

## 진해만의 퇴적물, 해수 및 참굴 내의 중금속 분포

이 인 숙 · 김 은 정

이화여자대학교 생물학과

**적 요:** 진해만의 중금속 오염도를 평가하기 위해 해저퇴적물, 해수 및 참굴의 중금속 농도를 측정하였다. 해저퇴적물내 카드뮴, 코발트, 구리, 니켈, 납, 아연의 농도범위는 0.1~2.4, 12.6~14.4, 25.3~92.3, 32.4~93.5, 24.1~81.2, 124~477  $\mu\text{g/g}$  으로 나타났다. 인간의 산업활동과 관련된 카드뮴, 구리, 납, 아연의 농도는 마산 내만에서 높게 나타났다. 해수내의 용존성 카드뮴, 코발트, 구리, 니켈, 납, 아연의 농도범위는 <0.010~0.043, 0.008~0.120, 0.31~0.90, 0.25~3.10, 0.010~0.142, 0.27~9.04  $\mu\text{g/L}$ 로 나타났다. 해수의 카드뮴, 구리, 납, 아연의 농도도 퇴적물에서처럼 마산 내만에서 높게 나타났으므로 마산만이 진해만의 주요 오염원임을 알 수 있었다. 참굴의 아연, 구리, 카드뮴, 납, 코발트, 니켈 등의 생물농축계수(BCF)는 647373, 280861, 145069, 44559, 13524, 2745 순으로 나타났으며, 다른 이매패류에 비해 강한 중금속 축적종으로 나타났다.

**검색어:** 중금속, 진해만, 참굴, 퇴적물, 해수

### 서 론

진해만은 반폐쇄성 해역으로 일찍부터 각종 수산생물의 서식 및 산란장으로 많이 이용되었으며, 양식 기술의 보급으로 어패류 양식장으로도 많이 이용되어 왔다.

그러나 1960년대 후반부터 공업단지의 조성과 주변도시(마산, 창원, 진해)의 인구증가로 인한 산업폐수 및 도시하수 등으로 오염현상이 나타나기 시작하였다 (수산진흥원 1967). 진해만은 산업발달로 급격히 인구가 증가한 마산과 군사도시인 진해 그리고 거제도의 육포조선소에 둘러싸여 있어 오염물질의 유입이 많은 반면 외해로의 유출이 적은 까닭에 우리나라 해역 중 가장 오염이 심한 해역으로 알려져 있다 (권 등 1990). 마산만은 막대한 양의 공단 폐수와 도시 생활하수가 유입되며 진해만은 지형적으로 폐쇄되어 외해와의 해수 교환이 제한되어 있으므로 지역적으로 오염이 심화 되었다. 특히 중금속은 극히 미량일지라도 일단 생체 내에 들어오면 유기염화물이나 탄화수소 등의 기타 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 갖고(Phillips and Segar 1986), 모든 조직에 축적되어 생리적 장애를 일으킨다. 또한 하등 동식물에서 생물농축(bioaccumulation)된 중금속은 먹이 사슬을 통해 생물확대(biomagnification)됨으로써 결국은 인간에게까지 영향을 미치는 지속성 오염물질이다 (이 1994).

또한 해양에 유출된 중금속은 빠르게 퇴적물과 결합하여 (Martin and Whitfield 1983), 진해만같은 반폐쇄성 해양에서는 확산과 희석작용 등의 자연정화 수준이 낮아 상대적으로 축적률이 높다. 따라서 퇴적물 모니터링을 통해 오염도 파악이 가능하며 해수내 중금속 농도도 유입된 중금속의 경로를 파악하기 위한 지화학적 정보를 제공하며 굴, 홍합 등의 이매패류를 이용하여 중금속 오염도를 모니터링

할 수도 있다 (Lee and Kwon 1994). 오염 지표종은 정착성 생물이고, 시료채취가 용이하며, 세계적으로 널리 분포되어 있으면서 오염물질을 체내에 잘 축적시키는 특징을 가져야 하는데 가장 많이 연구된 종이 이매패류인 홍합과 굴 등이다.

본 연구에서는 진해만에서 퇴적물, 해수 및 참굴(*Crasostrea gigas*)중의 중금속 분포를 파악하여 오염도를 평가하고자 했다.

### 재료 및 방법

#### 시료채취

1995년 1월 진해만에서 해저퇴적물, 해수 및 참굴을 채취하였다 (Fig 1).

