

한국 연안에서 Mussel(*Mytilus edulis*)의 중금속의 생물 농축

이인숙 · 송준임 · 박경숙* · 최병래** · 노분조

이화여자대학교 생물학과, 성신여자대학교

생물학과*, 성균관대학교 생물학과**

Bioaccumulation of Trace Metals by Mussel (*Mytilus edulis*) from Korean Coast

Lee, I. S., J. I. Song, K. S. Park*, B. L. Choe** and B. J. Rho

Department of Biology, Ewha Womans University.

Department of Biology, Sungsin Womans University*.

Department of Biology, Sungkyunkwan University**

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the concentrations of Cu, Pb, Zn and Cd in seawater, sediments and *Mytilus edulis* at Masan Bay, Onsan Bay, Daesan industrial complex and unpolluted area for the degree of contamination on the coast of Korea.

The concentrations of dissolved Cu, Pb, Zn and Cd in seawater showed the ranges of 0.29~0.79 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.03~0.08 $\mu\text{g}/\text{l}$, 0.19~2.01 $\mu\text{g}/\text{l}$ and 0.01~0.05 $\mu\text{g}/\text{l}$, respectively. The concentrations of Pb($p < 0.001$) and Zn($p < 0.01$) showed the significant differences between the contaminated and unpolluted area. There were the ranges of 13~55 $\mu\text{g}/\text{g}$, 26~101 $\mu\text{g}/\text{g}$, 51~263 $\mu\text{g}/\text{g}$ and 0.8~2.2 $\mu\text{g}/\text{g}$ in the concentration of Cu, Pb, Zn and Cd of sediments. The concentrations of Cd were significantly different between the contaminated and unpolluted area. The concentration of Cu, Pb, Zn and Cd in the *Mytilus edulis* showed the ranges of 0.69~2.77 $\mu\text{g}/\text{g}$, 0.29~1.50 $\mu\text{g}/\text{g}$, 13.57~52.90 $\mu\text{g}/\text{g}$ and 0.09~0.85 $\mu\text{g}/\text{g}$ respectively. These concentrations of four trace metal in *Mytilus edulis* were not significantly different with sites.

Trace metal contents of *Mytilus edulis* in the contaminated site were similar to those in the unpolluted area. This is thought that metal concentration in coastal seawater were not relatively serious.

Key words: Bioaccumulation, *Mytilus edulis*, Seawater, Sediment, Trace metals

* 본 연구는 1994년도 교육부의 기초과학연구소 학술연구조성비(BSRI-94-4421)로 수행된 연구 내용의 일부임.

서론

삼면이 바다로 둘러싸여 천혜의 자원을 가지고 있는 우리나라는 지난 30여년간 연안해역에 여러가지 오염원의 유입으로 그 오염도가 심화되고 있는 실정으로 해양자원의 보호를 위해 오염원의 정확한 분석과 기술의 개발이 시급하다.

연안해역의 오염도를 측정하는데에는 해수, 해저퇴적물 및 그 해역에 서식하는 생물을 이용하는 방법 등 크게 세가지로 나눌 수 있다. 해수의 수질분석을 통한 오염도 측정방법은 해수 자체가 조석이나 해류 이동에 의해 항상 유동하기 때문에 한두번의 조사만으로는 정확한 오염도 측정이 어려울 뿐만 아니라 해수 중의 대부분 오염물질 농도가 매우 낮아 고도의 분석기술을 요한다. 또한 해저퇴적물은 수년 또는 수십년 이상의 장기간에 걸친 오염물질의 퇴적을 통한 오염도 측정은 가능하지만 몇 개월 내지 1~2년 등 비교적 짧은 기간 동안에 축적된 오염도 측정에는 적당하지 않다. 더우기 해류 이동이나 조석 변화가 심한 곳에서는 난류로 인해 오염물질의 규칙적인 퇴적을 기대할 수 없다. 그러나 패류 등의 해양생물들은 일생을 통해서 활동범위가 거의 한 지역에 국한되면서 중금속, 유기화합물 또는 방사성물질 등을 생물농축시켜 오염에 대한 지표생물(indicator organisms)로 널리 이용되고 있다. 뿐만 아니라 지표생물로서 세계적으로 널리 분포되어있는 종(species)을 선택한다면 지역 또는 국가간의 오염도 비교가 충분히 가능하다. 이 방법은 해수 자체를 분석하는 것보다 측정이 용이하고 경제적이며 지표생물이 오염물질을 장기간에 걸쳐 축적하므로 단 1 회의 조사로도 오염도 측정이 가능하다.

