.1	1.6	1.7	3.3	5.8	2.1	7.9
		B	<0.05	0.01	<0.06	1.79	0.27	2.06	<0.3	0.8	1.0	1.1	1.5	2.6	2.9	1.7	4.6
	Mar. '82	S	0.30	0.01	0.31	1.43	0.22	1.65	0.5	0.5	1.0	1.6	2.2	3.8	3.1	1.6	4.7
		B	0.55	0.01	0.56	1.79	0.34	2.13	0.5	0.4	0.9	0.9	0.7	1.6	10.1	1.9	12.0
Jinhae Bay	Mar. '82	S	0.20	0.06	0.26	2.41	0.50	2.91	3.1	<0.3	3.3	1.0	0.7	1.7	50.0	1.8	51.8
		B	0.22	0.01	0.23	2.41	0.48	2.89	2.3	<0.3	2.5	0.7	0.4	1.1	48.5	2.2	50.7
	Mar. '82	S	0.30	—	—	4.02	0.76	4.78	1.0	1.4	2.4	1.3	1.7	3.0	18.5	2.5	21.0
		B	<0.05	0.01	<0.06	1.79	0.27	2.06	1.6	<0.3	1.8	0.9	0.5	1.4	30.9	1.3	32.2
	Mar. '82	S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Mar. '82	S	0.53	0.02	0.55	3.93	0.84	4.77	2.1	0.7	2.8	1.1	1.1	2.2	23.8	2.5	26.3
		B	0.34	0.01	0.35	1.25	0.32	1.57	2.1	0.3	2.4	0.8	0.4	1.2	28.0	1.0	29.0
	Mar. '82	S	0.13	0.01	0.14	1.79	0.18	1.97	2.9	<0.3	3.1	0.7	<0.3	0.9	38.1	0.6	38.7
B		0.34	0.01	0.35	1.70	0.13	1.83	1.6	<0.3	1.8	1.3	<0.3	1.5	25.1	0.3	25.4	
Mar. '82	S	0.63	0.01	0.64	1.79	0.22	2.01	1.0	<0.3	1.2	0.9	<0.3	1.1	21.9	1.1	23.0	
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Mar. '82	S	0.16	0.01	0.17	1.87	0.17	2.04	0.9	<0.3	1.1	0.9	<0.3	1.1	18.9	1.5	20.4	
	B	0.13	0.01	0.14	1.79	0.24	2.03	1.0	<0.3	1.2	0.9	<0.3	1.5	3.1	1.3	4.4	
Mar. '82	S	0.11	0.01	0.12	2.50	0.17	2.67	0.5	<0.3	0.7	1.0	<0.3	1.2	11.9	0.6	12.5	
	B	<0.05	0.01	<0.06	1.79	0.13	1.92	<0.3	<0.3	0.3	1.0	<0.3	1.2	7.9	0.5	8.4	
Nov. '81	S	0.10	0.01	0.11	0.60	0.41	1.01	—	<0.3	—	3.0	<0.3	3.2	6.6	—	—	
	B	0.11	0.04	0.15	0.69	0.81	1.50	—	<0.3	—	2.5	<0.3	2.7	6.4	—	—	

a . Dissolved

b . Particulate

가) 카드뮴(Cadmium)

본 조사에서 측정된 Cd의 농도범위는 진해만의 경우 용존성 Cd $< 0.05 \sim 0.63 \mu\text{g}/\ell$ 이며, 입자성 Cd $0.01 \sim 0.06 \mu\text{g}/\ell$, 총 Cd $< 0.06 \sim 0.64 \mu\text{g}/\ell$ 이며 평균농도는 표층이 용존성 Cd $0.27 \mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cd $0.02 \mu\text{g}/\ell$, 총 Cd $0.28 \mu\text{g}/\ell$ 인 반면 저층은 각각 $0.17 \mu\text{g}/\ell$, $0.01 \mu\text{g}/\ell$, $0.18 \mu\text{g}/\ell$ 로 표층이 저층보다 높은 경향을 보였다. 여수의 경우는 1981년 12월 1차 조사때보다 1982년 3월의 2차 조사때가 높은 Cd 함량을 나타냈는데 총 Cd만의 평균농도를 보면 표층 $0.17 \mu\text{g}/\ell$, 저층 $0.29 \mu\text{g}/\ell$ 로 진해만과는 달리 저층이 표층보다 높다. 조사점별로는 마산만의 St. 1이나 St. 2보다 오히려 실리도 부근의 St. 4의 표층(총 Cd $0.55 \mu\text{g}/\ell$)과 하도 근처의 St. 6 표층(총 Cd $0.64 \mu\text{g}/\ell$)이 높게 나타났다.

본 조사에서 측정된 Cd 평균농도는 李 等(1980; 1981)이 진해만에서 조사한 1980년도 평균농도(총 Cd: 표층 $0.18 \mu\text{g}/\ell$, 저층 $0.21 \mu\text{g}/\ell$)나 1981년도 평균농도(총 Cd: 표층 $0.13 \mu\text{g}/\ell$)보다는 약간 높은 편이지만 낙동강 하구의 $0.45 \mu\text{g}/\ell$ (Lee et al. 1981)보다는 낮으며 미국수산용수기준인 $5 \mu\text{g}/\ell$ (EPA 1976)나 환경청에서 설정한 우리나라 남해와 동해남부해역에 대한 수질기준인 $10 \mu\text{g}/\ell$ 에는 훨씬 못미치는 값이다.

나) 구 리(Copper)

본 조사에서 측정된 Cu의 농도범위는 진해만의 경우 용존성 Cu $0.60 \sim 4.02 \mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cu $0.13 \sim 0.84 \mu\text{g}/\ell$, 총 Cu $1.01 \sim 4.78 \mu\text{g}/\ell$ 이며 평균농도는 표층이 용존성 Cu $2.36 \mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cu $0.41 \mu\text{g}/\ell$, 총 Cu $1.97 \mu\text{g}/\ell$ 로 Cd와 마찬가지로 표층이 저층보다 대체로 높다. 그러나 여수의 경우 표·저층간의 Cu의 농도분포는 조사시기에 따라 달라지고 있어 어떤 뚜렷한 농도 분포양상을 찾아보기 어렵다. 여수의 총 Cu 평균농도를 보면 표층 $1.93 \mu\text{g}/\ell$, 저층 $2.10 \mu\text{g}/\ell$ 로 표층은 진해만보다 낮지만 저층은 오히려 약간 높은 편인데 이와 같은 지역간의 농도분포경향은 Cd에서도 나타난 바 있다. 조사점별로는 마산만의 St. 1과 St. 2가 대체로 높으며 실리도 부근의 St. 4는 Cd와 함께 Cu 역시

높은 함량을 나타냈다.

본 조사에서 나타난 Cu 평균농도는 李 等 (1980 ; 1981) 이 진해만에서 조사한 1980 년도 평균농도 (총 Cu : 표층 1.13 $\mu\text{g}/\ell$, 저층 1.44 $\mu\text{g}/\ell$) 나 1981 년도 평균농도 (총 Cu : 표층 1.47 $\mu\text{g}/\ell$) 그리고 Lee *et al.* (1981) 의 낙동강 하구 (총 Cu : 표층 1.8 $\mu\text{g}/\ell$) 보다는 높지만 Goldberg (1965) 가 조사한 외양해수의 Cu 평균농도인 3 $\mu\text{g}/\ell$ 보다는 다소 낮으며 미국수산용수기준 (EPA 1976) 인 50 $\mu\text{g}/\ell$ 와 환경청에서 설정한 우리나라 남해와 동해남부해역에 대한 수질기준인 20 $\mu\text{g}/\ell$ 에는 훨씬 못미치고 있다.

다) 크롬 (Chromium)

본 조사에서 나타난 Cr 의 농도범위는 진해만의 경우 용존성 Cr < 0.3~3.1 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cr < 0.3~1.4 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Cr 0.3~3.3 $\mu\text{g}/\ell$ 이며 평균농도는 표층이 용존성 Cr 1.6 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cr 0.4 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Cr 2.1 $\mu\text{g}/\ell$ 인 반면에 저층은 용존성 Cr 1.5 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Cr < 0.3 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Cr 1.7 $\mu\text{g}/\ell$ 로 표층이 저층보다 약간 높았다. 그러나 여수의 경우는 Cu 에서 나타난 바와 같은 표·저층간의 뚜렷한 농도분포경향을 찾아보기 어렵고 조사시기에 따라 양상이 달라지는 경향을 나타냈다. 여수의 총 Cr 평균농도를 보면 표층 1.6 $\mu\text{g}/\ell$, 저층 1.0 $\mu\text{g}/\ell$ 로 표·저층 공히 진해만보다 낮았으나 입자성 Cr 은 오히려 더 높은 경향을 보였다. 특히 진해만에서는 입자성 Cr 농도가 대부분 < 0.3 $\mu\text{g}/\ell$ 이하로 이 해역에서는 Cr 이 거의 용존성분으로 존재하고 있음을 알 수 있다. 조사점별로는 마산만의 St. 1 과 St. 2, 실리도 부근의 St. 4, 그리고 진동만 안쪽의 St. 5 등이 대체로 높게 나타났다.

본 조사의 Cr 측정값은 외양해수의 평균농도인 0.3 $\mu\text{g}/\ell$ (Bowen 1979) 보다는 높지만 미국수산용수기준인 100 $\mu\text{g}/\ell$ (EPA 1976) 나 우리나라의 남해와 동해남부해역에 대한 수질기준인 50 $\mu\text{g}/\ell$ 에는 전혀 못미치는 값이다.

라) 납 (Lead)

본 조사에서 측정된 Pb 의 농도범위는 진해만에 있어서 용존성 Pb 0.7 ~

3.0 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Pb < 0.3~2.2 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Pb 0.9~3.8 $\mu\text{g}/\ell$ 였으며 평균농도는 표층이 용존성 Pb 1.2 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Pb 0.6 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Pb 1.8 $\mu\text{g}/\ell$, 저층이 용존성 Pb 1.2 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Pb 0.3 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Pb 1.5 $\mu\text{g}/\ell$ 로 표층이 저층보다 약간 높긴 하지만 그것은 입자성 Pb의 차이에서 왔을 뿐 용존성 Pb는 표·저층의 평균농도가 거의 같았다. 여수의 경우는 총 Pb의 평균농도가 표층 3.6 $\mu\text{g}/\ell$, 저층 2.1 $\mu\text{g}/\ell$ 로 표층이 높는데 진해만과는 달리 용존성 Pb와 입자성 Pb 모두 표층이 저층보다 높았다. 지역간의 농도분포를 보면 표층은 여수가 진해만보다 두배나 높는데 비해 저층은 약간 높은 정도이다. 또한 진해만은 용존성 Pb 함량이 입자성 Pb보다 높은 반면에 여수에서는 반대로 입자성 Pb가 용존성 Pb보다 높은 경향을 나타냈다.

본 조사에서 나타난 Pb 함량은 진해만의 경우 李 等 (1980; 1981)이 진해만에서 조사한 1980년도 측정값(총 Pb: 표층 2.7 $\mu\text{g}/\ell$, 저층 8.6 $\mu\text{g}/\ell$)이나 1981년도 측정값(총 Pb: 표층 3.1 $\mu\text{g}/\ell$), 또는 낙동강 하구(Lee et al. 1981: 총 Pb 2.4 $\mu\text{g}/\ell$)보다 낮지만 여수는 표층이 이들 조사값보다 다소 높다. 그러나 두 지역 모두 미국수산용수기준인 50 $\mu\text{g}/\ell$ (EPA 1976)나 우리나라 남해와 동해 남부해역의 수질기준인 100 $\mu\text{g}/\ell$ 에는 전혀 못미치고 있다.

마) 아 연(Zinc)

본 조사에서 나타난 Zn의 농도범위는 진해만에 있어서 용존성 Zn 3.1~50.0 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Zn 0.3~2.5 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Zn 4.4~51.8 $\mu\text{g}/\ell$ 이며 평균농도는 표층이 용존성 Zn 23.7 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Zn 1.5 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Zn 27.7 $\mu\text{g}/\ell$, 저층이 용존성 Zn 21.4 $\mu\text{g}/\ell$, 입자성 Zn 1.1 $\mu\text{g}/\ell$, 총 Zn 25.0 $\mu\text{g}/\ell$ 로 표층이 저층보다 높고 또 용존성 Zn은 입자성 Zn보다 15~20배 정도 높은 함량을 나타냈다. 그러나 여수의 총 Zn 평균농도를 보면 표층 6.3 $\mu\text{g}/\ell$, 저층 8.3 $\mu\text{g}/\ell$ 로 오히려 저층이 더 높은 경향을 보였고 용존성분과 입자성분사이에는 진해만과 같은 커다란 함량차이가 없었다. 지역간의 총 Zn 농도를 비교해보면 진해만이 여수 지역보다 표층은 4배 가까이 높고 저층은 3배정도 높다. 조사점별로는 표·저층

공히 마산만내의 St. 1이 가장 높지만 이것은 용존성분이 타 조사점들보다 월등히 높는데 큰 이유가 있으며 입자성분간에는 뚜렷한 차이가 없다.

본 조사에서 측정된 진해만의 총 Zn 함량은 李 等 (1980 ; 1981) 이 진해만에서 조사한 1981 년도 측정값 (표층 18.4 $\mu\text{g}/\ell$) 또는 외양해수의 평균농도 4.9 $\mu\text{g}/\ell$ (Bowen 1979) 보다 높은 값이지만 미국수산용수기준 (EPA 1976) 이나 환경청에서 설정한 우리나라 남해와 동해남부지역에 대한 수질기준인 100 $\mu\text{g}/\ell$ 보다는 훨씬 낮다.

3) 해저퇴적물중의 중금속

해수중의 미량금속들은 강이나 하천을 통해 해양으로 유입될 때 해수의 높은 pH와 염분때문에 용해도가 크게 떨어져 성분의 대부분이 해저로 침전 (precipitation) 되거나 또는 침강 (sedimentation) 함으로써 해수중의 농도가 낮다. 인간의 산업활동과 관계가 깊은 Cd, Cu, Pb, Cr, Zn, Hg 등의 중금속들은 여러가지 경로를 통해 해양에 유입되고 다시 해저로 침강됨으로써 연안해수는 물론 퇴적물까지 오염시키고 있다. 이 결과 해양의 부유생물, 유영생물은 물론 저서생물도 체내에 중금속을 축적시키게 되고 결국은 먹이사슬을 통해 인간에게까지 해를 미치게 되는 것이다.

자연산 패류들은 해저에 서식하고 있어 패류의 중금속오염여부는 해수와 패류의 먹이가 되는 식물성 플랑크톤의 중금속오염뿐만 아니라 퇴적물의 중금속오염에도 큰 영향을 받게 된다. 다행히 우리 나라에서는 진주담치나 굴양식이 대개 수심 1 ~ 3 m 에서 이루어지고 있어서 퇴적물의 중금속오염에 의한 영향을 적게 받을 지 모르지만, 강하구나 조석차가 심한 해역에서는 양식패류의 중금속함량변화에 미치는 퇴적물의 영향을 간과 (看過) 할 수는 없을 것으로 본다.

본 조사에서 측정된 퇴적물중의 중금속함량이 Table 5 에 나와 있다. 조사된 중금속은 인간의 산업활동에 의한 환경오염과 밀접한 관계가 있는 Cd, Cu, Pb, Cr, Zn 등 5 가지 중금속과 그 밖에 Co, Ni, Mn, Fe 등 4 가지 중금속을 합쳐 모두 9 가지이며, 시료는 1982 년 3 월에 1 회 채취하여 분석하였다.

Table 5. Heavy metal concentrations in sediments in Yeosu and Jinhae Bay(ppm dry weight).