오염물질로 직접 영향을 받을 것으로 예상되는 범위는 약 232  $\text{km}^2$  이나 실제로 약 640  $\text{km}^2$ 에 달하는 지역을 조사하였다. 퇴적물 시료는 11 정점(S1-S11)에서 채취하고 해수시료는 25 정점(S1-S11, O1-O14)에서, 그리고 참굴시료는 14 정점(O1-O14)에서 채취하여 dry ice에 채워 실험실로 운반하여  $-70^\circ\text{C}$ 에서 분석전까지 보관하였다. 퇴적물은 van Veen grab을 이용하여 상층 2 cm를 채취하였다. 해수는 수면으로부터 약 30 cm 지점에서 채취하였다. 참굴은 조사정점당 패각길이가 20~40 mm인 개체중 25개체를 채취하였고, 청장(depuration)과정은 2차 오염을 유발할 수 있어 생략하였다 (Phillips and Rainbow 1988).

#### 중금속 함량 분석

해저 퇴적물 시료는 동결건조기에서 말려서 호박막자사 발로 곱게 빻은 다음 60 mesh 나일론 체로 걸렀다. 시료 250 mg에 4 ml 왕수(진한 염산 3 ml와 진한 질산 1 ml)를 넣은 후 한 번 흔들어서 이산화탄소를 제거하고 Microwave

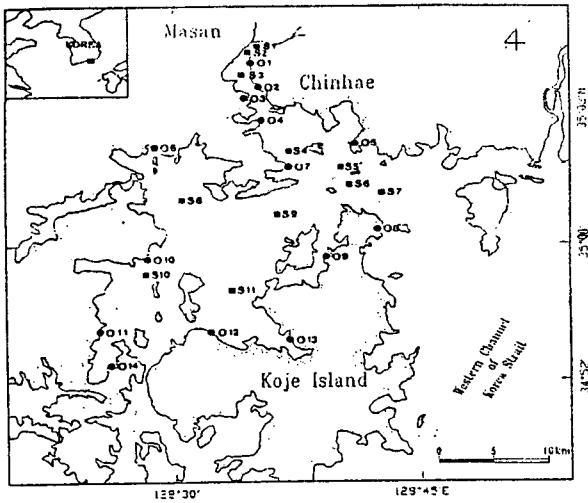


Fig. 1. Sampling stations.

에서 Nieuwenhuize와 Poley-Vos(1991)의 방법에 따라 분해시켰다. 분해된 시료를 50 ml로 희석하여 Atomic Absorption Spectroscopy(Perkin-Elmer AAnalyst 100)로 중금속 농도를 분석하였다.

퇴적물 내 자연중금속 농도를 보정하기 위해 Al 농도를 측정하여 Enrichment Factor를 다음과 같이 산정하였다 (Taylor 1964).

Enrichment Factor = metal to Al ratios in samples / metal to Al ratios in average continental crust

분석방법의 신뢰도는 공인된 해양퇴적물질인 BCSS-1의 분석을 통해 확인하였다.

해수 중의 중금속의 분리농축은 Bruland(1979)의 용매추출법을 변형시켜 수행하였고 High resolution ICP-MS (Fison Plasma Trace)로 분석하였다. 분석방법의 신뢰도는 공인된 연안 해수 표준물질인 CASS-1의 분석을 통해 확인하였다.

참굴은 패각을 제거한 후 육질을 동결건조기에서 3 일 동안 건조시킨 후 생물체마다의 고유변이성 때문에 25개체 생체 시료를 합쳐 균질화(homogenization)시켜 사용하였다. 시료의 분해는 Microwave에서 Maccarthy 와 Ellis(1991)의 방법에 따라 수행하였고 시료를 25 ml로 희석하여 AAS (Perkin-Elmer AAnalyst 100)로 중금속 농도를 측정하였다. 참굴의 농축계수(Bioconcentration Factor)는 참굴 생체 중의 중금속 농도를 해수 중의 용존성 중금속 농도로 나누어서 구하였다. 분석방법의 신뢰도는 공인된 굴 표준물질인 SRM 1566a의 분석을 통해 확인하였다.

### 결과 및 고찰

#### 해저퇴적물 중의 중금속

중금속들은 여러 가지 경로를 통해 해양에 유입되고 다

시 해저로 침강됨으로써 연안해수는 물론 퇴적물까지 오염시키고 있다. 자연산 패류들은 해저에 서식하고 있어 패류의 중금속 오염여부는 해수와 패류의 먹이가 되는 식물성 플랑크톤의 중금속오염 뿐만 아니라 퇴적물의 중금속 오염에도 큰 영향을 받는다.