이런 측면에서 발전된 것이 홍합감시(mussel watch)개념이다. 홍합감시는 담치류 등의 이매패류(bivalves), 굴 또는 대합(clam)과 같은 패류(shellfish)를 지표생물로 이용하여 특정해역의 오염도를 측정하는 방법이다. 미국에서는 1976년 대대적으로 mussel watch program이 시작되어 전국 연안의 담치나 굴 등을 재료생물로하여 중금속, PCB, 석유탄화수소(petroleum hydrocarbon) 및 초우라늄원소 등에 의한 오염도를 측정해오고 있으며 국제적으로 공동 연구를 수행하고자 노력하고 있다.(Goldberg *et al.* 1980) 우리나라에서는 1980년대 들어 해양연구소에서 홍합감시에 대한 연구가 시작되었다(이 등 1982).

본 연구에서는 연안 해역의 오염도를 파악하기 위해 주변도시와 공업단지로부터 오염물질의 유입량이 많은 마산만, 온산만, 대산 공업단지 및 비오염구에서 해수, 퇴적물, 진주담치를 채취하여 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도를 조사하였다.

조사지 개황

조사해역은 Fig. 1에 나타나 있다. 조사는 오염구와 비오염구로 나누어 덕동(Tokdong), 자란도(Charando), 이수도(Isudo), 온산(Onsan), 춘도(Chundo), 울기(Ulgi), 당사(Tangsa), 독곶(Tokkot), 파도리(Padori) 등 9개 해역에서 실시되었다.

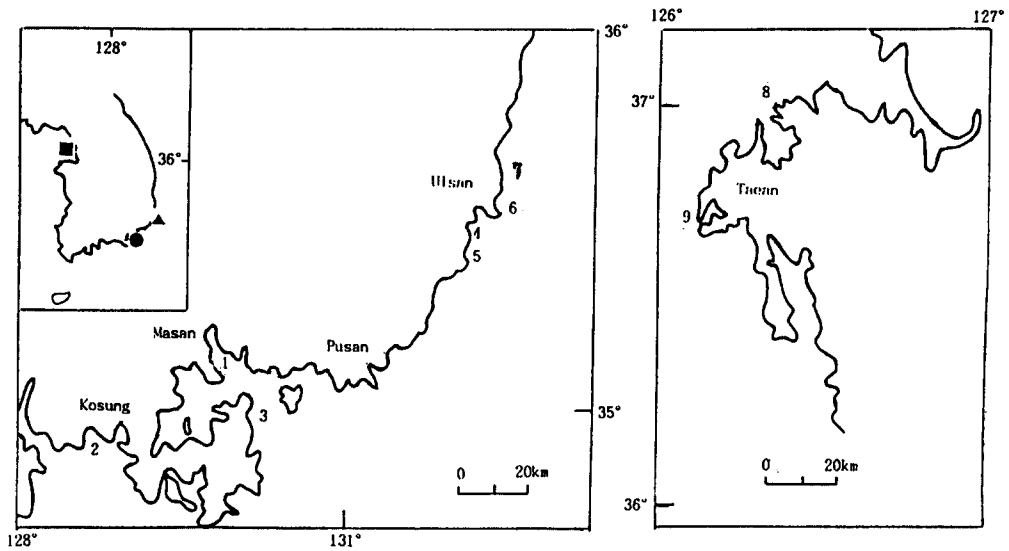


Fig. 1. Locations of the sampling sites.

- : Masan Bay ▲ : Onsan Bay
- : Daesan Industrial complex

- 1. Tokdong 2. Charando 3. Isudo 4. Onsan 5. Chundo
- 6. Ulgi 7. Tangsa 8. Tokkot 9. Padori

조사해역의 물리화학적 특징은 Table 1과 같다. 현장에서 water quality checker(U-10 Horiba)로 측정하였다.