Element Sampl. site	Cd	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Cr	Mn	Fe (%)
Yeosu	1.0	32	17	52	17	93	69	740	3.1
Jinhae Bay									
St. 1	0.8	53	11	22	17	115	30	484	2.9
St. 2	2.5	45	16	54	58	143	77	400	2.7
St. 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
St. 4	0.6	26	16	46	17	89	74	452	3.7
St. 5	0.8	14	10	28	22	66	55	306	2.9
St. 6	0.7	32	17	46	22	80	57	504	3.4
St. 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
St. 8	0.8	14	19	44	17	99	50	560	2.5
St. 9	1.5	43	—	55	35	125	—	360	—

가) 카드뮴(Cadmium)

전 조사해역 퇴적물중의 Cd 농도범위는 0.6~2.5 ppm이며 진해만의 평균 농도는 1.1 ppm 이다. 여수와 진해만의 Cd 농도를 비교해 보면 1.0 ppm 과 1.1 ppm 으로 비슷한 함량을 나타내고 있다. 이 농도는 퇴적물의 Cd 평균농도 0.17 ppm (Bowen 1979)보다 대략 6배정도 높은 값으로서 연안지역의 산업활동과 깊은 관련이 있는 것으로 추정된다. 실제로 산업활동이 활발한 외국 연안해역 퇴적물 중의 Cd 농도를 보면 영국 Wales 지방의 Cardigan Bay 는 1.1 ppm (Jones 1973)으로 진해만의 Cd 평균농도와 같으며 Roth and Hornung(1977)이 이스라엘쪽의 지중해 연안에서 조사한 퇴적물의 평균값(0.7 ppm)이나 Goldberg et al.(1978a)이 미국 동부 Chesapeake Bay 에서 조사한 Cd 평균농도 0.67 ppm 은 본 조사에서 측정된 Cd 평균농도보다 약간 낮다.

진해만에서는 마산만의 st. 2가 2.5 ppm 으로 가장 높으며 충무시 북신동의 St. 9도 1.5 ppm 으로 비교적 높게 나타났다(Table 5). 마산만내에 있어서는 수출자유지역 및 창원공단 폐수유입지점을 제외하고는 내만에서 모래등대에 이르는 해역의 퇴적물중의 Cd 함량이 대략 0.7~2.5 ppm 정도 되는 것으로 볼 수 있다. 이러한 사실은 마산만에서 都等(1981)이 조사한 Cd 함량(1.08 ~ 2.75 ppm)에서도 잘 나타나고 있다.

나) 구 리(Copper)

전 조사해역 퇴적물중의 Cu 농도범위는 14 ~ 53 ppm 으로 폭 넓은 분포를 보이고 있으며 진해만의 Cu 평균농도는 32 ppm 으로 여수지역과 같은 값을 나타냈다. 진해만에서 조사점별 Cu 농도를 보면 마산만의 St. 1과 St. 2가 각각 53 ppm 과 45 ppm (Table 5)으로 타 조사점들에 비해 월등히 높지만 충무시 북신동의 St. 9도 43 ppm 으로 비교적 높은 함량을 보였다. 마산만에서는 Cd, Cu, Zn 등이 주로 봉암천과 수출자유지역 옆의 하천을 통해 유입된 후 마산수로를 통해 외양으로 확산되는데(李 等 1980) 유입 량의 많은 부분이 해저로 침강되기 때문에 퇴적물 중의 이들 중금속함량이 높아질 것은 당연한 일이다. 그러나 마산만은 조석차가 제법 크기 때문에(최고 2 m) 중금속의 어떤 규칙적인 퇴적 패턴(sedimentation pattern)을 기대하기는 어려우며 단지 퇴적물의 중금속오염이 상당히 멀리 확산될 것이 예상된다.

마산만의 Cu 농도는 미국 동부 대서양연안의 Chesapeake Bay (47 ppm : Goldberg *et al.* 1978a)와는 비슷하지만 영국 Wales 지방의 Cardigan Bay(11 ppm : Jones 1973)보다는 4 배이상 높다. 그러나 해저퇴적물의 평균 Cu 농도는 33 ppm (Bowen 1979)으로 여수지역이나 진해만의 평균농도와 비슷하며 또 都等(1981)이 조사한 마산만의 평균 Cu 농도는 52.3 ppm 으로 본 조사의 마산만 Cu 농도와 매우 유사하다.

다) 코 발 트(Cobalt)

전 조사해역 퇴적물중의 Co 농도범위는 10 ~ 19 ppm 으로 해저퇴적물의 평

균농도인 14 ppm (Bowen 1979)과 별차이가 없었다. Table 5에서 보는 바와 같이 Co는 지역간, 또는 조사점간에 농도차이가 크지 않음을 볼 수 있는데 이것은 Co가 남해안 연안지역의 산업활동과 밀접한 관계가 없기 때문인 것 같다. 그러나 지역에 따라서는 높은 함량의 Co가 측정되기도 하는데 미국 동부 대서양 연안의 Chesapeake Bay에서는 평균 36 ppm의 Co가 보고된 바 있다(Goldberg *et al.* 1978a). 해저퇴적물중의 Co 함량에 대한 우리나라의 조사 보고를 보면 이 등(1978)이 남해 동부연안에서 측정한 평균 Co 농도는 13 ppm으로 해저퇴적물의 평균농도에 가까웠으며 또 都等(1981)의 마산만 조사에서는 평균 18.6 ppm으로 본 조사값보다 다소 높게 측정되었다.

라) 니 켈(Nickel)

전 조사해역 퇴적물중의 Ni 농도범위는 22~55 ppm으로 변화폭이 컸으며 진해만의 Ni 평균농도는 42 ppm이었다. 여수지역은 52 ppm으로 진해만보다 높지만 이 농도는 해저퇴적물의 Ni 평균농도와 같다(Bowen 1979). 진해만에서는 마산만의 St. 2와 충무시 북신동의 St. 9가 각각 54 ppm과 55 ppm으로 타 조사점들 보다는 높았으나 모두 해저퇴적물의 평균농도에 가까운 함량일 뿐 오염과 결부시키기는 어렵다고 보겠다.

본 조사의 Ni 농도는 미국 동부 Chesapeake Bay의 60 ppm(Goldberg *et al.* 1978)이나 都等(1981)이 조사한 마산만(평균 60.9 ppm) 보다는 낮으나 이 등(1978)의 남해 동부연안의 측정값 29 ppm 보다는 훨씬 높다.

마) 납(Lead)

전 조사해역 퇴적물중의 Pb의 농도범위는 17~58 ppm으로 폭 넓은 분포를 보였고 진해만의 Pb 평균농도는 27 ppm으로 여수지역보다 높은 함량을 나타냈다. 진해만에서 조사점별로는 마산만의 St. 2가 58 ppm으로 마산내만의 St. 1보다 3배 이상 높았고 충무시 북신동의 St. 9도 35 ppm으로 비교적 높은 함량을 보였다. 이 두 조사점을 제외하면 대체로 17~22 ppm으로 해저퇴적물의 평균농도 19 ppm(Bowen 1979)에 가까운 값을 나타내고 있다.

진해만에서의 본 조사값은 이 등(1978)의 남해 동부연안 퇴적물중의 Pb 농도(28 ppm)나李 등(1981)의 진해만 조사값(28 ppm) 또는 Jones(1973)의 영국 Wales 지방의 Cardigan Bay 조사값(25 ppm)과는 비슷하지만 都等(1981)이 조사한 마산만의 Pb 농도(91.3 ppm)나 미국 동부 Chesapeake Bay 의 Pb 농도(65 ppm : Goldberg et al. 1978 a)보다는 훨씬 낮다.

바) 아 연(Zinc)

전 조사해역 퇴적물중의 Zn 의 농도범위는 66 ~ 143 ppm 으로 폭 넓은 변화를 보였으며 진해만의 Zn 평균농도는 102 ppm 으로 나타났다. 진해만의 Zn 평균농도는 여수지역보다 약간 높지만 두 지역 모두 해저퇴적물의 Zn 평균농도 95 ppm (Bowen 1979)에서 크게 벗어나지 않는 정도의 함량을 보였다. 진해만에서 조사점별로는 마산만의 St. 1과 St. 2가 각각 115 ppm 과 143 ppm 으로 높은 함량을 나타냈으나 충무시 북신동의 St. 9도 125 ppm 으로 역시 높은 값을 보였다. 마산만의 St. 1과 St. 2의 Zn 농도는 1980년 11월에 조사한李 등(1981)의 측정값(St. 1: 114 ppm, St. 2: 148 ppm)과 잘 일치하고 있다.

본 조사에서의 Zn 측정값은 이 등(1978)의 남해 동부연안조사에서 나타난 Zn 농도(111 ppm)나 이 등(1981)의 진해만 조사에서 측정된 Zn 농도(111 ppm)와는 비슷한 값을 보이지만 都等(1981)의 마산만조사에서 나타난 274 ppm 이나 미국 동부 Chesapeake Bay 의 275 ppm (Goldberg et al. 1978 a)보다는 절반 이하의 값이었다.

사) 크 롬(Chromium)

전 조사해역 퇴적물중의 Cr의 농도범위는 30 ~ 77 ppm 이며 진해만의 Cr 평균농도는 57 ppm 이다. 여수지역의 Cr 농도는 69 ppm 으로 진해만보다 다소 높지만 해저퇴적물의 Cr 평균농도인 72 ppm (Bowen 1979)과는 비슷한 값이다. 진해만에서도 마산만의 St. 2와 실리도부근의 St. 4가 각각 77 ppm 과 74 ppm 을 나타내 타 조사점에 비해 높은 함량을 보였으나 해저퇴적물중의 평균농도를 약간 상회하는 정도일 뿐 퇴적물의 오염과 결부시키기는 어려울 것 같다.

본 조사에서 측정된 Cr 농도는 마산만에서 都等(1981)이 조사한 Cr 농도(56.9 ppm)와는 잘 일치하고 있으나 미국 동부 Chesapeake Bay의 Cr 농도(110 ppm: Goldberg et al. 1978a)보다는 대략 절반정도의 값에 지나지 않는다.

아) 망 간(Manganese)

전 조사해역 퇴적물중의 Mn의 농도범위는 306~740 ppm으로 폭 넓은 분포를 나타냈으며 진해만의 Mn 평균농도는 438 ppm으로 여수지역의 740 ppm에 비해 대략 60%에 지나지 않았다. 그러나 진해만이나 여수지역 모두 해저퇴적물의 Mn 평균농도인 770 ppm (Bowen 1979)보다는 낮은 값들이다. 진해만의 경우 각 조사점들간에 어떤 특별한 Mn 분포 경향은 보이지 않았으며 마산만 역시 Cd, Cu, Pb, Zn 등에서 볼 수 있었던 높은 함량이 Mn에서는 나타나지 않았다. 이것은 Mn이 마산, 창원등 연안지역의 산업활동과 직접적인 관계가 없는 데서 연유하는 것 같다.

본 조사에서 측정된 진해만의 Mn 농도는 이 등(1978)이 남해 동부연안에서 조사한 측정값(499 ppm)이나 都等(1981)이 마산만에서 측정한 496 ppm 보다는 약간 낮고 Goldberg et al.(1978a)이 조사한 미국 동부 Chesapeake Bay의 1,580 ppm 보다는 훨씬 낮은 값이다.

자) 철(Iron)

전 조사해역 퇴적물중의 Fe 농도범위는 2.5~3.7%이며 진해만의 Fe 평균농도는 3.0%로 여수지역의 3.1%와 비슷한 값을 나타냈다. 그러나 진해만이나 여수지역 모두 해저퇴적물의 Fe 평균농도인 4.1%(Bowen 1979)보다는 낮은 값이다. Fe도 Co나 Mn의 경우처럼 진해만내에서는 조사점들 사이에 별다른 함량차이가 나타나지 않고 있다. 이것은 해저퇴적물중의 Fe 함량이 워낙 높은 관계로 연안지역 산업활동에 의한 소규모 유입량으로서는 별다른 영향을 주지 못하기 때문인 것 같다.

본 조사의 Fe 측정값은 이 등(1978)의 남해 동부연안의 조사값(4.3%)이나 미국 동부 Chesapeake Bay의 Fe 함량(4.3%: Goldberg et al. 1978a)

보다는 낮으나 都等(1981)의 마산만 조사에서 측정된 2.63%와는 비슷한 값을 나타내고 있다.

4) 진주담치 및 참굴중의 중금속 함량

진주담치 및 참굴생체중의 중금속조사에서는 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 망간(Mn), 철(Fe) 등 7가지 중금속을 조사항목으로 택하였다. 한편 진주담치껍질중의 중금속조사에서는 위의 중금속들중 Mn과 Fe를 제외한 나머지 5가지 중금속만을 조사항목으로 택하였다. 본 조사에서 측정된 진주담치생체와 껍질중의 중금속함량은 Table 6과 7에, 그리고 참굴생체중의 중금속함량은 Table 8에 각각 나타나 있다. 남해안의 진주담치양식은 대개 7월에 종패(種貝)를 이식하여 양식을 시작해서 다음해 3~5월경이면 수확을 하기 때문에 중금속함량조사는 1982년 3월에 거의 집중적으로 실시하였다.

가) 카드뮴(Cadmium)

전 조사해역의 Cd 함량범위는 진주담치껍질의 경우 0.012~0.183 ppm으로 변화폭이 크지만 진주담치와 참굴생체는 각각 1.1~2.9 ppm과 1.4~3.5 ppm으로 비교적 변화폭이 작다. 1982년 3월에(St. 9 포함) 진해만에서 조사한 진주담치껍질과 생체중의 Cd 평균함량은 각각 0.023 ppm과 1.9 ppm이며 생체중의 Cd 함량은 껍질중의 함량에 비해 100배이상 높다.

지역별 Cd 함량을 비교해 보면 진주담치는 동해안 임원지역이 생체 2.9 ppm, 껍질 0.183 ppm으로 조사지역중에서 가장 높게 나타났는데 특히 껍질의 Cd 함량은 타지역에 비해 3~15배나 높았다. 또 진해만은 생체중의 Cd 함량이 1.8 ppm으로 반월지역(2.5 ppm)이나 여수지역(2.4 ppm)보다 약간 낮으며 껍질중의 함량은 0.024 ppm으로 반월지역(0.041 ppm)보다는 낮지만 여수지역(0.022 ppm)하고는 비슷하게 나타났다(Table 7). 1982년 3월 조사에서 나타난 진해만의 조사점별 Cd 함량을 보면(St. 9 포함) 진주담치생체는 거제도의 칠천수도에 있는 St. 7이 2.7 ppm으로 가장 높은 반면에 껍질은 행암만입구 도투마리암(St. 3)의

Table 6. Heavy metal concentrations in soft tissues of mussels, *Mytilus edulis* (ppm dry weight).

Sampling site	Sampling time	Meat weight (g, wet)		Water content (%)	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe
		Range	Mean								
Imweon (East Coast)	Oct. '81	6.53 - 10.04	7.56	85.9	2.9	4.4	6.6	1.12	59	5.5	170
Banweol (West Coast)	Apr. '82	8.25 - 18.03	10.77	83.7	2.5	4.1	5.9	0.65	72	17.7	430
Yeosu (South Coast)	Mar. '82	7.20 - 18.00	11.18	83.8	2.4	3.6	3.7	1.14	50	17.8	790
Jinhae Bay (South Coast)											
St. 1	Oct. '81	3.21 - 8.91	5.52	85.2	1.1	2.1	4.8	1.70	75	35.1	250
	Mar. '82	9.17 - 19.07	13.50	79.8	1.1	2.3	4.5	0.42	69	11.3	220
St. 2	Nov. '81	3.97 - 7.66	5.36	87.8	1.3	2.3	5.9	1.59	103	31.3	480
	Mar. '82	4.59 - 8.76	6.55	83.4	1.8	3.1	7.8	0.67	80	15.0	430
St. 3	Mar. '82	3.61 - 15.12	8.06	84.2	2.1	2.8	3.4	0.77	71	10.5	370
St. 4	Nov. '81	5.45 - 12.07	7.77	84.4	2.9	8.3	4.6	1.25	83	23.5	750
	Feb. '82	4.67 - 9.55	7.78	85.0	1.4	5.0	5.2	0.43	67	14.0	640
	Mar. '82	5.97 - 20.25	11.40	85.4	1.3	5.7	5.7	0.27	52	8.0	100
St. 5	Mar. '82	3.98 - 17.25	7.28	84.9	1.9	2.0	5.0	2.07	45	9.9	570
St. 6	Mar. '82	5.70 - 18.90	11.07	82.1	1.8	1.3	6.5	0.64	57	12.9	480
St. 7	Mar. '82	5.07 - 8.73	6.54	83.3	2.7	2.7	6.1	1.50	69	12.6	520
St. 8	Mar. '82	3.02 - 11.19	4.54	87.0	2.0	2.1	4.7	0.75	70	13.9	600
St. 9	Nov. '81	5.12 - 15.74	10.31	84.6	2.3	2.3	4.7	2.75	108	21.2	740

Table 7. Heavy metal concentrations in shells of mussels, *Mytilus edulis* (ppm dry weight).