본 조사에서 측정된 퇴적물중의 중금속 함량은 Table 1과 같다. 조사된 중금속은 인간의 산업활동에 의한 환경오염과 밀접한 관계가 있는 카드뮴, 구리, 납, 아연 등과 그 밖에 코발트, 니켈 등이다. 중금속분석의 정확도를 기하기 위하여 표준물질인 BCSS-1의 중금속 회수율을 측정 한 결과 회수율의 범위는 95.9~115%로 나타났다.

카드뮴의 농도범위는 0.1~2.4  $\mu\text{g/g}$ 이며 마산 내만의 S1, S2, S3 가 2.0, 2.4, 1.7  $\mu\text{g/g}$ 으로 높게 나타났는데 이 농도는 해저퇴적물의 평균농도 0.17  $\mu\text{g/g}$ (Bowen 1979) 보다 10 배 이상의 높은 값으로 연안지역의 산업활동과 깊은 관련이 있는 것으로 추정된다. 마산만에서 도 동(1981)이 조사한 카드뮴 함량(1.08~2.75 ppm)과도 비슷한 경향을 나타냈다.

코발트의 농도범위는 12.6~14.4  $\mu\text{g/g}$ 으로 해저퇴적물의 평균농도인 14 ppm(Bowen 1979)과 별차이가 없었다. Table 1에서 보는 바와 같이 코발트는 정점간에 농도차이가 거의 없음을 볼 수 있는데 이것은 코발트가 남해안 연안지역의 산업활동과 밀접한 관계가 없기 때문인 것 같다. 이와 한(1978)이 남해 동부연안에서 측정 한 코발트 농도인 13 ppm과도 비슷하게 나타났다.

구리 농도범위는 25.3~92.3  $\mu\text{g/g}$ 이며 역시 마산 내만의 S1, S2, S3 에서 92.3, 88.9, 90.6  $\mu\text{g/g}$ 으로 높게 나타났다.

마산만에서는 카드뮴, 구리, 아연 등이 주로 봉암천과 수출자유지역 옆의 하천을 통해 유입된 후, 마산수로를 통해 외양으로 확산되는데(한국해양연구소 1980) 유입량의 많은 부분이 해저로 침강되기 때문에 퇴적물중의 이들 중금속 함량이 높은 것은 당연한 일이다. 그러나 세 정점을 제외하고는 Bowen(1979)의 해저퇴적물의 평균농도와 비슷하다.

니켈농도는 32.4~93.5  $\mu\text{g/g}$ 으로 S2 정점에서만 93.5  $\mu\text{g/g}$

Table 1. Concentrations<sup>1</sup> of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in surface sediments from the Jinhae Bay

Station	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
S1	2.0	12.6	92.3	37.0	78.9	477
S2	2.4	14.0	88.9	93.5	81.2	462
S3	1.7	13.4	90.6	35.1	77.3	436
S4	0.4	13.2	42.2	36.7	35.3	213
S5	0.1	13.4	28.2	32.4	38.2	142
S6	0.2	14.4	26.6	37.1	45.7	130
S7	0.1	14.2	25.3	37.6	48.3	124
S8	0.3	14.1	35.7	34.2	25.6	127
S9	0.2	14.1	25.5	36.1	46.8	127
S10	0.6	13.7	30.5	34.7	25.5	135
S11	0.5	13.5	29.2	34.6	24.1	130

<sup>1</sup> Expressed in  $\mu\text{g/g}$  dry wt.

g으로 높게 나타났으며 나머지 정점에서는 해저퇴적물의 평균농도와 비슷하므로(Bowen 1979) 오염과 결부시키기는 어렵다고 보겠다.

납의 농도범위는 24.1~81.2 µg/g으로 조사정점별로는 마산 내만의 S1, S2, S3에서 78.9, 81.2, 77.3 µg/g으로 매우 높게 나타났다. 이 정점들을 제외해도 해저퇴적물의 평균농도 19 ppm(Bowen 1979)보다는 대체로 높게 나타났다.

아연농도는 124~477 µg/g으로 마산 내만의 S1, S2, S3에서 477, 462, 436 µg/g으로 높게 나타났는데 다른 정점에서는 도 동 (1981)의 마산만 조사에서 나타난 274 ppm 이나 미국동부 Chesapeake Bay의 275 ppm(Goldberg *et al.* 1978a)보다는 낮게 나타났다.

본 조사결과를 권 (1996)이 94~96년 진해만에서 조사한 아연, 납, 카드뮴, 니켈, 구리농도인 216~436, 51~96, 0.8~1.8, 16~24, 49~100 µg/g과 비슷하게 나타났다. 또한 한국해양연구소(1982)에서 조사한 진해만의 카드뮴, 구리, 코발트, 니켈, 납, 아연농도인 0.6~2.5, 14~53, 11~19, 22~55, 17~58, 16~143 µg/g와도 비슷하게 나타났다.