Table 1. Ranges of hydrographical parameters in the sampling sites

Site	Month	Temp(°C)	Salinity(‰)	DO(ml /l)	pH	Turbidity	Conductivity(mS /cm)
1	July	25.8	32.8	8.40	8.03	12	50.2
	Feb.	5.7~6.5	34.8~35.3	14.42~15.96	7.87~8.11	10	44.2~55.9
2	July	30.0	36.3	10.02	8.19	4	54.6
3	Feb.	11.7~11.9	36.6	11.04~11.55	7.90~7.99	10	56.1~56.4
4	July	15~17.4	35.6~36.1	13.05~13.32	8.14~8.29	5~8	53.9~55.0
5	Feb.	9.6~10.4	35.6~35.9	12.31~13.68	7.96~8.24	10	55.0~56.0
6	July	15.3~15.8	34.0~36.4	12.66~13.03	8.26~8.30	2~4	55.0~55.2
7	Feb.	11.5~11.7	37.0~37.2	10.80~10.99	7.85~8.00	10	55.6~56.9
8	July	23.6~24.4	34.2~34.4	8.36~8.44	8.19~8.21	4~6	51.9~52.1
	Feb.	4.3~4.7	33.7~34.0	12.77~13.05	7.67~7.76	10~23	53.8~54.2
9	July	24.0~25.8	34.5~34.9	10.0~12.0	8.31~8.43	1~4	52.3~52.9
	Feb.	4.1~4.4	33.6~43.0	11.88~12.97	7.56~7.78	12~29	54.0~54.6

Site numbers are shown in Fig. 1.

Contaminated area: 1. Tokdong 4. Onsan 5. Chundo 8. Tokkot

Unpolluted area: 2. Charando 3. Isudo 6. Ulgi 7. Tangsa 9. Padori

분석방법

시료채취

해수, 퇴적물 및 진주담치를 1994년 7월과 1995년 2월에 걸쳐 삼반복으로 채취하였다. 해수는 미리 산으로 세척된 1,000 ml 고밀도 폴리에틸렌병에 표층수를 채취하였다. 채취된 시료는 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌필름으로 이중 포장한 후 드라이 아이스로 냉동 보관한 후 실험실로 옮겼다.

표층퇴적물은 잠수하여 폴리에틸렌 용기에 채취하여 냉동 보관한 후 실험실로 옮겼다. 진주담치 채취는 조건대에서 이루어졌으며 연령차에서 오는 체내 중금속 농도 변화를 극소화 하기 위해서 5~6 cm 크기로 50개체씩을 채집하였다.

담치 시료는 미리 60℃의 묽은 염산을 3일간 가득 담아 금속성분을 우려낸 플라스틱 아이스박스에 넣어 청장(depuration)시켰다. 청장은 소화관에 들어있던 먹이찌꺼기와 퇴적물에 함유되어있던 중금속이 담치의 중금속 측정에 영향을 미칠 수도 있기 때문에 행한다(이 등, 1982). 청장은 4~8시간에 한 번씩 해수를 갈아주면서 24시간 정도 계속하였다. 청장이 끝난 담치시료는 비닐봉투에 담아 봉한 다음 아이스박스에 넣고 드라이 아이스를 넣어서 완전히 얼린 후 실험실로 옮겼다.

해수 분석

해수를 산으로 세척된 0.4 μ m Nucleopore filter로 여과하여 여액 250 ml에 증류된 염산(6N) 1 ml를 가한 다음 분석때까지 상온에서 보관하였다. 청결기술을 이용하여 용존성 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도를 분석하였다. 실험에 사용된 모든 시약은 분석용으로 이 등(1989)의 방법에 따라 정제 후 사용하였다. 중금속의 추출은 Danielsson 등(1978)의 용매추출법을 변형시킨 이 등(1989)의 방법에 따랐으며 측정은 비불꽃원자흡광분광기(Varian #875 AAS & CRA-90)를 사용하여 실시하였다. 농축과정은 Class-100 청결 벤취속에서 행하였다.

퇴적물 분석

PFA용기에 전처리된 시료 0.5 g을 넣고, 37% 염산 12 ml와 65%질산 4 ml을 넣은 후 microwave(CEM MDS 2000)에서 digestion시킨다 (Nieuwsenhuijge *et al.* 1991). 반응이 완료되면 50 ml용량 플라스크에 시료를 여과시켜 원자흡광분석기로 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도를 측정하였다 (Perkin Elmer 2380).