Sampling site	Sampling time	Shell length (mm)		Shell weight (g, dry)		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
		Range	Mean	Shell	Mean						
Imweon, (East Coast)	Oct. '81	61 - 71	65	11.14 - 17.60	13.70	0.183	0.016	0.57	1.06	0.34	
	Apr. '82	62 - 77	71	4.36 - 9.40	5.86	0.041	0.067	1.73	0.21	1.11	
	Mar. '82	58 - 75	66	3.97 - 9.54	6.17	0.022	0.047	1.70	0.42	0.65	
Jinhae Bay (South Coast)	St. 1	Oct. '81	45 - 56	50	2.13 - 3.37	2.49	0.116	2.44	0.32	0.49	
		Mar. '82	56 - 77	65	3.90 - 8.16	5.22	0.012	0.014	1.67	0.30	0.34
		Nov. '81	51 - 62	57	2.12 - 3.43	2.90	0.024	0.164	2.65	0.32	0.91
	St. 2	Mar. '82	57 - 68	63	3.07 - 4.86	4.26	0.015	0.084	1.78	0.33	0.85
		Mar. '82	52 - 79	62	3.76 - 23.08	9.10	0.061	0.017	1.03	0.33	0.66
		Nov. '81	59 - 74	64	3.47 - 6.22	4.92	0.019	0.079	1.87	0.38	0.17
	St. 3	Feb. '82	63 - 75	69	4.38 - 7.06	5.83	0.029	0.050	1.73	0.35	1.25
		Mar. '82	62 - 81	71	2.13 - 8.21	5.56	0.020	0.060	1.77	0.36	0.34
		Mar. '82	58 - 73	65	3.36 - 6.52	4.88	0.017	0.051	1.52	0.19	0.79
St. 4	Mar. '82	43 - 81	67	1.87 - 8.64	5.60	0.030	0.033	1.58	0.27	1.24	
	Mar. '82	55 - 64	59	3.34 - 6.95	4.88	0.020	0.059	1.51	0.23	0.62	
	Mar. '82	53 - 77	62	3.21 - 8.15	4.54	0.014	0.032	1.74	0.35	1.30	
St. 5	Nov. '81	60 - 95	75	4.03 - 18.68	9.19	0.015	0.031	1.23	0.25	0.26	

Table 8. Heavy metal concentrations in soft tissues of oyster, *Crassostrea gigas*, in Jinhae Bay (ppm dry weight).

Sampling site	Sampling time	No. of individuals	Mean weight (g)	Water content (%)	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe
St. 7	Mar. '82	11	9.04	73.1	1.4	1.2	24	0.15	41	23	110
St. 8	Mar. '82	12	8.34	80.7	3.5	1.0	27	0.31	58	26	210
St. 9	Nov. '81	17	12.87	84.0	3.1	2.0	19	2.03	370	28	730

자연산 진주담치가 0.061 ppm 으로 역시 가장 높은 함량을 보였다. St. 3에서는 진주담치생체중의 Cd 함량도 비교적 높은데 (2.1 ppm), 본 조사에서 나타난 결과를 보면 자연산 진주담치가 양식 진주담치보다 대체로 생체와 껍질중의 Cd 함량이 높았다.

참굴은 Table 8에서 보는 바와 같이 거제도의 칠천수도 (St. 7)와 거제대교 부근의 하도앞 (St. 8), 그리고 충무시 북신동 (St. 9) 등 세곳에서만 조사하였으며 St. 8 (3.5 ppm)과 St. 9 (3.1 ppm)가 비교적 높아서 두 조사점 모두 St. 7 (1.4 ppm)보다 두배 이상의 Cd 함량을 나타냈다. 본 조사결과로는 진해만의 경우 참굴의 Cd 함량 (평균 2.7 ppm)이 진주담치 (평균 1.8 ppm)보다 높았는데 이런 경향성은 같은 해역에서 실시한 元 (1973)의 조사결과에서도 나타난 바 있다.

본 조사에서 측정된 진주담치와 참굴의 Cd 함량을 타 조사결과와 비교해 볼때 元 (1973)이 1972년 2~3월에 진해만주변의 고성과 충무에서 조사한 진주담치 및 참굴생체중의 Cd 함량은 각각 습중량으로 0.17 ppm 과 0.25 ppm 으로서 본 조사에서 나타난 진해만의 진주담치 (1.8 ppm, 건중량; 0.29 ppm, 습중량)와 참굴 (2.7 ppm, 건중량; 0.51 ppm, 습중량)의 Cd 함량보다 약간 낮았다. 그러나 都等 (1981)이 1980년 7월 진해만에서 조사한 진주담치의 Cd 함량은 습중량 0.40 ppm 으로서 본 조사값보다 오히려 높게 나타났다.

참고로 외국의 조사결과를 보면 담치의 경우 미국 동해안의 Narragansett (*M. edulis*)가 1.7 ppm (건중량), 서해안의 Point La Jolla (*M. californianus*)가 2.0 ppm (Goldberg *et al.* 1978 b)으로서 본 조사의 진해만에서 나타난 결과와 비슷하였다. 또 미국 동해안의 여러 지역에서 조사한 참굴중의 Cd 함량은 1.1 ~ 21.4 ppm (건중량)으로 조사해역에 따라 Cd 함량이 다양하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 한편 Nickless *et al.*(1972)이 오염이 심한 영국 Bristol Channel 에서 조사한 진주담치생체중의 Cd 함량은 17.9 ppm (건중량)으로 본 조사의 진해만 평균함량보다도 무려 10 배나 높다. 패류의 평균 Cd 함량(2 ppm, 건중량; Bryan 1976)과 본 조사값을 비교해 볼때 진해만의 진주담치는 평균함량보다 약간 낮은 반면에 동해안의 임원(2.9 ppm), 반월(2.5 ppm), 여수(2.4 ppm) 그리고 진해만의 참굴(2.7 ppm) 등이 평균농도보다 조금씩 높게 나타났다.

나) 크롬(Chromium)

진 조사해역의 Cr 함량범위는 진주담치의 경우 껍질이 0.014~0.164 ppm, 생체가 1.3~8.3 ppm 으로 비교적 변화폭이 크지만 참굴은 1.0~2.0 ppm 으로 변화폭이 매우 작다. 1982년 3월 (St. 9 포함) 진해만에서 조사한 진주담치껍질과 생체중의 Cr 평균함량은 각각 0.042 ppm 과 2.7 ppm 이며 생체가 껍질보다 평균 60 배이상 높다.

지역별 Cr 함량을 비교해 보면 진주담치생체는 동해안의 임원지역이 4.4 ppm 으로 가장 높지만 반월과 여수지역도 각각 4.1 ppm, 3.6 ppm 으로 비슷한 함량을 보인 반면에 진해만은 2.8 ppm 으로 이들 지역보다는 다소 낮았다. 그러나 진주담치껍질의 경우는 이와 달리 반월이 0.067 ppm 으로 가장 높았고 여수와 진해만이 0.047 ppm 과 0.044 ppm 으로 비슷하였으며 임원지역은 0.016 ppm 으로 타 조사지역에 비해 훨씬 낮았다 (Table 7). 1982년 3월 조사에서 나타난 진해만의 조사점별 Cr 함량은 (St. 9 포함) 진주담치생체의 경우 실리도 부근의 St. 4 가 5.7 ppm 으로 가장 높고 기타는 1.3~3.1 ppm 으로 큰 차이는 보이지 않았다. 그러나 진주담치껍질은 St. 2 가 0.084 ppm 으로 가장 높았으며 St. 4, 5, 7 등이

0.051~0.060 ppm 의 함량분포를 보인 반면 나머지 조사점들은 0.014~0.033 ppm 의 낮은 함량분포를 나타냈다. 참굴생체중의 Cr 함량은 St. 9가 2.0 ppm 으로 가장 높지만 각 조사점간에 큰 함량차이는 없어서 1.0~2.0 ppm 정도의 비교적 낮은 값을 나타냈다 (Table 8).

본 조사에서 측정된 진주담치와 참굴의 Cr 함량을 타 조사결과와 비교해 보면 진해만의 진주담치생체중의 Cr 함량 (2.8 ppm , 건중량 ; 0.45 ppm , 습중량)은 都等 (1981)이 같은 해역에서 조사한 0.3 ppm (습중량)보다 조금 높다. 또한 Bertine and Goldberg (1972)가 Belgium 의 Nieuport 에서 조사한 진주담치생체중의 Cr 함량은 평균 1.23 ppm (건중량)으로서 본 조사의 어느 해역보다 낮으나 반대로 껍질중의 Cr 함량은 평균 0.10 ppm (건중량)으로 본 조사보다 높다. 굴의 경우 Ayling (1974)이 호주 Tasmania 의 Tamar River 에서 측정한 참굴의 Cr 함량 11 ppm 은 본 조사값보다 월등히 높다.

다) 구 리(Copper)

전 조사해역의 Cu 함량범위를 보면 진주담치껍질은 0.57~2.65 ppm 이며 진주담치와 참굴생체는 각각 3.4~7.8 ppm 과 19~27 ppm 으로 비교적 모두 변화 폭이 작다. 1982년 3월에 (St. 9 포함) 진해만에서 조사한 진주담치껍질과 생체중의 Cu 평균함량은 각각 1.54 ppm 과 5.4 ppm 으로 생체의 Cu 함량이 껍질보다 3.5배나 높지만 Cd나 Cr 에 비해서는 그 차이가 훨씬 작다.

지역별 Cu 함량은 Cr 의 경우와 비슷해서 진주담치생체는 동해안의 임원지역이 6.6 ppm 으로 가장 높지만 반월과 진해만도 각각 5.9 ppm 과 5.5 ppm 으로 거의 비슷한 값을 보였으나 여수지역만은 3.7 ppm 으로 이들 지역과는 큰 차이를 나타냈다. 그러나 진주담치껍질의 경우는 반대로 반월 (1.37 ppm), 여수 (1.70 ppm), 진해만 (1.58 ppm) 등이 비슷한 함량을 나타낸 반면, 임원지역은 0.57 ppm 으로 가장 낮았다 (Table 7). 1982년 3월 조사에서 나타난 진해만의 조사점별 Cu 함량을 볼때 (St. 9 포함) 진주담치껍질과 생체는 마산만의 St. 2가 각각 1.78 ppm 과 7.8 ppm 으로 가장 높았고 이와 반대로 행암만입구 도투마리암 (St. 3)의

자연산 진주담치는 껍질 (1.03 ppm) 과 생체 (3.4 ppm) 과 모두 가장 낮은 함량을 보였다. 그러나 위에서 나타난 바와 같이 진주담치중의 Cu 함량은 각 지역간이나 진해만의 조사점사이에 큰 차이는 없었다. 참굴의 경우도 조사점간에 큰 함량차이는 보이지 않고 대체로 10 ~ 27 ppm 사이의 고른 Cu 함량을 나타냈다 (Table 8).

본 조사의 진주담치 및 참굴중의 Cu 함량을 타 조사결과와 비교해 보면 元 (1973) 이 진해만주변의 고성과 충무에서 조사한 진주담치 및 참굴생체중의 Cu 함량은 각각 습중량으로 1.14 ppm 과 5.35 ppm 으로서 본 조사에서 나타난 진해만의 진주담치 (5.5 ppm, 건중량 ; 0.89 ppm , 습중량) 와 참굴 (23 ppm , 건중량 ; 4.9 ppm , 습중량) 생체중의 Cu 함량과 비슷하며 都等 (1981) 이 역시 진해만에서 측정된 진주담치생체중의 Cu 함량도 1.40 ppm (습중량) 으로 본 조사값과 큰 차이는 없다. 외국의 조사결과를 보면 Goldberg *et al.* (1978 b) 이 미국 동해안의 Narragansett Bay 에서 측정된 진주담치생체중의 Cu 함량은 평균 10.2 ppm (건중량) 이며 또 서해안의 Point La Jolla (*M. californianus*) 에서 조사한 것도 7.8 ppm (건중량) 으로서 모두 본 조사의 어느 지역보다도 높다. 또 Ayling (1974) 이 호주 Tasmania 의 Tamar River 에서 측정된 참굴중의 Cu 함량은 833 ppm 으로 본 조사값과는 무려 100 배이상의 함량차이를 나타냈다.

라) 납(Lead)

전 조사해역의 Pb 함량범위는 진주담치껍질에서는 0.19 ~ 1.06 ppm 이며, 진주담치와 참굴생체는 각각 0.27 ~ 2.75 ppm 과 0.15 ~ 2.03 ppm 으로 비슷한 함량분포를 보였다. 1982년 3월 (St. 9 포함) 진해만에서 조사한 진주담치껍질과 생체중의 Pb 평균함량은 각각 0.29 ppm 과 1.09 ppm 이며 생체의 Pb 함량은 껍질보다 4 배이상 높는데 이와 비슷한 경향은 Cu 에서도 나타난 바 있다.

지역별 Pb 함량은 진주담치생체의 경우 반월을 제외하고는 동해안의 임원 (1.12 ppm), 여수 (1.14 ppm), 진해만 (0.89 ppm) 등이 비슷한 함량을 보인 반면에 진주담치껍질은 임원지역 (1.06 ppm) 이 비교적 높고 기타 지역은 0.21 ~ 0.42 ppm 의 낮은 Pb 함량을 나타냈다 (Table 7). 진해만의 3월 조사에서 나타난 Pb

함량을 보면, 진주담치생체는 St. 9 (2.75 ppm)가 가장 높은 반면에 마산만의 St. 1, 2와 실리도 부근의 St. 4가 대체로 낮은 함량을 나타낸 것이 주목되며 껍질은 조사점간에 별다른 차이없이 0.19~0.35 ppm의 함량분포를 보였다. 참굴은 진주담치생체에서와 마찬가지로 St. 9 (2.03 ppm)가 월등히 높으며 나머지는 0.15~0.31 ppm의 낮은 함량분포를 보였다.

본 조사에서 측정된 진해만의 진주담치 (0.89 ppm, 건중량; 0.14 ppm, 습중량) 및 참굴 (0.83 ppm, 건중량; 0.14 ppm, 습중량) 생체중의 Pb 함량은 元 (1973)이 진해만주변의 고성과 충무에서 조사한 진주담치 (1.25 ppm, 습중량) 및 참굴 (1.73 ppm, 습중량) 중의 Pb 함량이나 都 等 (1981)이 진해만에서 조사한 진주담치중의 Pb 함량인 0.9 ppm (습중량)보다 월등히 낮다. 또한 Ayling (1974)이 호주 Tasmania의 Tamar River에서 측정한 참굴중의 Pb 함량은 1 ppm (건중량)으로 본 조사값과 비슷하며 미국 동해안의 Narragansett Bay에서 조사한 진주담치중의 Pb 함량 (4.1 ppm, 건중량; Goldberg *et al.* 1978 b)은 본 조사의 어느지역보다도 월등히 높다.

마) 아 연(Zinc)

전 조사해역의 Zn 함량범위를 보면 진주담치껍질은 0.17~1.30 ppm으로 낮은 반면 생체는 45~108 ppm으로 껍질에 비해 매우 높은 함량분포를 나타내고 있다. 진해만의 3월조사 (St. 9 포함)에서 나타난 진주담치껍질과 생체중의 Zn 평균함량은 각각 0.71 ppm과 69 ppm이며 생체의 Zn 함량은 껍질보다 140배 가까이 높는데 이 값은 Cd (75배)나 Cr (64배)보다도 월등히 높다.

지역별 Zn 함량은 진주담치생체의 경우 반월 (72 ppm)이 가장 높고 다음으로는 진해만 (64 ppm), 임원 (59 ppm), 여수 (50 ppm) 순으로 함량이 감소하는 경향을 보였으나 껍질은 반월이 높은 반면에 임원이 가장 낮은 것으로 나타났다 (Table 7). 3월조사에서 나타난 진해만의 아연함량을 보면 진주담치생체는 St. 9가 108 ppm으로 가장 높으며 반대로 실리도부근 (St. 4)과 진동만 (St. 5와 6)이 45~57 ppm으로 대체로 낮은 Zn 함량을 나타냈다. 진주담치껍질의 경우는 생체

에서 나타났던 결과와는 반대로 St. 9가 0.26 ppm 으로 가장 낮은 Zn 함량을 보인 반면에 진돗만의 St. 6이 1.24 ppm 으로 조사점들중에서 가장 높은 함량을 나타냈다. 참굴은 진주담치생체에서와 같이 St. 9가 370 ppm 으로 St. 7이나 St. 8에 비해 6~9배나 높으며 같은 조사점의 진주담치생체의 함량보다도 3배이상의 높은 Zn 함량을 나타냈다 (Table 8).

본 조사에서 측정된 진해만의 진주담치생체중의 Zn 함량 (64 ppm, 건중량; 10.4 ppm, 습중량)은 都等(1981)이 같은 해역에서 측정한 Zn 함량인 30.1 ppm (습중량)보다 훨씬 낮다. 또 미국 동해안의 Narragansett Bay (*M. edulis*)와 서해안의 Point La Jolla (*M. californianus*)에서 조사된 담치생체중의 Zn 함량은 각각 138 ppm 과 177 ppm (Goldberg et al. 1978 b)으로 본 조사의 어느 해역보다도 두배 이상 높다. 한편 Ayling (1974)이 호주 Tasmania 의 Tamar River 에서 조사한 참굴중의 Zn 함량도 8,400 ppm 으로 본 조사에서 가장 높은 Zn 함량인 370 ppm 보다도 20 배 이상이나 높다.

바) 망 간(Manganese)

Mn 은 진주담치와 참굴생체중의 함량만 측정하였는데, 본 조사에서 나타난 지역별 진주담치중의 Mn 함량은 동해안의 임원지역이 5.5 ppm 으로 가장 낮고 진해만이 평균 11.8 ppm 으로 임원보다 두배정도 높으며 반월 (17.7 ppm)과 여수 (17.8 ppm)는 임원의 3배이상 높다. 진해만의 3월 조사에서는 (St. 9 포함) St. 9 (21.2 ppm)가 가장 높고 St. 4 (8.0 ppm)는 타 조사점들보다 약간 낮았으며 나머지는 대체로 9.9~15.0 ppm의 Mn 함량을 나타냈다. 참굴은 진주담치에서와 같이 St. 9가 St. 7이나 St. 8에 비해 다소 높기는 하지만 전체적으로 23~28 ppm 의 비슷한 함량을 보였다.

본 조사에서 측정된 진주담치 및 참굴중의 Mn 함량을 타 조사결과와 비교해 볼때 都等(1981)이 진해만에서 조사한 진주담치 중의 Mn 함량은 1.97 ppm (습중량)으로 본 조사의 진해만 진주담치중의 Mn 평균함량 (11.8 ppm, 건중량; 1.91 ppm, 습중량)과 잘 일치한다. 또 미국 동해안의 Narragansett Bay 에서 조사

된 진주담치중의 Mn 함량은 15.0 ppm (Goldberg *et al.* 1978 b)으로 임원지역을 제외하고는 본 조사결과와 비슷한 함량이다.

사) 철(iron)

Fe 는 Mn의 경우처럼 진주담치와 참굴생체중의 함량만 측정하였는데 진주담치는 지역별로 볼때 반월 (430 ppm)과 진해만(평균 410 ppm)이 비슷하고 여수 (790 ppm)는 이들 지역보다 두배 가까운 높은 함량을 보인 반면에 임원 (170 ppm)은 이들 지역의 절반에도 못미치는 낮은 값을 나타냈다. 진해만의 3월 조사에서는(St. 9 포함) St. 4와 St. 1이 각각 100 ppm과 220 ppm으로 낮을뿐 나머지는 370~740 ppm의 높은 Fe 함량을 나타냈다. 참굴은 St. 9가 730 ppm으로 Fe 함량이 높았는데 이 조사점에서는 진주담치의 Fe 함량도 740 ppm으로 나타나 이 해역 생물체내의 Fe 함량이 의외로 높음을 알 수 있다. 그러나 이 해역 해수나 해저퇴적물중의 Fe 함량자료가 누락되어 정확한 원인을 추정하기는 어렵다.

본 조사에서 측정된 진주담치중의 Fe 함량을 타 조사결과와 비교해 보면 미국 동해안의 Narragansett Bay (*M. edulis*)와 서해안의 Point La Jolla (*M. californianus*)에서 조사된 담치중의 Fe 함량인 170 ppm은 본 조사의 임원지역과 같은 값이며 Bertine and Goldberg (1972)가 Belgium의 Nieupoort에서 조사한 진주담치의 Fe 함량 (776 ppm)은 본 조사에서 가장 높은 지역인 여수 (790 ppm)와 비슷한 값이다.

4. 진주담치의 成長度와 重金屬含量變化

진주담치생체 및 껍질중의 중금속함량이 진주담치 성장도에 따라 어떻게 변화하는가를 보기 위해 진해만의 조사점들중에서 마산만의 두 조사점 (St. 1 과 2)과 실리도부근의 진주담치양식장 (St. 4)에서 2~3회에 걸쳐 시료를 채취해 중금속 함량을 측정하였는데 그 결과는 타 조사점의 측정결과와 함께 이미 Table 6과 7에 각각 나타낸 바 있다. 조사시기는 St. 1에서는 1981년 10월과 1982년 3월

그리고 St. 2에서는 1981년 11월과 1982년 3월등 각각 2회 시료를 채취하였으며 St. 4에서는 1981년 11월, 1982년 2월과 3월등 모두 3회에 걸쳐 시료를 채취하여 중금속함량을 측정조사하였다.

Table 6과 7에서 보는 바와 같이 진주담치생체중의 중금속함량은 대체로 진주담치가 성장해 감에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈으나 껍질중의 중금속함량은 마산만의 조사점에서만 이런 경향을 보였을 뿐이었다. Cd의 경우 오염이 비교적 적은 실리도부근에서는 1981년 11월에 진주담치생체의 Cd 함량이 2.9 ppm이었으나 1982년 2월과 3월은 각각 1.4 ppm과 1.3 ppm으로 50% 이상의 감소를 보였다. 특이한 것은 11월부터 다음해 2월까지 3개월사이에 껍질크기는 평균 5mm의 증가를 보였으나 생체의 무게는 별다른 증가가 없었던 점이다. 그러나 2월에서 3월사이의 한달동안에 껍질크기는 평균 2mm의 증가가 있었으나 생체의 무게는 7.8g에서 11.4g으로 무려 46%의 증가를 보였는데 그럼에도 불구하고 Cd 함량은 큰 변화가 없었다. 마산만의 St. 1에서는 생체중의 Cd 함량이 1981년 10월이나 다음해 3월이 다같이 1.1 ppm으로 같았다. 이 기간동안에 껍질크기는 15mm이나 증가하였으며 생체무게는 5.5g에서 13.5g으로 무려 145%의 증가를 보였다. 이 조사점에서 껍질중의 Cd 함량은 생체와는 달리 10월의 0.028 ppm에서 다음해 3월에는 0.012 ppm으로 57% 감소하였는데 껍질의 무게는 2.5g에서 5.2g으로 110%나 증가하였다. 한편 St. 2에서는 생체중의 Cd 함량이 1981년 11월의 1.3 ppm에서 1982년 3월에는 1.8 ppm으로 38% 증가한 반면 껍질은 같은 기간동안에 0.024 ppm에서 0.015 ppm으로 37.5% 감소하여 생체중의 Cd함량증가와 껍질중의 Cd 함량 감소율이 매우 비슷하였다.

St. 4에서는 진주담치생체와 껍질중의 Cr 함량이 진주담치의 성장에 따라 1981년 11월에서 1982년 2월까지의 기간동안에는 감소하다가 2월에서 3월사이에는 다시 증가하는 불규칙한 변화를 보여 주었다. 그러나 마산만의 두 조사점에서는 진주담치생체와 껍질중의 Cr 함량이 Cd의 경우처럼 진주담치 성장에 따라 서로 상반된 변화를 나타냈다. 즉, St. 1의 경우 껍질의 Cr 함량이 1981년 10월 0.116 ppm

에서 1982년 3월에는 0.014 ppm으로 88%나 감소한데 반해 생체는 2.1 ppm에서 2.3 ppm으로 10% 정도가 증가하였다. St. 2에서도 이와 비슷하여 진주담치껍질은 11월의 0.164 ppm에서 다음해 3월 0.084 ppm으로 49% 감소하였는데 생체는 오히려 2.3 ppm에서 3.1 ppm으로 35% 정도 증가하였다. 일반적으로 비오염해역(非汚染海域)에서 진주담치가 완전히 성장할 때까지는 생체중의 중금속함량이 성장도에 따라 감소하는 것으로 알려져 있는데 (Phillips 1976), 본 조사에 나타난 바로는 조사점에 따라 껍질에서도 이런 현상을 볼 수 있다. 그러나 해수중의 중금속섭취율(uptake rate)에 있어서는 진주담치의 생체와 껍질사이에 큰 차이가 있어서 생체가 해수중의 중금속농도나 기타 수질지수변화에 따라 중금속함량에 큰 변화를 보이는 반면에 껍질은 그렇지 않는 것 같다. 따라서 본 조사에서 나타난 진주담치생체의 Cr 함량증가는 이 해역 해수중의 Cr 농도나 기타 수질지수들과 밀접한 관계가 있는 것 같으며 반대로 껍질의 Cr 함량감소는 진주담치의 성장도와 유관한 것으로 생각된다.

Cu의 경우 St. 1에서는 진주담치 성장에 따라 생체중의 Cu 함량이 감소하였으나 St. 2와 St. 4에서는 오히려 증가하는 현상을 보였다. 진주담치는 Cu를 섭취하는 과정에서 해수의 수온이나 염분변화 또는 다른 중금속함량에 큰 영향을 받는다 (Phillips 1976). 따라서 진주담치생체중의 Cu 함량은 진주담치 성장과 상관없이 주위환경에 따라 항상 변화한다고 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 Cr에서도 나타난 바 있다.

진주담치껍질중의 Pb 함량은 진주담치 성장도에 상관없이 대체로 일정한 값을 유지하고 있는데 반해 생체중의 Pb 함량은 성장도에 따라 감소하고 있다. 껍질의 경우 St. 1에서는 10월의 0.32 ppm에서 다음해 3월에는 0.30 ppm으로 거의 같은 값을 보였고 St. 2에서도 11월의 0.32 ppm에서 3월에는 0.33 ppm으로 역시 비슷한 값을 나타냈다. St. 4에서도 11월에서 3월사이의 4개월동안에 Pb 함량이 0.38~0.35 ppm사이의 값을 유지하고 있어서 함량변화가 거의 없었다. 그러나 생체의 경우 St. 1에서는 10월의 1.70 ppm에서 다음해 3월에는 0.42 ppm

으로 75%나 감소하였고 St. 2에서도 11월의 1.59 ppm 에서 3월에는 0.67ppm 으로 58 % 감소하였으며 St. 4에서 역시 11월의 1.25 ppm 에서 다음해 2월에는 0.43 ppm 으로 66 % 감소, 그리고 3월에는 0.27 ppm 으로 11월에 비해 78 %의 함량감소를 나타냈다.

마산만의 St. 1 과 St. 2에서는 진주담치생체와 껍질중의 Zn 함량이 성장에 따라 감소하는 경향을 보였으나 실리도부근의 St. 4에서는 생체중의 Zn 함량만이 이런 현상을 나타냈을뿐 껍질중의 Zn 함량변화는 전혀 불규칙하였다. 생체중의 Zn 함량 변화를 보면 St. 1에서는 10월부터 다음해 3월까지의 5개월동안 단지 8%의 함량감소를 나타냈으나 St. 2에서는 11월부터 3월까지 4개월동안 22%, 그리고 St. 4에서는 같은 기간에 37%의 함량감소를 보여 마산내만에서 외양으로 나갈수록 함량감소비율이 증가하였다. 이와 같이 진주담치 성장에 따른 생체중의 Zn함량감소 비율이 마산내만으로 들어올수록 작은 것은 이 해역의 해수나 해저퇴적물중의 높은 Zn 함량과 관계가 있는 것으로 생각된다(Table 4와 5).

Mn 과 Fe 는 진주담치생체중의 함량만 측정하였는데 두 원소 모두 진주담치 성장에 따라 함량이 감소하고 있다. 그러나 그 감소율은 Mn 이 Fe보다 훨씬 커서 St. 1에서는 10월부터 다음해 3월까지 5개월동안에 Fe 함량이 12% 감소한데 비해 Mn 은 68 % 나 감소하였고 St. 2에서도 Fe 의 10 % 감소에 비해 Mn 은 52 %나 감소하였다. St. 4에서는 11월부터 2월까지의 3개월동안에는 Fe 가 15 % 감소한데 비해 Mn은 40% 감소하였으나 2월과 3월사이의 한달동안에는 반대로 Mn이 43 % 감소하고 Fe는 84%로 감소율이 Mn 의 두배나 되었다.

5. 진주담치의 무게와 重金屬負荷量

본 조사에서 계산된 진주담치와 참굴생체의 개체당 중금속부하량 ($\mu\text{g}/\text{individual}$) 이 Table 9에 나와 있다.

Table 9. Heavy metal loads on individual bodies of mussel (*Mytilus edulis*) and oyster (*Crassostrea gigas*) ($\mu\text{g}/\text{individual}$).

Sampling site	Sampling time	Species	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe
Imweon	Oct. '81	Mussel	3.1	4.7	7.0	1.2	63	6	180
Banweol	Apr. '82	"	4.4	7.2	10.4	1.1	126	31	750
Yeosu	Mar. '82	"	4.3	6.5	6.7	2.1	91	32	1430
Jinhae Bay									
St. 1	Oct. '81	"	0.9	1.7	3.9	1.4	61	29	200
	Mar. '82	"	3.0	6.3	12.3	1.2	188	31	600
St. 2	Nov. '81	"	0.9	1.5	3.9	1.0	67	21	310
	Mar. '82	"	2.0	3.4	8.5	0.7	87	16	470
St. 3	Mar. '82	"	2.7	3.6	4.3	1.0	90	13	470
St. 4	Nov. '81	"	3.5	10.1	5.6	1.5	101	28	910
	Feb. '82	"	1.6	5.8	6.1	0.5	78	16	750
	Mar. '82	"	2.2	9.5	9.5	0.4	87	13	170
St. 5	Mar. '82	"	2.1	2.2	5.5	2.3	49	11	630
St. 6	Mar. '82	"	3.6	2.6	12.9	1.3	113	26	950
St. 7	Mar. '82	"	2.9	2.9	6.7	1.6	75	14	570
St. 8	Mar. '82	"	1.2	1.2	2.8	0.4	41	8	350
St. 9	Nov. '81	"	3.7	3.7	7.5	4.4	171	34	1170
St. 7	Mar. '82	Oyster	3.4	2.9	58	0.4	100	56	270
St. 8	Mar. '82	"	5.6	1.6	43	0.5	93	42	340
St. 9	Nov. '81	"	6.4	4.1	39	4.2	762	58	1500

진주담치생체의 개체당 Cd 부하량은 반월과 여수가 각각 $4.4 \mu\text{g}$ 과 $4.3 \mu\text{g}$ 으로 조사지역중에서는 비교적 높은 값을 보였으며 그 밖에도 동해안의 임원지역과 진해만의 St. 1, 4, 6, 9의 진주담치에서도 $3 \mu\text{g}$ 이상의 Cd 부하량이 나타났다. 참굴의 Cd 부하량은 진주담치보다도 많아서 진해만의 St. 9에서는 $6.4 \mu\text{g}$ 이나 되었으며 St. 8도 $5.6 \mu\text{g}$ 으로 역시 높은 부하량을 보였다. 또 참굴의 평균 Cd 부하량 ($5.1 \mu\text{g}$) 은 진해만의 진주담치 평균부하량 ($2.5 \mu\text{g}$) 보다도 두배이상 높았다.