진주담치 분석

냉동된 담치시료는 실온에서 녹인 후 껍질에 묻은 더러운 것들을 증류수로 깨끗이 닦아내고 패각내에 들어있던 해수를 따라버린 다음 폴리카보네이트(polycarbonate)로 만든 칼을 사용하여 제각(shucking)하였다. 시료를 블랜더(blender)에 넣고 약 10분동안 균질화(homogenization)시킨 후 PFA용기에 균질화된 시료 2 g을 넣고 70% 질산 15 ml를 넣은 후 microwave(CEM MDS 2000)에서 digestion시킨다 (McCarthy 1991). 반응이 완료되면 50 ml용량 플라스크에 시료를 여과시켜 원자흡광분석기로 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도를 측정하였다 (Perkin Elmer 2380).

결과 및 고찰

해 수

해수의 용존성 구리, 납, 아연 및 카드뮴의 농도는 Table 2에서 보는 바와 같이 0.29~0.79 $\mu\text{g/l}$, 0.03~0.08 $\mu\text{g/l}$, 0.19~2.01 $\mu\text{g/l}$, 0.01~0.05 $\mu\text{g/l}$ 범위로 나타났다.

오염구와 비오염구 사이의 납농도는 유의적인 차이($p < 0.001$)를 나타냈으며 아연농도도 유의적인 차이($p < 0.01$)를 나타냈다. 또한 카드뮴 농도는 연안에 따라 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타냈다.

Table 2. Mean dissolved concentration (\pm SD) of trace metals in seawater of the sampling sites

Site	Cu	Pb	Zn	Cd
	($\mu\text{g/l}$)			
1	0.75 \pm 0.24	0.07 \pm 0.02	2.01 \pm 0.50	0.02 \pm 0.005
2	0.37 \pm 0.11	0.03 \pm 0.01	0.19 \pm 0.05	0.01 \pm 0.003
3	0.65 \pm 0.20	0.05 \pm 0.01	1.10 \pm 0.23	0.01 \pm 0.003
4	0.29 \pm 0.10	0.08 \pm 0.02	1.70 \pm 0.40	0.01 \pm 0.002
5	0.79 \pm 0.23	0.08 \pm 0.02	1.60 \pm 0.42	0.01 \pm 0.002
6	0.29 \pm 0.10	0.04 \pm 0.01	0.24 \pm 0.06	0.01 \pm 0.002
7	0.64 \pm 0.22	0.04 \pm 0.01	0.35 \pm 0.09	0.01 \pm 0.002
8	0.78 \pm 0.21	0.07 \pm 0.02	1.74 \pm 0.41	0.05 \pm 0.010
9	0.69 \pm 0.20	1.05 \pm 0.01	0.80 \pm 0.23	0.04 \pm 0.010

Site numbers are shown in Fig. 1.

본 연구결과를 외국의 내만 해역과 대륙붕해역 자료(Table 3)와 비교해 보면 카드뮴 농도는 북해의 Southern Bight와 샌프란시스코만보다는 낮지만 그외 해역보다는 높고, 구리는 샌프란시스코만을 제외한 모든 해역보다 높게 나타났고, 아연은 Central North Sea보다는 높게 나타났으나 그 이외의 해역보다는 낮게 나타났다. 또한 김 등(1994)의 진해만 자료와 비교하면 납농

Table 3. Comparison of dissolved heavy metals in different regions of the world coastal waters

Site	Cu	Pb	Zn	Cd	Source
	($\mu\text{g/l}$)				
East West of Britain	0.12~0.58	0.015~0.135	—	0.01~0.06	Balls(1985a)
Northern North Sea	0.055~0.225	0.021~0.040	—	0.006~0.026	Balls(1985b)
Southern Bight, North Sea	0.24~1.19	—	0.20~35.6	0.016~0.292	Nolting(1986)
San Francisco Bay, U.S.A.	1.52~4.19	—	2.02~6.99	0.035~0.528	Kuwabara <i>et al.</i> (1989)
Central North Sea	0.23~0.39	0.017~0.032	0.16~0.61	0.015~0.025	Fileman (1991)
Bristol Channel, England	0.20~1.0	0.020~0.040	—	0.012~0.050	Harper (1991)
Chinhae Bay, Korea	0.22~1.70	0.010~0.237	0.12~10.58	0.012~0.103	김 등 (1994)
Onsan Bay, Korea	0.29~0.79	0.04~0.08	0.24~1.70	0.01	this study
West Coast, Korea	0.69~0.78	0.05~0.07	0.80~1.74	0.01~0.05	this study
Masan Bay, Korea	0.36~0.75	0.03~0.07	0.19~2.01	0.01~0.02	this study

도는 약간 높게 나타났고, 아연 농도는 약간 낮게 나타났다.