Cr 의 경우 진주담치생체의 개체당 부하량은 Cd와 마찬가지로 반월과 여수가 높아서 각각 $7.2 \mu\text{g}$ 과 $6.5 \mu\text{g}$ 을 나타냈으며 동해안의 임원과 진해만에서는 이 보다

낮은 $4.7 \mu\text{g}$ 과 $4.0 \mu\text{g}$ 을 나타냈다. 진해만에서 조사점별로는(1982년 3월조사) St. 4가 $9.5 \mu\text{g}$ 으로 타 조사점들보다 월등히 높았는데 특히 St. 4에서는 11월 조사에서 Cr 부하량이 $10.1 \mu\text{g}$ 으로 조사기간중 가장 높은 값을 나타냈다. 한편 참굴의 Cr 부하량은 평균 $2.9 \mu\text{g}$ 으로 같은 해역(St. 7, 8, 9)의 진주담치중의 Cr 부하량인 $2.6 \mu\text{g}$ 과 비슷하였다.

Cu 부하량은 진주담치의 경우 반월이 $10.4 \mu\text{g}$ 으로 조사지역중 가장 높고 임원($7.0 \mu\text{g}$), 여수($6.7 \mu\text{g}$), 진해만($7.8 \mu\text{g}$)은 비슷한 값을 나타냈다(Table 9). 1982년 3월 진해만 조사에서 나타난 진주담치의 Cu 부하량은 St. 1($12.3 \mu\text{g}$)과 St. 7($12.9 \mu\text{g}$) 등이 비교적 높은 값을 보인 반면에 St. 8은 $2.8 \mu\text{g}$ 으로 St. 1이나 St. 7에 비해 22% 정도밖에 되지 않았다. 참굴의 Cu 부하량은 진주담치보다도 월등히 높아서 St. 7에서는 $58 \mu\text{g}$ 이나 되었으며 St. 8과 9도 각각 $43 \mu\text{g}$ 과 $39 \mu\text{g}$ 으로 매우 높은 값을 나타냈다. 진해만의 St. 7, 8, 9에서 진주담치와 참굴의 Cu 부하량을 비교해 보면 참굴이 평균 $47 \mu\text{g}$ 으로 진주담치의 $507 \mu\text{g}$ 보다 무려 8배 이상이나 높다.

진주담치의 Pb 부하량은 임원($1.2 \mu\text{g}$), 반월($1.1 \mu\text{g}$), 진해만($1.1 \mu\text{g}$) 등이 비슷하고 여수는 $2.1 \mu\text{g}$ 으로 이들 지역보다 두배 가까이 높다. 진해만에서는 St. 9가 $4.4 \mu\text{g}$ 으로 타 조사점보다 월등히 높은 반면에 나머지는 $0.4 \sim 2.3 \mu\text{g}$ 의 부하량을 나타냈다. 참굴 역시 St. 9가 $4.2 \mu\text{g}$ 으로 가장 높으며 기타 조사점들은 $0.4 \sim 0.5 \mu\text{g}$ 으로 부하량이 매우 낮았다.

지역별 Zn 부하량은 진주담치의 경우 반월이 $126 \mu\text{g}$ 으로 가장 높고 여수와 진해만은 $91 \mu\text{g}$ 으로 같으며 임원은 $63 \mu\text{g}$ 으로 반월의 절반에 지나지 않는다. 진해만에서는 St. 1($188 \mu\text{g}$)과 St. 9($171 \mu\text{g}$) 등이 대체로 높으며 나머지 조사점들은 $41 \sim 113 \mu\text{g}$ 의 부하량을 나타냈다. 참굴은 St. 9가 $762 \mu\text{g}$ 으로 St. 7($100 \mu\text{g}$)이나 St. 8($93 \mu\text{g}$)에 비해 7배 이상이나 높았다.

진주담치의 Mn 부하량은 반월($31 \mu\text{g}$)과 여수($32 \mu\text{g}$)가 비슷하고 진해만은 $17 \mu\text{g}$ 으로 이들 지역에 비해 절반정도에 지나지 않으며 임원($6 \mu\text{g}$) 역시 이들 지역의 20% 정도에 불과하였다. 진해만에서는 St. 9($34 \mu\text{g}$)와 St. 1($31 \mu\text{g}$) 등이 비교적 높게 나타난 반면에 St. 8($8 \mu\text{g}$)은 이들 지역에 비해 20% 정도밖에

되지 않아 조사점에 따라 Mn 부하량의 기복이 심하였다. 참굴의 Mn 부하량은 진주담치보다도 훨씬 커서 42~58 μg 의 높은 값을 나타냈다.

진주담치의 지역별 Fe 부하량은 여수(1430 μg)가 가장 높고 임원(180 μg)이 가장 낮았으며 진해만에서는 St. 9(1170 μg)가 단연 높아서 부하량이 비교적 낮은 St. 4(170 μg)에 비하면 7배 이상이나 높았다. 참굴의 Fe 부하량 역시 St. 9(1500 μg)가 타 조사점에 비해 월등히 높았다.

패류의 무게와 중금속부하량과의 관계를 밝히기 위해서는 생물의 무게와 물질대사(metabolism)와의 관계식을 이용할 수 있다(Boyden 1974).

$$Y = aW^b \dots\dots\dots (1)$$

(1)식에서 Y는 패류 개체당 중금속부하량이고 W는 패류 개체의 무게이며 a와 b는 정수(定數)이다. b=1일때 패류의 중금속부하량은 그 무게에 비례하게 되며, b < 1일때는 무게가 작은 패류가 무게가 큰 패류에 비해 체내의 중금속 농축속도(metal accumulating rate)가 빠르고, 반대로 b > 1일때는 무게가 큰 패류가 작은 패류보다 체내의 중금속 농축속도가 빠름을 나타내고 있다. (1)식의 양변에 상용대수를 취하고 정리하면 다음 식을 얻게 된다.

$$\log Y = \log a + b \log W \dots\dots\dots (2)$$

정수 a, b는 log Y를 log W에 대해 도식(圖式)하여 얻을 수 있다.

동해안의 임원, 반월, 여수, 진해만등을 포함하여 본 조사에서 나타난 진주담치의 건중량무게(Table 7)에 대한 중금속부하량(Table 9)을 그림으로 나타내면 Fig. 4a~4d와 같다. 그림에서 진주담치의 개체당 중금속부하량($\mu\text{g}/\text{individual}$)은 풀(pool)의 총부하량을 개체당 평균치로 계산한 값이다. Fig. 4에 나타난 정수 a와 b는 각각 Cd가 1.89와 0.99, Cr이 2.56과 0.97, Cu가 5.30과 0.92, 그리고 Zn이 71과 0.84이다. 따라서 이 결과를 놓고 볼때 Cd, Cr, Cu 등은 정수 b 값이 거의 1에 가까우므로 부하량이 대체로 진주담치의 무게에 비례한다고 보겠고 Zn은 무게가 작은 진주담치의 체내에 보다 빠른 속도로 농축된다고 볼 수 있다.

이 밖에 Pb, Mn, Fe 등에서는 부하량이 진주담치무게와 별다른 관계가 없었다.

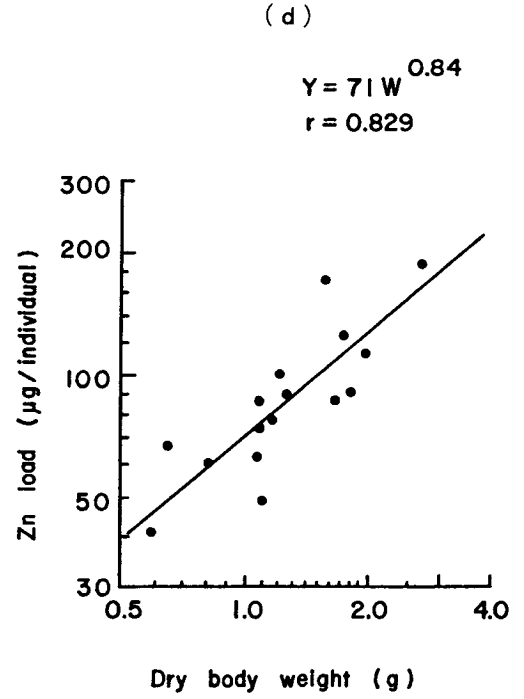
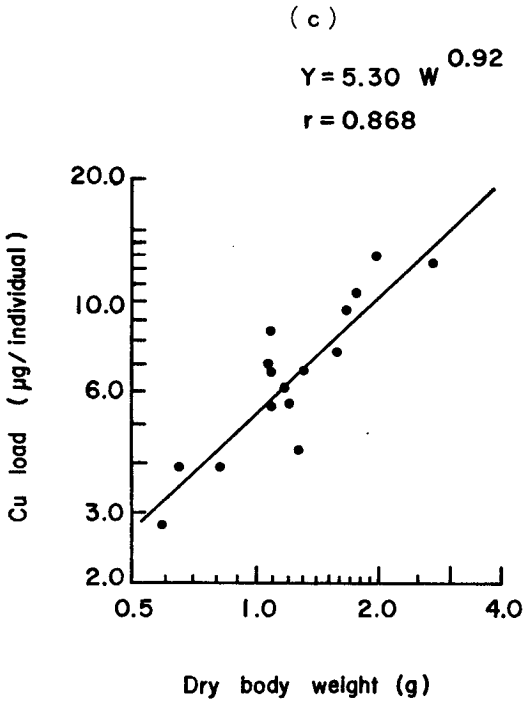
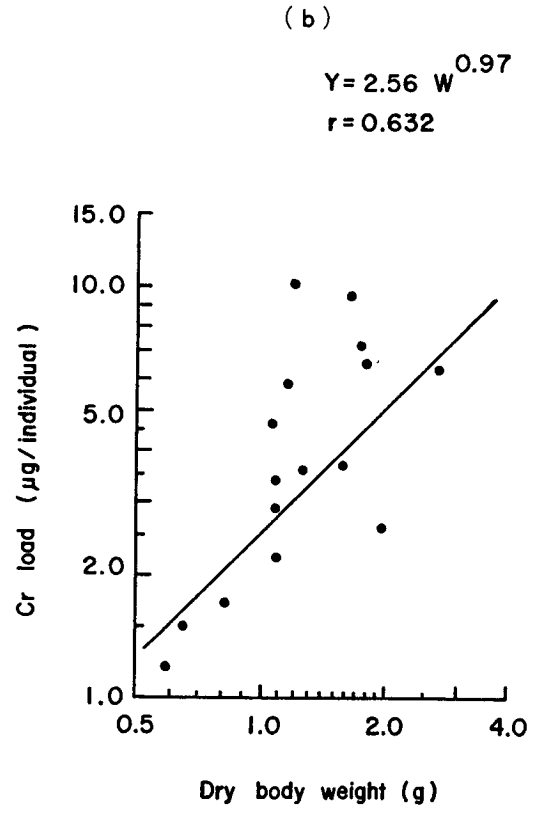
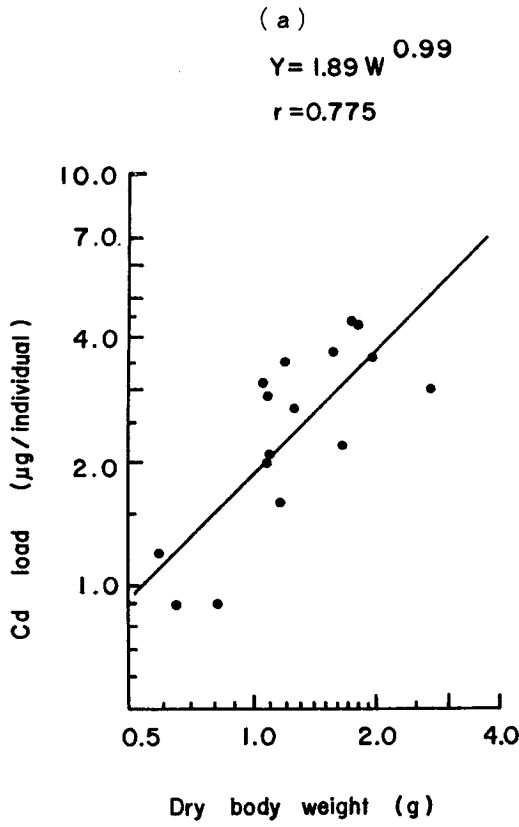


Fig.4. Relationships of heavy metal loads to body weights for cadmium, chromium, copper, and zinc in mussels, *Mytilus edulis*

6. 진주담치 및 참굴의 重金屬 濃縮係數(concentration factor)

생물에 의한 중금속의 농축은 먹이사슬(food chain)을 통하여 이루어지기 때문에 중금속에 의한 만성중독과 밀접한 관계가 있다. 그런데 진주담치와 참굴은 거름식 攝食者(filter feeders)로서 많은 양의 해수와 플랑크톤을 먹이로 하기 때문에 이들 패류의 중금속 농축계수는 일반적으로 상당히 높게 나타난다.

본 조사에서는 해수중의 용존성 중금속농도에 대한 진주담치 및 참굴생체의 농축계수를 계산하였다. 농축계수 계산에 이용한 해수중의 용존성 중금속농도와 진주담치 및 참굴생체중의 중금속농도는 진해만의 St. 9를 제외하고는 1982년 3월 조사에서 얻은 측정결과를 사용하였다. 단 1회의 조사결과만을 토대로 농축계수를 측정하는 것은 다소 무리가 따르는 일이겠으나 대략적인 계수는 파악된다고 보겠다. 본 조사에서 얻어진 진주담치 및 참굴생체의 농축계수가 Table 10에 나와 있다.

Table 10. Concentration factors*of heavy metals in mussel(*Mytilus edulis*) and oyster (*Crassostrea gigas*) in Yeosu and Jinhae Bay.

Sampling site	Sampling time	Species	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
Yeosu	Mar. '82	Mussel	5,600	7,200	2,300	900	7,600
Jinhae Bay							
St. 1	Mar. '82	Mussel	5,200	900	1,900	500	1,400
St. 2	Mar. '82	"	11,300	2,400	2,700	600	3,200
St. 3	Mar. '82	"	-	-	-	-	-
St. 4	Mar. '82	"	3,000	2,700	2,200	300	2,000
St. 5	Mar. '82	"	7,900	900	2,900	2,100	1,400
St. 6	Mar. '82	"	2,900	1,300	3,600	700	2,600
St. 7	Mar. '82	"	18,000	2,700	3,300	1,700	6,300
St. 8	Mar. '82	"	28,600	7,000	2,200	800	7,100
St. 9	Nov. '81	"	20,900	-	7,200	1,000	16,600
St. 7	Mar. '82	Oyster	9,300	1,200	13,100	200	3,700
St. 8	Mar. '82	"	50,000	3,300	12,600	300	5,900
St. 9	Nov. '81	"	28,000	-	29,200	700	56,900

* Values shown are in μg metal per kg dry weight organism divided by μg dissolved metal per liter seawater.

Table 10에서 보는 바와 같이 해수중의 용존성 Cd 농도에 대한 진주담치생체의 농축계수는 진해만이 평균 12,200으로 여수의 5,600에 비해 두배이상 높으며 진해만에서는 St. 7, 8, 9 등이 18,000~28,600 (평균 22,500)의 비교적 높은 값을 나타냈다. 이 3개 조사점에서만 조사한 참굴의 농축계수는 9,300~50,000 (평균 29,100)으로 진주담치의 농축계수보다도 높다. 해수중의 용존성 Cd 농도에 대한 연체동물 (mollusks)의 농축계수는 평균 $10^3 \sim 10^4$ (Phillips 1980)으로서 본 조사에서 나타난 진주담치의 평균 농축계수는 대체로 이 범위내에 들지만 참굴은 이 값보다도 높은 편이라 하겠다.

Cr의 농축계수는 진해만의 경우 진주담치가 평균 2,600, 참굴이 2,300으로 비슷하며 여수는 진주담치가 7,200으로 진해만에 비해 3배가까이 높다. 진주담치의 Cu 농축계수는 진해만이 평균 3,300, 여수가 2,300으로 진해만이 높으며 참굴은 평균 18,300으로 진해만의 진주담치보다 5배이상이나 높다. 조사점별로는 St. 9가 진주담치(7,200)와 참굴(29,200) 모두 타 조사점보다 월등히 높게 나타났다. Pringle *et al.*(1968)이 조사한 진주담치와 참굴의 Cu 농축계수는 각각 1,150과 14,800으로 진주담치는 본 조사값보다 낮은 반면 참굴은 St. 9를 제외하고는 대체로 비슷한 값이다.

Pb의 경우는 다른 중금속들과는 달리 농축계수가 매우 낮아서 진주담치는 300~2,100, 참굴은 200~700밖에 되지 않았다. 지역별로는 여수(900)와 진해만(평균 1,000)이 비슷하며 진해만에서는 진동만의 St. 5(2,100)와 칠천수도의 St. 7(1,700)등이 약간 높을 뿐 나머지 조사점들은 1,000이하의 농축계수를 나타냈다. Zn의 농축계수는 진주담치의 경우 여수가 7,600, 진해만이 평균 5,100으로 여수가 높으며 진해만에서는 St. 9가 16,600으로 타 조사점보다 월등히 높는데 이 조사점에서는 참굴의 농축계수도 56,900으로 매우 높은 값을 나타냈다.

7. 진주담치生체와 껍질의 重金屬含量比

진주담치껍질중의 중금속은 대부분 껍질형성과 성장과정에서 생체로부터 얻어진 것이므로 껍질중의 중금속 함량은 해수 및 해저퇴적물등 주변 환경의 중금속 함량과 더불어 생체중의 중금속 함량과도 밀접한 관계를 갖게 된다. 이러한 의미에서도 생체와 껍질중의 중금속 함량비는 진주담치의 중금속 특성을 규명하는데 큰 도움이 될 수 있다.

본 조사에서 얻어진 진주담치생체와 껍질의 중금속 함량비가 Table 11에 나와 있다. 본 조사에서 나타난 것을 보면 전반적으로 진주담치생체중의 중금속 함량이 껍질중의 중금속 함량보다 높았다(Table 11). 특이한 것은 동해안 임원지역의 자연산 진주담치의 함량비가 Cd(16)와 Pb(1.1)에서는 전 조사점을 통해 가장 낮은 반면 Cr(275)과 Cu(11.6)에서는 가장 높게 나타난 점이다. 지역적인 함량비의 특성 역시 동해안의 임원을 제외하고는 반월, 여수, 진해만이 대체로 비슷한 경향을 보이고 있는데 이 것은 아마도 자연산과 양식 진주담치의 차이에서 오는 것

Table 11. Ratios of metal concentrations in soft tissues to those in shells of mussel, *M. edulis*

Sampling site	Sampling time	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
Imweon	Oct. '81	16	275	11.6	1.1	174	
Banweol	Apr. '82	61	61	3.4	3.1	65	
Yeosu	Mar. '82	109	77	2.2	2.7	77	
Jinhae Bay	St. 1	Oct. '81	39	18	2.0	5.3	153
		Mar. '82	92	164	2.7	1.4	203
	St. 2	Nov. '81	54	14	2.2	5.0	113
		Mar. '82	120	37	4.4	2.1	94
	St. 3	Mar. '82	34	165	3.3	2.3	108
		Nov. '81	153	105	2.5	3.3	488
	St. 4	Feb. '82	48	100	3.0	1.2	54
		Mar. '82	65	95	3.2	0.8	153
		Mar. '82	112	39	3.3	10.9	57
	St. 6	Mar. '82	60	39	4.1	2.4	46
	St. 7	Mar. '82	135	45	4.0	6.5	111
	St. 8	Mar. '82	143	65	2.7	2.1	54
	St. 9	Nov. '81	153	74	3.8	11.0	415

같다. 진주담치의 성장과 중금속 함량비를 연관시켜 보면 Cu 는 성장과 함께 함량비도 증가하는 경향을 보였고 반대로 Pb 는 함량비가 감소하는 추세를 나타냈으며 Cd 와 Cr 은 마산만에서는 (St. 1 과 2) 증가한 반면 실리도 부근에서는 (St. 4) 감소하는 경향을 나타냈다.

타 조사결과에서 나타난 진주담치생체와 껍질중의 중금속 함량비를 볼때, Bertine and Goldberg (1972) 가 Belgium 의 Nieuport 에서 조사한 진주담치의 함량비는 Zn 가 68 (생체, 40 ppm ; 껍질, 0.59 ppm), Cr 이 12 (생체, 1.23 ppm ; 껍질, 0.10 ppm)로서 아연은 본 조사의 반월과 여수지역의 함량비와 비슷하지만 Cr 은 본 조사보다 월등히 낮다. 또 Koide *et al.* (1982) 이 조사한 바로는 진주담치의 함량비가 미국 서해안에서는 Pb 가 0.2, Zn 이 7.1, Cu 가 0.5, Cd 가 6.3 이며 미국 동해안의 Narragansett Bay 에서는 Pb 가 0.7, Zn 이 2.5, Cu 가 1.3, Cd 가 20 으로서 모두 본 조사보다 낮다.

8. 統計學的 相關關係

본 조사에 나타난 여러가지 지수간의 상관관계를 계산 분석하였다. 두 변수간의 상관계수는 단순한 관계의 정도를 나타낸다. 그러나 유의성있는 상관계수라고 해서 반드시 인과관계가 있다는 것을 의미하지는 않고 다만 각 지수간의 관련성 정도를 나타내지만 지수 상호간의 관계 규명에는 큰 도움이 될 수 있다. 상관계수중에서 진주담치와 관련되는 것으로서 유의성이 95 % 이상 되는 것만 골라서 Table 12 에 나타냈는데 * 표를 한 상관계수는 유의성이 99 % 이고 나머지는 유의성이 95 % 이다.

Table 12 에서 보는 바와 같이 진주담치의 건중량 무게와 중금속 부하량간에는 상관관계가 깊는데 이 것은 진주담치의 성장에 따라 중금속의 총 함량이 증가하는 것을 의미한다. 이와 같은 관계는 다른 연체동물의 크기와 중금속함량에 있어서도 발견된 바 있다 (Boyden 1974). 반면에 진주담치의 무게와 중금속 농도사이에는

Table 12. Significant correlation coefficients among various parameters in mussels, *M. edulis*

Parameters	Correlation Coefficients ^a
Meat Weight - Metal Load ^b	Cd (0.655*), Cr (0.486) Cu (0.851*), Zn (0.827*) Mn (0.548)
Shell Weight - Shell Metal ^b	Cd (0.535), Cr (-0.652*) Cu (-0.904*)
Meat Metal - Meat Metal ^b	Zn - Mn (0.626*)
Shell Metal - Shell Metal ^b	Cd - Cu (-0.633*), Cd - Pb (0.902*) Cr - Cu (0.842*), Cu - Pb (-0.842*)
Seawater Metal - Meat Metal ^c	Pb (0.730)
Seawater Metal - Shell Metal ^c	Cd (0.863*), Cu (0.884*)
Sediment Metal - Meat Metal ^c	Zn (0.789)
Sediment Metal - Shell Metal ^c	Cr (0.891*)

a Numbers with * are significant at the 99% level, whereas others are significant at the 95% level.

b Degrees of freedom = 15.

c Degrees of freedom = 7.

별다른 상관관계가 없었다. 또 진주담치 껍질중의 Cd, Cr, Cu 농도는 껍질무게와 상관관계가 있음을 나타냈는데 Cd 농도는 껍질무게에 비례하여 증가하지만 Cr 와 Cu 는 반대로 껍질무게가 증가함에 따라 농도가 감소하는 상관관계를 나타냈다.

진주담치 생체에서는 Zn - Mn 농도 사이에서만 상관관계를 보였을뿐 기타의 중금속들 사이에서는 전혀 유의성있는 상관관계가 없었다. 그러나 껍질에서는 Cd - Cu, Cd - Pb, Cr - Cu, Cu - Pb 등 사이에 깊은 상관관계를 나타냈다. 이와 같이

진주담치 껍질에서 중금속 상호간에 상관관계가 큰데 반해 생체에서 상관관계가 작은 것은 중금속의 생물학적 반감기 (biological half-life)가 생체에서 보다는 껍질에서 길며 껍질형성과 껍질의 중금속 농축속도가 생체와 해수 및 해저퇴적물등 주변환경과의 중금속 교환시간보다 느리고 또 생체중에서는 중금속의 생화학적 행동 (biochemical behavior)이 제각기 다른 데에 기인하는 것으로 알려지고 있다 (Koide *et al.* 1982).

그 밖의 지수간의 상관관계를 보면 해수중의 Pb와 진주담치 생체중의 Pb 함량 (0.730*), 해저퇴적물중의 Zn와 진주담치 생체중의 Zn 함량 (0.789), 해수중의 Cd와 진주담치 껍질중의 Cd 함량 (0.863*), 해수중의 Cu와 진주담치 껍질중의 Cu 함량 (0.884*), 그리고 해저퇴적물중의 Cr과 진주담치 껍질중의 Cr 함량 (0.891*) 등이 상관관계를 보였을뿐 그 외에는 별다른 관계를 보이지 않았다. 그런데 해수의 Cu 및 Pb 농도와 底棲藻類 (benthic algae)의 이들 중금속 농도사이의 유의성있는 상관관계가 있음은 보고된 바 있다 (Seeliger and Edwards 1977).

第 2 節 진주담치중의 PCB含量

1. 진주담치중의 PCB分析方法

진주담치 시료는 냉동된 것을 실온에서 녹인 후 껍질에 묻은 더러운 것들을 수도물로 깨끗이 닦아 내고 껍질속에 들어 있던 해수는 따라버린 다음 스테인레스 칼로 제각 (除殼)하였다. 푸울 (pool) 당 150g 정도의 진주담치 시료를 균질기 (homogenizer)로 완전히 균질화 시킨 후 각각 50g씩 두 시료를 취하여 이중 한 시료는 회수율 (recovery)을 보기 위해 PCB 표준시약 (Aroclor 1254, 4.74 ppm)을 5ml 가하고, 나머지 한 시료는 직접 실험에 사용하였다. 진주담치 시료의 PCB 분석을 위한 전처리 방법 및 Gas Chromatography는 대체로 AOAC 방법을 따랐는데 그 처리과정은 다음과 같다 (AOAC 1980).

1) 용매추출

시료 50 g 에다 수분제거와 응고방지를 위해 150 g 의 황산나트륨을 가하고 고속분쇄기의 속도를 변화시켜 가며 완전히 혼합한 후 350 ml 의 석유 에테르를 사용하여 세번 (150 ml , 100 ml , 100 ml) 에 걸쳐 시료중의 지방을 추출해 냈다. 이 때 회수율을 보기 위한 시료에는 표준시약을 가했다.

이 추출액을 황산나트륨관 (200×33mm ID , 황산나트륨 두께 30mm) 에 통과시켜 수분을 제거하고 rotary evaporator 를 사용하여 수조의 온도를 30°C 로 유지하면서 석유 에테르를 완전히 증발시켰다. 여기에 15 ml 의 석유 에테르를 가해 지방 (lipid) 을 녹이고 이 것을 125 ml 분별깔대기에 옮긴 후 석유 에테르로 포화된 아세트나이트릴 30 ml 로 용매 추출을 하였다. 다시 아세트나이트릴층은 1ℓ 분별깔대기에 옮기고 석유 에테르층은 위의 추출과정을 세번 더 되풀이 한 후 그때마다 얻은 아세트나이트릴층은 모두 한 1ℓ 분별깔대기에 모았다. 위의 추출과정에서 125 ml 분별깔때기는 1분정도 격렬히 흔들어 주었다.

아세트나이트릴층을 모은 1ℓ 분별깔대기에 650 ml 의 증류수, 40 ml 의 포화 염수와 100 ml 의 석유 에테르를 넣고 격렬히 흔들어 주었다. 아세트나이트릴과 물의 혼합층은 다른 1ℓ 분별깔대기에 옮겨서 100 ml 의 석유에테르를 가해 다시 한번 추출하고 두 1ℓ 분별깔대기로부터 석유에테르층을 모았다. 이 석유에테르층을 증류수 200 ml 로 두번 (100 ml , 100 ml) 에 걸쳐 닦아 준 후 황산나트륨관을 통과시켜 수분을 제거하였다.

이 추출과정은 많은 지방을 제거하는데는 효율적이거나 일부 색소와 극성 지방 (Polar lipid) 은 아직 남아있으므로 Florisil 정제를 해주어야 한다 (Hammarstrand 1976) . Florisil 정제를 위해서는 rotary evaporator 를 사용하여 수온을 30°C 로 유지하면서 석유에테르 추출액을 약 10 ml 정도까지 농축하였다.

2) Florisil 정제

위의 전처리를 통해 10 ml 정도로 농축한 추출액을 Florisil 관에 부었다.

Florisil 관은 유리관 (400 × 22 mm ID) 에 50 mm 두께로 florisil (60~100 mesh) 을 채우고 그 위에 두께 10 mm 의 황산나트륨을 채워서 만들었다. 다음에 이 Florisil 관에 에틸아테르를 6 % 포함하고 있는 석유에테르 200 ml 로서 용리 (elution) 시켰다. 이때 용리속도는 5 ml/min 이하를 유지하였다. 이 용출액 (eluate) 에는 일반적인 염소화농약인 알드린, DDT, DDE , 헵타클로, 린단등과 함께 PCB 가 포함되어 있다 (Hammastrand 1976). 이 용출액을 rotary evaporator 를 사용하여 약 5 ml 정도로 농축시키고 다음 단계인 Silica gel 정제를 통해서 여러가지 염소화 농약을 제거하여 PCB 를 분리하였다.

3) Silica gel 정제

위의 농축액을 유리관 (400 × 22 mm ID) 에 20 g 의 100~200 mesh silica gel 을 채운 관에 헥산 (hexane) 200 ml 로 용리시켰다. 이 용출액을 gas chromatograph 로 분석할 수 있도록 rotary evaporator 를 사용하여 수조의 온도를 30°C 로 유지하면서 5 ml 로 농축시켰다.

4) Gas chromatography

PCB 분석을 위한 Hewlett Packard # 5840 Gas Chromatograph 의 조작 조건은 Table 13 과 같다.

Table 13: Gas chromatographic conditions for PCB analysis.

- | | |
|-------|---|
| i) | Column : 5 ft × 2 mm ID glass column,
5% OV-17 Chromosorb W A/W (60-80 mesh) |
| ii) | Detector : Ni ⁶³ electron capture detector |
| iii) | Detector temp. : 300°C |
| iv) | Carrier gas : argon-methane (90:10) gas |
| v) | Gas flow rate : 35 ml/min |
| vi) | Injection temp. : 245°C |
| vii) | Oven temp. : 215°C |
| viii) | Attenuation : 2 ⁶ |
| ix) | Injection sample volume : 1-5 μl |

2. 진주담치중의 PCB含量

본 실험에서 얻은 진주담치 시료의 Chromatogram은 모두 Fig. 5와 같은 양상을 보였고 또 PCB농도는 시료(5 $\mu\ell$) 크로마토그램의 peak area 총합과 표준물질(Aroclor 1254, 4.74 ppm, 5 $\mu\ell$) 크로마토그램의 peak area 총합의 비율로부터 구해서 습중량의 $\mu\text{g/g}$ 농도로 나타냈다. 본 조사에서 측정된 여수 및 진해만의 진주담치중의 PCB 함량이 Table 14에 나와 있다. 또한 Fig. 6은 표준물질의 크로마토그램이며 Table 15는 중요 peak의 머뭇시간(retention time), peak area 및 전체 peak area에 대한 각 area의 백분율을 나타낸 것이다. 한편 회수율을 보기 위한 시료의 크로마토그램은 모두 Fig. 7과 같은 양상을 보였고 회수율은 시료(5 $\mu\ell$) 크로마토그램의 peak area 총합과 표준물질(5 $\mu\ell$) 크로마토그램의 peak area 총합의 비율로부터 계산해 냈는데 평균 회수율(%)은 58.6 ± 15.1 이었다(Table 14). Table 16에는 중요 peak의 머뭇시간, peak area, 그리고 전체 peak area에 대한 각 area의 백분율을 나타냈다.