퇴적물

퇴적물에 함유된 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도는 Table 4에서와 같이 5~35 $\mu\text{g/g}$, 26~101 $\mu\text{g/g}$, 51~263 $\mu\text{g/g}$, 0.8~2.2 $\mu\text{g/g}$ 범위로 나타났다. 오염구와 비오염구 사이의 카드뮴농도는 유의적인 차이를 나타냈다 ($p < 0.05$).

Table 4. Mean concentrations (\pm SD) of heavy metals in sediments of the sampling sites

Site	Cu	Pb	Zn	Cd
	($\mu\text{g/g}$)			
1	35 \pm 5.6	101 \pm 13.5	131 \pm 23.5	1.7 \pm 0.4
2	13 \pm 1.5	83 \pm 10.3	227 \pm 32.0	1.0 \pm 0.2
3	23 \pm 3.7	38 \pm 4.5	72 \pm 8.6	0.8 \pm 0.2
4	—	—	—	—
5	55 \pm 6.5	80 \pm 9.2	164 \pm 21.6	1.5 \pm 0.4
6	31 \pm 4.0	52 \pm 6.5	263 \pm 30.5	1.0 \pm 0.2
7	27 \pm 3.4	59 \pm 8.8	80 \pm 10.3	0.9 \pm 0.2
8	20 \pm 3.0	65 \pm 7.5	62 \pm 8.5	2.2 \pm 0.5
9	15 \pm 2.3	26 \pm 3.0	51 \pm 6.7	1.4 \pm 0.3

Site numbers are shown in Fig. 1.

본 연구의 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도는 21~63 $\mu\text{g/g}$, 14~38 $\mu\text{g/g}$, 105~277 $\mu\text{g/g}$, $< 0.4 \sim 1.2 \mu\text{g/g}$ 범위로 나타난 진해만의 표층퇴적물 자료(홍 등 1989)와 비교해보면 납과 카드뮴 농도가 약간 높게 나타났다.

진주담치

진주담치에 함유된 구리, 납, 아연 및 카드뮴의 농도는 Table 5에서와 같이 0.69~2.77 $\mu\text{g/g}$, 0.29~1.5 $\mu\text{g/g}$, 13.57~52.1 $\mu\text{g/g}$, 0.09~0.85 $\mu\text{g/g}$ 범위로 나타났다. 오염구와 비오염구 사이의 중금속 농도간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

Table 5. Mean concentrations (\pm SD) of heavy metals in mussels (*Mytilus edulis*) of the sampling sites

Site	Cu	Pb	Zn	Cd
	($\mu\text{g/g}$)			
1	188 \pm 0.45	0.30 \pm 0.10	21.57 \pm 2.6	0.25 \pm 0.06
2	—	—	—	—
3	2.77 \pm 0.63	0.77 \pm 0.23	27.72 \pm 3.0	0.85 \pm 0.20
4	0.69 \pm 0.25	0.32 \pm 0.10	17.15 \pm 2.5	0.09 \pm 0.02
5	2.26 \pm 0.52	0.90 \pm 0.22	44.45 \pm 4.8	0.13 \pm 0.03
6	1.82 \pm 0.45	0.29 \pm 0.06	13.57 \pm 1.5	0.27 \pm 0.06
7	2.36 \pm 0.68	0.90 \pm 0.20	28.00 \pm 3.0	0.83 \pm 0.20
8	1.46 \pm 0.35	0.50 \pm 0.17	50.51 \pm 6.5	0.63 \pm 0.15
9	1.03 \pm 0.20	0.30 \pm 0.10	52.90 \pm 6.3	0.27 \pm 0.06

Site numbers are shown in Fig. 1.

Table 6. Comparison of metal concentration in mussels from elsewhere in the world