본 조사에서 나타난 진주담치중의 PCB농도는 모두 0.01 $\mu\text{g/g}$ 이하로 매우 낮은 값을 보였는데 타 조사결과를 보면 Risebrough et al. (1980)이 미국 Southern California Bight에서 조사한 담치(*Mytilus californianus*)중의 PCB함량은 조사점에 따라 0.006~0.440 $\mu\text{g/g}$. (습중량)의 다양한 함량을 나타냈다.

Table 14. Results of gas chromatographic analysis and recovery test for PCB residues in mussels, *Mytilus edulis*

Sampling site	Sampling time	Recovery of Aroclor 1254 (%)	PCB concentration ($\mu\text{g/g}$ wet weight)
Yeosu (South Coast)	Mar. '82	62.2	≤ 0.01
Jinhae Bay (South Coast)			
St. 1	Oct. '81	71.7	≤ 0.01
	Mar. '82	76.5	≤ 0.01
St. 3	Mar. '82	57.4	≤ 0.01
St. 4	Nov. '81	72.2	≤ 0.01
	Mar. '82	33.4	≤ 0.01
St. 8	Mar. '82	43.0	≤ 0.01
St. 9	Nov. '81	52.6	≤ 0.01
Mean		58.6	

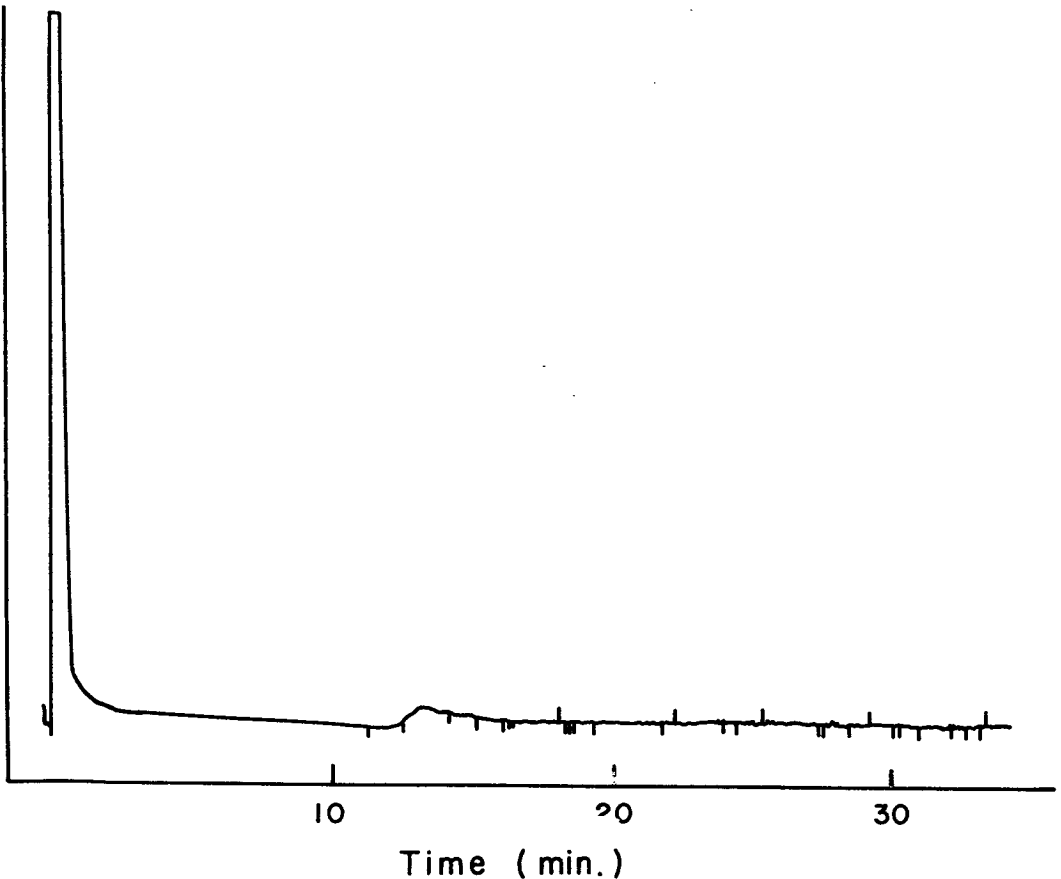
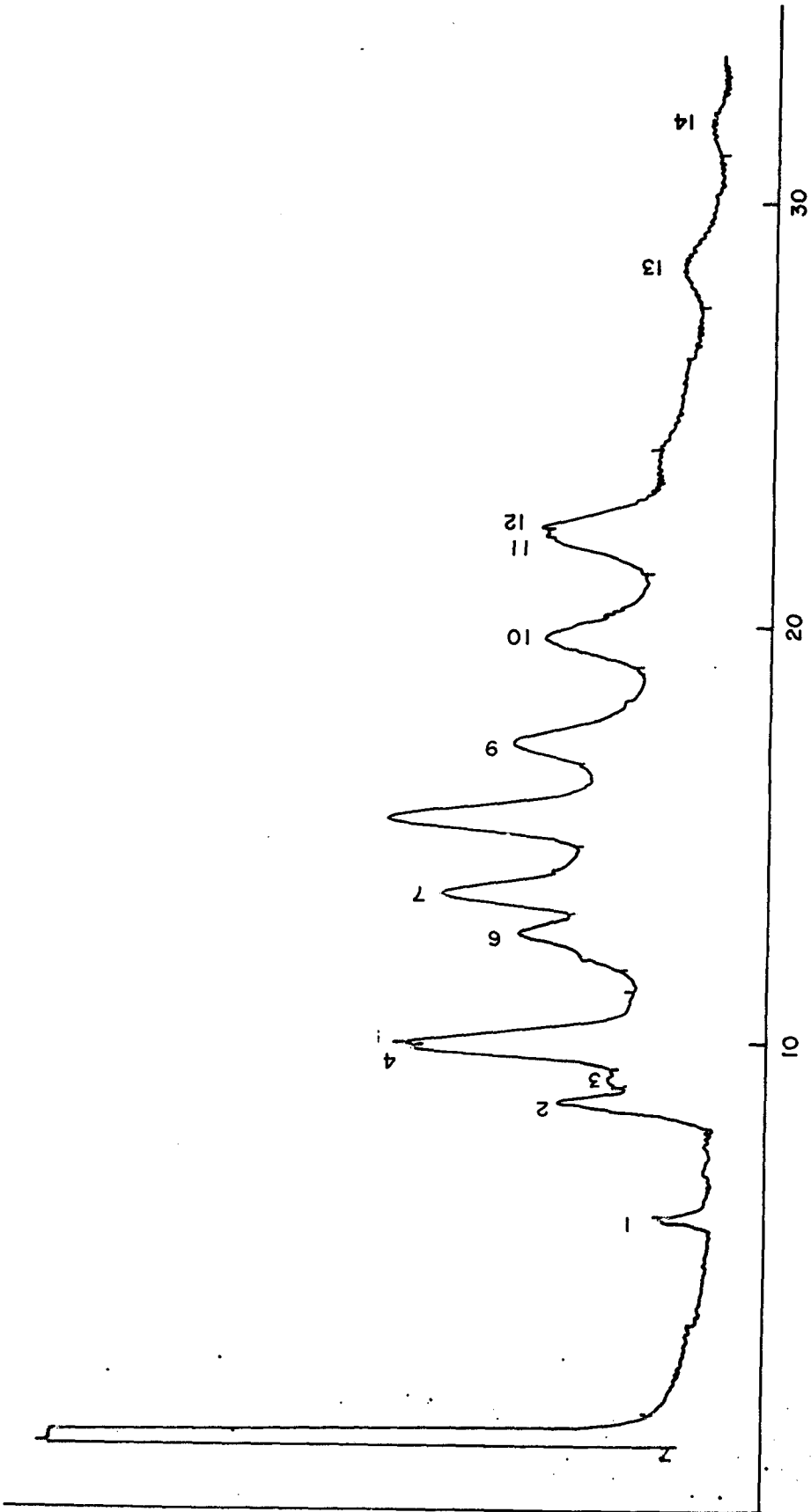


Fig. 5. A chromatogram of a sample from Yeosu.



Time (min.)

Fig. 6. A chromatogram of a PCB standard, Aroclor 1254.

Table 15. Gas chromatographic data of a PCB standard, Aracolor 1244.

Peak No.	Retention time(minute)	Area (unit)	Area (%)
1	5.73	4.5	0.27
2	8.55	40.3	2.40
3	9.11	5.1	0.30
4	9.92	110.5	6.60
5	10.00	124.1	7.41
6	12.69	140.9	8.42
7	13.60	267.5	15.98
8	15.36	346.5	20.69
9	17.17	218.5	13.05
10	19.69	160.5	9.59
11	22.13	106.3	6.35
12	22.35	79.8	4.76
13	28.40	45.5	2.72
14	31.86	24.2	1.44

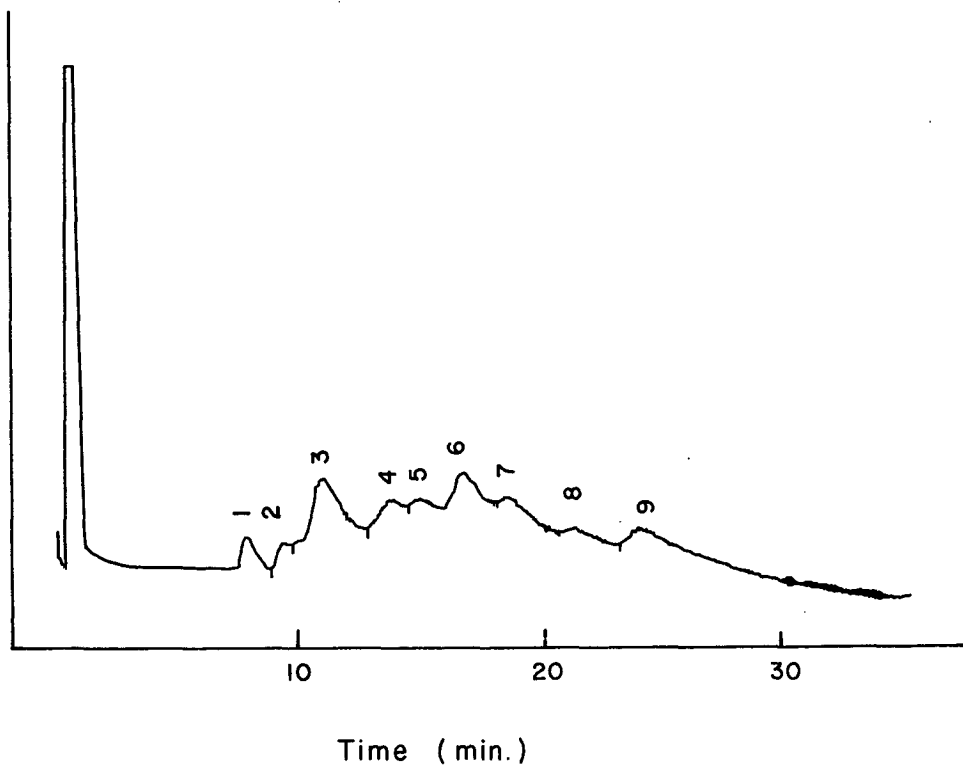


Fig.7. A chromatogram of a standard-added sample from Yeosu.

Table 16. Gas chromatographic data of PCB's in a mussel extract with addition of Aroclor 1254.

Peak No.	Retention time (minute)	Area (unit)	Area (%)
1	8.53	6.6	1.61
2	9.10	4.7	1.16
3	12.68	58.2	14.28
4	13.60	32.4	7.96
5	15.34	42.1	10.32
6	17.15	60.9	14.95
7	19.70	59.8	14.67
8	22.20	41.6	10.20
9	24.10	101.3	24.85

第Ⅳ章 結 論

진주담치 (*Mytilus edulis*) 및 참굴 (*Crassostrea gigas*)을 지표생물로 하여 연안해역의 중금속과 PCB 오염도 측정에 관한 제반 연구조사를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

원자흡수분광법을 이용하여 담치나 굴등 지표생물 생체중의 중금속 분석을 위한 시료의 전처리법으로는 기존의 건성회화법 (dry ash digestion)을 변형시킨 변형건성회화법 (modified dry ash digestion)을 만들어 이 방법과 기존 건성회화법, $\text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O}_2$ 와 HNO_3 습성회화법 (wet ash digestion), 그리고 HNO_3 추출법 등과의 차이점을 조사하였다. 그 결과 변형건성회화법은 기존건성회화법과 측정결과가 잘 일치하였으며 습성회화법과는 중금속에 따라 다소의 차이를 보였으나 그 차이가 Cd를 제외하고는 대부분 10% 미만이었다. 그러나 HNO_3 추출법과는 Pb, Zn 등의 측정에서 큰 차이가 있었으며 회수율과 재현성으로 보아 변형건성회화법이 가장 적당한 것으로 나타났다.

진주담치 생체중의 중금속 측정을 위해서는 시료채취시 시료를 깨끗한 해수에 담가두어 진주담치 내장에 들어있던 플랑크톤류의 먹이찌꺼기나 해저퇴적물등을 체외로 배설시키는게 좋은데 이 청장기간 (depuration period)은 중금속에 따라 약간의 차이를 보였지만 전반적으로 볼 때 48시간 정도가 적절하였다.

우리나라 각 연안의 진주담치 및 참굴중의 중금속함량 조사에서는 해수와 해저퇴적물중의 중금속함량도 함께 조사하였는데 해수에서는 Cd, Cr, Cu, Pb, Zn 등 5가지를 그리고 해저퇴적물에서는 Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn 등 9가지 중금속을 측정 조사하였다. 해수는 대체로 표층이 저층보다 높고 용존성분이 입자성분보다 높았으며, Cd, Cr, Cu, Zn 등은 마산만이 다른 연안해역보다 다소 높게 나타났다. 해저퇴적물 조사에서는 Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr 등이 마산만의 St. 2에서 대체로 높게 나타났고 Cd는 여수 (1.0 ppm)와 진해만 (1.1 ppm)이 해저퇴적물의 평균농도인 0.17 ppm에 비해 6배정도 높는데 이

것은 연안지역의 산업활동과 관련이 깊은 것으로 생각된다.

진주담치 및 참굴 생체에서는 Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn 등 7가지 중금속을 측정하였고 진주담치 껍질에서는 Mn 과 Fe 를 제외한 5가지 중금속을 조사하였다. 진주담치 생체의 중금속 측정결과를 보면 Cd 는 전 조사지역이 1.8~2.9 ppm 의 함량분포를 보였고, Cr 은 충무와 진해만이 2.3~2.4 ppm 인데 비해 동해안의 임원, 반월, 여수는 3.6~4.4 ppm 으로 약간 높았다. Cu는 임원, 반월, 충무, 진해만이 4.7~6.6 ppm 의 함량분포를 나타냈으며 여수는 3.7 ppm 으로 가장 낮았다. Pb 는 반월이 0.65 ppm 으로 가장 낮고 기타 지역은 1.05~1.14 ppm 이었으며 Zn 은 대부분의 지역이 50~72 ppm 의 함량분포를 보였다. Fe는 임원이 170 ppm 으로 가장 낮고 여수가 790 ppm 으로 가장 높으며 반월과 진해만은 420~430 ppm 이었다. 진주담치 껍질중의 중금속함량은 임원지역이 Cd, Pb 등은 조사지역중 가장 높고 반대로 Cr, Cu, Zn 등은 가장 낮았다. 참굴 생체중의 중금속 함량조사는 진해만의 St. 7, 8, 9 에서만 실시하였는데 Cr, Pb, Zn, Fe 등은 St. 9 가 타 조사점보다 월등히 높았다.