Sampling site	Cu	Pb	Zn	Cd	Source
	($\mu\text{g/g}$)				
Narragansett Bay East Coast, USA	1.26	11	2.86	92	NOAA (1987)
San Diego Bay, West Coast, USA	6.53	17	4.43	273	NOAA (1987)
Narragansett, USA	1.7	10.2	4.1	138	Goldberg <i>et al.</i> (1978)
La Jolla, USA	2.0	7.8	2.9	177	Goldberg <i>et al.</i> (1978)
Niepoort, Belgium	0.58	8.3	2.4	130	Meeus-Verdinne <i>et al.</i> (1983)
Bristol Channel, UK	4~60	—	1~30	62~250	Nickless <i>et al.</i> (1972)
Poole Harbor, UK	4~65	—	7~19	64~154	Boyden (1975)
Tasmanis, Australis	13	9.5	75	177	Cooper <i>et al.</i> (1982)
Tasman Bay, News Zealand	<10	9	12	91	Brooks <i>et al.</i> (1965)
Raysut, Oman	7.6	4.0		37.5	Burns <i>et al.</i> (1982)
Shinda Coast, Taiwan	3.06	8.19	61.13	—	Hung <i>et al.</i> (1981)
East Coast, Korea	0.90	5.5	1.05	105	양 등 (1990)
South Coast, Korea	0.91	5.4	0.78	104	양 등 (1990)
Masan Bay, Korea	0.25~0.85	1.88~2.77	0.30~0.77	21.57~27.72	this study
Onsan Bay, Korea	0.09~0.83	0.69~2.36	0.29~0.90	13.57~44.45	this study
West Coast, Korea	0.27~0.63	1.03~1.46	0.30~0.50	50.51~52.9	this study

인위적 영향이 먼 지역(비오염구)의 표본이 연안에 가까운 지역(오염구)보다 중금속의 농도가 항상 낮게 나타나는 않는데 이는 중금속 오염 이외의 해수의 물리화학적 성질, 해수와 먹이안의 중금속의 상대농도, 먹이형태, 성장율, 계절, 해류, 바람 등의 복합적 원인들이 영향을 미칠 것이다.

외국의 조사결과(Table 6)와 비교해 보면 미국 동해안 Narragansett만의 '78년도 진주담치의 카드뮴농도는 $1.26 \mu\text{g/g}$ 으로 본 연구 결과보다 높았으며 Belgium의 Niepoort연안의 진주담치 카드뮴농도는 $0.58 \mu\text{g/g}$ 으로 본 연구결과와 비슷하였다. 그러나 그밖에 조사된 외국연안에 서식하는 진주담치 중의 카드뮴농도는 모두 본 연구보다 훨씬 높은 값을 나타내었다. 구리는 오만의 Raysut연안의 진주담치가 $4.0 \mu\text{g/g}$ 으로 양 등(1990)이 조사한 한국연안의 진주담치의 구리 농도와 비슷하나 본 연구결과에서는 낮게 나타났다. 납과 아연 농도도 외국의 조사결과에 비해 낮게 나타났다. 이는 연안 해수가 중금속에 의해 크게 오염되지 않은 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 남한 연안의 오염도를 파악하기 위해 마산만, 온산만, 대산공업 단지 및 비오염구에 서 해수, 퇴적물 및 진주담치의 구리, 납, 아연 및 카드뮴의 농도를 조사하였다.

해수의 용존성 구리, 납, 아연 및 카드뮴의 농도는 각각 $0.29\sim0.79 \mu\text{g/l}$, $0.03\sim0.08 \mu\text{g/l}$, $0.19\sim2.01 \mu\text{g/l}$, $0.01\sim0.05 \mu\text{g/l}$ 범위를 나타냈으며, 납($p<0.001$)과 아연 농도($p<0.01$)는 오염구와 비오염구 간에 유의적인 차이가 있었다. 퇴적물의 구리, 납, 아연 및 카드뮴의 농도는

13~55 $\mu\text{g/g}$, 26~101 $\mu\text{g/g}$, 51~263 $\mu\text{g/g}$, 0.8~2.2 $\mu\text{g/g}$ 범위를 보였으며, 오염구와 비오염구 사이에 카드뮴 농도는 유의적인 차이를 나타냈다($p < 0.05$). 진주담치의 구리, 납, 아연 및 카드뮴 농도는 0.69~2.77 $\mu\text{g/g}$, 0.29~1.50 $\mu\text{g/g}$, 13.57~52.90 $\mu\text{g/g}$, 0.09~0.85 $\mu\text{g/g}$ 범위로 나타났고, 각 중금속 농도가 오염구와 비오염구 사이에 유의적인 차이를 보이지 않았다.

본 연구에서 오염구에 있는 진주담치의 중금속 농도는 자연 상태인 비오염구에서의 농도와 유사한 값으로 이는 연안 해수가 중금속에 의해 크게 오염되지 않은 것으로 사료된다.

인용문헌

- 김경태 · 홍기훈 · 이수형. 1994. 진해만 표층해수 중의 중금속 농도 분포. *Ocean Research* 16:19-27.
- 양동범 · 홍기훈 · 오재룡. 1990. 연안환경보전기술 개발연구. 한국해양연구소 보고서. BSPG 00112-315-4. pp. 33-94.
- 이광우 · 이수형 · 양동범. 1982. 생태계내에 있어서 오염물질의 이동체계에 관한 연구 해양연구소 보고서. BSPG 00032-60-4. 77p.
- 홍기훈 · 조성록 · 강성현 · 정창수 · 김종근. 1989. 연안환경보전기술개발연구. 한국 해양연구소 보고서. BSPG 00083-242-4.
- Balls, P.W. 1985a. Copper, lead and cadmium in coastal waters of the Western North Sea. *Mar. Chem.* 15:363-378.
- Balls, P.W. 1985b. Trace metals in the Northern North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 16:203-207.
- Berrow, S.D. 1991. Heavy metals in sediments and shellfish from cork. Harbour, Ireland. *Mar. Pollut. Bull.* 22:467-469.
- Boyden, C.R. 1975. Distribution of some trace metals in Poole Harbor, Dorset. *Mar. Pollut. Bull.* 6:180-187.
- Brooks, R.R. and M.G. Rumsby. 1965. The biogeochemistry to trace element uptake by some New Zealand bivalves. *Limnol. Oceanogr.* 10:521-527.
- Burns, K.A., J.P. Villeneuve, V.C. Anderlin and S.W. Fowler. 1982. Survey of tar, hydrocarbon and metal pollution in the coastal waters of Oman. *Mar. Pollut. Bull.* 13:240-247.
- Campbell, P.G.C., A.G. Lewis, P.M. Chapman, W.L. Fletcher, B.E. Imber, S. N. Luoma, P.M. Stockes, P.M. and M. Winfrey. 1988. Biologically available metals in sediments. Publ. No. 27694. National Research Council of Canada, Ottawa.
- Cooper, R.J., D. Langlois and J. Olley. 1982. Heavy metals in Tasmanian shellfish. *J. Applied Toxicology* 2:99-109.
- Danielsson, L.G., B. Magnusson and S. Westerlund. 1978. An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in sea water by atomic absorption spectrometry with electro-thermal atomization. *Anal. Chem. Acta* 98:47-57.
- Fileman, C.F., M. Althaus, R.J. Law and I. Haslam. 1991. Dissolved and particulate trace metals in surface waters over the Dogger Bank, Central North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 22:241-244.
- Goldberg, E.D., V.T. Bowen, J.W. Farrington, G. Harrey, J.H. Martin, P.L. Parker, R.W.

- Risebrouth, W. Robertson, E. Schneiden and E. Gamble. 1978. The mussel watch. *Environmental Conservation* 5:101-125.
- Goldberg, E.D. 1980. The international mussel watch. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 248p.
- Harper, D.J. 1991. The distribution of dissolved cadmium, lead and copper in the Bristol Channel and the outer Severn Estuary. *Mar. Chem.* 33:131-143.
- 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.
- Nieuwenhuize J., C.H. Poley-Vos, A.H. van den Akker and W. van Delft. 1991. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. *Analyst.* 116:277.
- Kuwabara, J.S., C.C.Y. Chang, J.E. Cloern, T.L. Fries, J.A. Davis, and S.N. Luoma. 1989. Trace metal associations in the water column of South San Francisco Bay, California. *Estuar. Coast & Shelf Sci.* 28:307-325.
- Mccarthy E. 1991. Comparison of microwave digestion with conventional wet ashing and dry ashing digestion for analysis of lead, cadmium, copper and zinc in shellfish by flame atomic absorption spectroscopy. *J. Assoc. of Anal. Chem.* 74:151.
- Meeus-Verdinne, K.R. Van Cauter and R.de Borger. 1983. Trace metal content in Belgium, coastal mussels. *Mar. Pollut. Bull.* 14:198-200.
- Nickless, G., R. Stenner, and N. Terrille. 1972. Distribution of cadmium, lead and zinc in the Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 14:198-190.
- NOAA. 1987. National status and trends program for marine environmental quality. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 38, USA.
- Nolting, R.F. 1986. Copper, zinc, cadmium, nickel, iron and manganese in the Southern Bight of the North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 17:113-117.

(1995년 8월 2일 접수)