진주담치 생체중의 중금속함량은 대체로 진주담치가 성장함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈으나 껍질중의 중금속함량은 마산만의 조사점에서만 이런 경향을 나타냈다. 진주담치 생체중의 Pb, Zn, Mn, Fe 는 전 조사점에서 성장도에 따른 함량감소가 뚜렷하였으나 Cd, Cr, Cu 는 조사점에 따라 변화가 심하였다. 특히 생체중의 Cu 는 진주담치가 이 원소를 섭취하는 과정에서 수온, 염분 및 타 중금속함량등에 따라 큰 영향을 받기 때문에 계절이나 성장도에 따른 변화가 전혀 불규칙하여 Cu 지표생물로서는 적합치 않은 것 같으며 이와 같은 현상은 Cr 에서도 나타나고 있다. 그러나 껍질의 경우 마산만에서는 진주담치성장에 따른 중금속의 함량감소가 뚜렷이 나타났다.

해수중의 용존성 중금속 농도에 대한 진주담치 및 참굴 생체의 농축계수를 보면 Cd 는 진주담치 생체의 농축계수가 진해만이 12,200 으로 여수의 5,600 에 비해 두 배 이상 높으며 진해만내에서는 St. 7, 8, 9 등이 18,000~28,600(평균 22,500)

의 높은 값을 나타냈다. 이 세 조사점에서만 조사한 참굴의 농축계수는 9,300 ~ 50,000 (평균 29,100)으로 진주담치보다 높다. Cr은 진해만의 경우 진주담치가 평균 2,600, 참굴이 2,300으로 비슷하며 여수는 진주담치가 7,200으로 진해만에 비해 3배 가까이 높다. Cu는 진주담치의 경우 진해만이 3,300, 여수가 2,300으로 나타났으며 참굴은 18,300으로 진주담치보다 5.5배나 높았다. Pb는 다른 중금속들과는 달리 농축계수가 매우 낮아서 진주담치는 300 ~ 2,100, 참굴은 200 ~ 700 밖에 되지 않았다. 지역별로는 여수(900)와 진해만(1000)이 비슷하며 진해만에서는 진동만의 St. 5(2,100)와 七川水道の St. 7(1,700) 등이 약간 높을 뿐 나머지 조사점들은 1,000 이하의 농축계수를 나타냈다. Zn의 농축계수는 진주담치의 경우 여수가 7,600, 진해만이 5,100이며 진해만에서는 St. 9가 16,600으로 타 조사점보다 높는데 이 조사점에서는 참굴의 Zn 농축계수도 56,900으로 매우 높았다.

진주담치 생체와 껍질중의 중금속함량비는 대부분 1을 초과하므로써 생체중의 중금속함량이 껍질중의 중금속함량보다 높았으며 또 전 조사점을 통해 임원지역의 자연산 진주담치의 함량비가 Cd(16), Pb(1.1)에서는 가장 낮고 Cr(275), Cu(11.6)에서는 가장 높았다. 진주담치의 성장도와 중금속함량비를 연관시켜 보면 Cu는 성장도에 따라 함량비가 증가하는 반면 Pb는 감소하였으며 Cd와 Cr은 마산만에서 증가하는데 반해 실리도 부근(St. 4)에서는 감소하였다.

진주담치 개체당 중금속부하량 ($\mu\text{g}/\text{individual}$)은 Cd의 경우 임원, 반월, 여수, 충무등이 3.1 ~ 4.4 μg 이고 진해만은 2.5 μg 으로 다소 낮으며 Cr은 반월과 여수가 각각 7.2 μg 과 6.5 μg 을 나타냈을 뿐 기타 지역들은 3.7 ~ 4.7 μg 의 부하량을 보였다. Cu는 반월이 10.4 μg 으로 가장 높고 나머지는 6.7 ~ 7.8 μg 이었으며 Pb는 대부분의 지역들이 1.1 ~ 2.1 μg 으로 비슷하였다. Zn은 임원이 63 μg 의 부하량을 나타냈을 뿐 나머지 지역들은 91 ~ 171 μg 의 부하량을 보였고 Mn은 임원이 6 μg , 진해만이 17 μg 으로 비교적 낮고 기타 지역들은 31 ~ 34 μg 으로 진해만이나 임원에 비해 2 ~ 5배나 높았다. Fe는 임원이 180 μg 으로 가장

낮고 여수가 1,430 μg 으로 가장 높은 부하량을 나타냈다. 참굴의 중금속 부하량은 진주담치보다 전반적으로 높는데 Cd는 같은 해역의 진주담치보다 2배, Cu는 8배, Zn은 3배, Mn은 2.7배 정도 높았고 Cr, Pb, Fe 등은 비슷하였다.

진주담치의 무게와 중금속 부하량간에는 $Y = aW^b$ 의 관계식이 성립되며 본 조사에서 나타난 정수 a와 b의 값을 보면 Cd가 1.89와 0.99, Cr이 2.56과 0.97, Cu가 5.30과 0.92, Zn가 71과 0.84였다. 따라서 Cd, Cr, Cu는 정수 b값이 거의 1에 가까우므로 부하량이 대체로 진주담치의 무게에 비례하며 Zn는 무게가 작은 진주담치 생체에의 농축경향이 크다고 볼 수 있다. Pb, Mn, Fe 등에서는 부하량이 진주담치 무게와 별다른 관계가 없었다.

통계학적 분석결과에 의하면 진주담치의 건중량 무게와 중금속 부하량간에는 正의 상관관계가 큰데 이것은 진주담치의 성장도에 따라 중금속 부하량이 증가함을 의미한다. 그러나 진주담치 무게와 중금속 농도사이에는 별다른 상관관계가 없었다. 진주담치 생체에서는 Zn-Mn 농도사이에서만 유의성있는 상관관계를 보인데 반해 껍질에서는 Cd-Cu, Cd-Pb, Cr-Cu, Cu-Pb 사이에서 유의성있는 상관관계가 나타났는데 이처럼 진주담치 생체보다 껍질에서 중금속 상호간에 상관관계가 큰 것은 중금속의 biological half-life가 생체보다는 껍질에서 길며 껍질형성과 껍질의 중금속 농축속도가 생체와 주변환경과의 중금속 교환시간보다 느리고 또 생체중에서는 중금속의 생화학적 행동(biochemical behavior)이 제각기 다른데에 기인하는 것으로 생각된다.

진주담치의 PCB 함량을 조사하기 위하여는 석유 에테르 추출, Florisil 정제, silica gel column 정제단계등의 전처리 뒤 Gas Chromatograph의 electron capture detector 로써 측정하였다. 여수와 진해만의 PCB 함량조사에서 나타난 결과를 보면 두 지역 모두 0.01 $\mu\text{g/g}$ (wet wt.) 이하였다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 본 연구에서는 우리나라에서 처음으로 진주담치를 지표생물로 하여 연안해역의 중금속 및 PCB 오염도측정에 관해 체계적인 조사를 수행하였던 바, 진주담치가 이 목적에 적합한 지표생물임을 확인할 수 있었다.

또한 원자흡수분광법에 의한 진주담치 생체중의 중금속분석에 있어서 시료의 전처리 방법으로는 본 연구에서 개발한 변형건성회화법(變形乾性灰化法)이 처리과정이 간편하면서도 재현성이 좋은 것으로 나타났다.

따라서 본 연구결과는 장차 우리나라에서 활발히 이루어질 지표생물을 이용한 연안해역의 중금속 및 PCB 오염도측정에 있어서 귀중한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- 국립수산진흥원. 1977. 국립수산진흥원 사업보고 34: 64~67.
- 都 吉明·裴 俊雄·洪 錫. 1981. 馬山港 汚染의 綜合的 調查. 경남대학교
부설 환경연구소 研究報告, 9~33.
- 元 鍾勳. 1973. 韓國産 魚貝類中の 수은, 카드뮴, 납, 구리의 含量.
韓水誌 6: 1~19.
- 李 光雨·郭 熙相·李 壽珩·梁 東範·洪 基勳. 1980. 鎭海灣의 赤潮 및
汚染모니터링 시스템 開發을 위한 基礎研究 III. 鎭海灣의 化學的 特性.
海洋研究所 報告書, BSPE-00022-43-7.
- 李 光雨·郭 熙相·李 壽珩·梁 東範·金 銀洙·吳 在龍. 1981. 鎭海灣의
赤潮 및 汚染모니터링 시스템 開發을 위한 研究 II. 鎭海灣의 化學的 特性.
韓國科學技術院 海洋研究所 報告書, BSPE 00031-56-7.
- 이 동수·한 상준. 1978. 한국 남해동부연안 해저퇴적물중의 중금속 함량에
관한 연구. 한국해양학회지, 13: 11~16.
- 李 應昊·柳 炳浩·梁 升澤. 1975. 貝類의 加工適性 2. 바지락 重金屬
含量의 時期的 變化. 韓水誌, 8: 85~89.

- AOAC, 1980. Official Methods of Analysis of the AOAC. 13th ed., Washington, D. C., U.S.A.
- Ayling, G. M. 1974. Uptake of cadmium, zinc, copper, lead and chromium in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, grown in the Tamar River, Tasmania. Water Res. 8: 729~738.
- Bertine, K. K., and E. D. Goldberg. 1972. Trace metals in clams, mussels, and shrimp. Limnol. Oceanog. 17: 877~884.
- Bowen, H. J. M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London, U. K.
- Boyden, C. R. 1974. Trace element content and body size in molluscs. Nature 251: 311~314
- Bryan, G. W. 1976. Heavy metal contamination in the sea. Pages 185~302. In R. Johnston (ed.) Marine Pollution, Academic Press, New York.
- Carlberg, D. R. 1972. New Baltic manual with methods for sampling and analysis of physical, chemical, and biological parameters. International Council for the exploration of the sea, Charlottenlund Slot DK-2920, Charlottenlund, Denmark.
- Chow, T. J., H. G. Snyder and C. B. Snyder. 1976. Mussels as an indicator of lead pollution. The Science of the Total Environment, 6: 55~63.
- Cunningham, P. A., and M. R. Tripp. 1975. Factors affecting the accumulation and removal of mercury from tissues of the American oyster, *Crassostrea virginica*. Mar. Biol. 31: 311~319.
- Denton, G. K. W. and C. Burdon-Jones. 1981. Influence of temperature and salinity on the uptake, distribution and depuration of mercury, cadmium, and lead by the black-lip oyster *Saccostrea echinata*. Mar. Biol. 64: 317~326.
- E P A. 1976. Quality criteria for water. U S Environmental Protection Agency, EPA-440/9-76-023.
- F A O Workshop Manual. 1979. Analytical methods for measuring metals by atomic absorption spectrophotometry. FAO Workshop Manual Part 2. FIR, TPLR-79-3. Manila, Philippines.
- Giron, H.C. 1973. Comparison between dry ashing and wet digestion in the preparation of plant material for atomic absorption analysis. Atomic Absorpt. News1. 12: 28-29.
- Goldberg, E. D. 1965. Minor elements in seawater, In J. P. Riley and G. Skirrow (ed.), Chemical Oceanography, Vol. 1. Academic Press, London, U. K.

- Goldberg, E. D., M. Koide, V. Hodge, and J. Martin. 1982. U S Mussel Watch, 1977-1978 results on heavy metals and transuranics (in press).
- Goldberg, E. D., V. Hodge, M. Koide, J. Griffin, E. Gamble, O. P. Bricker, G. Matisoff, G. R. Holdren, Jr. and R. Braun. 1978a. A pollution history of Chesapeake Bay. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 1413~1425.
- Goldberg, E. D., V. T. Bowen, J. W. Farrington, G. Harvey, J. H. Martin, P. L. Parker, R. W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider and E. Gamble. 1978b. The mussel watch. *Environmental Conservation*, 5: 101~125.
- Hammarstrand, K. 1976. Gaschromatographic Analysis of Pesticides. Varian Associates. Palo Alto, California, U. S. A.
- Harnett, D. L. and J. L. Murphy. 1980. Introductory statistical analysis. 2nd(ed.) Addison-Wesley Publishing Co., Inc.
- Hung, T. C., C. Y. Kuo, and M. H. Chen. 1981. Mussel watch in Taiwan, Republic of China. (1) Bioaccumulative factors of heavy metals. Science Reports of the National Taiwan University. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 12: 67~83.
- I O C Summary Report. 1981. First session of the WESTPAC Task Team on marine pollution research and monitoring using commercially exploited shellfish as determinants. Manila, Philippines, 26-30 January 1981.
- Johansson, C. G. 1975. Digestion methods for the determination of the total content of heavy metals, *In* Manual of methods in aquatic environmental research. FAO Fisheries Technical Paper. No. 137.
- Jones, A. S. G. 1973. The concentration of copper, lead, zinc and cadmium in shallow marine sediments, Cardigan Bay(Wales). *Mar. Geol.*, 14: M1~M9.
- Koide, M., D. S. Lee, and E. D. Goldberg. 1982. Metal and transuranic records in mussel shells, byssal threads and tissues (in press).
- Lee, D. S., S. H. Lee, H. S. Kwak, and K. W. Lee. 1980. Determination of dissolved trace metals in seawater by atomic absorption spectrophotometry after concentration by Fe(III)-APDC coprecipitation. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 15: 66~70.
- Lee, S. H., D. S. Lee, E. S. Kim, H. S. Kwak, and K. W. Lee. 1981. Heavy metals in the Nagdong Estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 16: 24~30.

- National Shellfish Sanitation Program. 1975. Collection, preparation and analysis of trace metals in shellfish. US D H E W Publication No. (FDA) 76-2006.
- Nickless, G., R, Stenner, and N, Terrille. 1972. Distribution of cadmium, lead, and zinc in the Bristol Channel. Mar. Pollut. Bull., 3: 188~190.
- Phillips, D. J. H. 1976. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by Zn, Cd, Pb, and Cu. I. Effects of environmental variables on uptake of metals. Mar. Biol., 38: 59~69.
- Phillips, D. J. H. 1977a. Effects of salinity on the net uptake of zinc by the common mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., 41: 79~88.
- Phillips, D. J. H. 1977b. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. I. Zinc and Cadmium. Mar. Biol., 43: 283~291.
- Phillips, D. J. H. 1977c. The use of biological indicator organisms to monitor trace metals pollution in marine and environments. - a review. Environ. Pollut., 13: 281~317.
- Phillips, D. J. H. 1978. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. I. Lead, iron, manganese. Mar. Biol., 46: 146~156.
- Phillips, D. J. H. 1979. The rock oyster *Caccostrea glomerata* as an indicator of trace metals in Hong Kong. Mar. Biol., 53: 353~360.
- Phillips, D. J. H. 1980. Toxicity and accumulation of cadmium in marine and estuarine biota. Pages 425-569 In J.R. Nriagu (ed.), Cadmium in the environment. Wiley-Interscience, New York.
- Pringle, B. H., D. E. Hissong, E. L. Katz, and S. T. Mulawka. 1968. Trace metal accumulation by estuarine mollusks. J. Sanit. Eng. Div., 94SA3: 455~475.
- Risebrough, R. W. *et al.* 1980. Patterns of hydrocarbon contamination in California coastal waters. Pages 33~40 In J. Albraiges (ed.), Analytical techniques in environmental chemistry, Pergamon press, Oxford, U. K.
- Ritter, C. J., S. C. Bergman, C. R. Cothorn and E. E. Zamierowski. 1978. Comparison of sample preparation techniques for atomic absorption analysis of sewage sludge and soil. Atomic Absorpt. Newsl., 17: 70~72.

- Roth, I., and H. Hornung. 1977. Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean coastal area, Israel. *Environ. Sci. and Tech.*, 11: 265~269.
- Seeliger, U., and P. Edwards. 1977. Correlation coefficients and concentration factors of copper and lead in seawater and benthic algae. *Mar. Poll. Bull.*, 8: 16~19.
- Weiss, R. F. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Res.*, 17: 721~735.
- Zimmermann, C., M. Price, and J. Montgomery. 1977. Operation, methods and quality control of Technicon Autoanalyzer II systems for nutrient determinations in seawater. Harbor Branch Foundation Ind., Technical Report No. 11.