조사된 6개 금속의 분포특성을 보면 농도가 일정한 코발트, 니켈과 마산 내만이 높고 외해로 갈수록 낮아지는 카드뮴, 구리, 납, 아연으로 나뉘는데 이러한 감소경향은 마산만이 진해만 전체의 주요 오염원이라고 한 Lee와 Kwon (1994)의 보고와 일치한다.

또한 코발트, 구리, 니켈의 Enrichment Factor는 대체로 1미만으로 세계 지각의 평균 자연 중금속 함량과 비슷하나 카드뮴, 납, 아연은 1 이상으로 인간활동에 의한 유입이 큰 것으로 나타났다 (Table 2).

**해수중의 중금속 함량**

식물성 플랑크톤 중에 따라서는 중금속을 적게는 해수농도의 수배에서 많게는 수백만배까지도 생물농축시키기 때문에(Bowen 1979) 식물성 플랑크톤들을 먹이로 하는 패류도 중금속을 다량 체내에 축적시키게 되며 결국은 먹이사슬을 통해 인간에게까지 그 영향이 나타나게 된다.

해저 퇴적물을 채취한 정점(S1-S11)과 BCF를 조사하기

**Table 2.** Enrichment factors for cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in surface sediments from the Jinhae Bay

Station	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
S1	7.43	0.37	1.21	0.36	4.56	4.93
S2	9.10	0.42	1.22	0.94	4.90	4.99
S3	6.40	0.41	1.25	0.36	4.71	4.74
S4	1.93	0.47	0.68	0.43	2.50	2.69
S5	0.53	0.43	0.41	0.35	2.48	1.65
S6	0.81	0.51	0.43	0.44	3.26	1.66
S7	0.85	0.74	0.60	0.65	5.00	2.30
S8	1.42	0.57	0.65	0.46	2.05	1.82
S9	0.96	0.49	0.40	0.42	3.24	1.57
S10	2.42	0.46	0.47	0.39	1.71	1.63
S11	2.04	0.48	0.47	0.41	1.73	1.66

위해 참굴을 채집한 정점(O1-O14)에서 조사된 용존성 중금속 함량은 Table 3과 같다.

해수중의 대부분 지속성 오염물질 농도는 10<sup>-12</sup>~10<sup>-15</sup> g/g(Goldberg *et al.* 1978b)으로 극히 낮아 분석하기에 매우 까다로우며 청결기술을 이용하여야 한다. 중금속 분석의 정확도를 기하기 위해 표준물질인 CASS-1의 중금속 회수율을 측정된 결과 회수율의 범위는 86.7~111%로 나타났다.

용존성 카드뮴농도 범위는 <0.010~0.043 µg/L이며 조사 정점별로는 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 2~3배 높았다. 그러나 대체로 김 등(1994)이 1987~1988년에 조사한 진해만의 용존성 카드뮴농도인 0.012~0.103 µg/L와 비슷하게 나타났다.

용존성 코발트농도범위는 0.008~0.120 µg/L이며 조사 정점별로는 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 약 4~5배 정도 높게 나타났다.

용존성 구리농도범위는 0.31~0.90 µg/L이며 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 약 2배정도 높았다. 김 등(1994)이 조사한 용존성 구리농도인 0.22~1.70 µg/L와 비슷하게 나타났다.

**Table 3.** Dissolved concentrations<sup>1</sup> of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in seawater from the Jinhae Bay

Station	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
S1	0.031	0.086	0.73	2.28	0.047	6.34
S2	0.040	0.120	0.74	2.80	0.083	9.04
S3	0.043	0.062	0.81	1.45	0.142	5.30
S4	0.029	0.070	0.90	3.10	0.087	3.58
S5	0.016	0.024	0.45	0.65	0.029	0.97
S6	0.014	0.018	0.38	0.62	0.025	0.78
S7	0.016	0.012	0.31	0.43	0.022	0.34
S8	0.010	0.016	0.42	0.27	0.014	0.31
S9	0.019	0.008	0.35	0.39	0.016	nd
S10	0.014	0.030	0.45	0.33	0.027	0.39
S11	nd	0.026	0.37	0.25	0.010	0.27
O1	0.034	0.114	0.72	1.35	0.036	5.53
O2	0.089	0.012	1.58	0.84	0.031	2.95
O3	0.028	0.008	0.66	1.34	0.023	nd
O4	0.198	0.044	3.16	0.91	0.036	2.73
O5	0.025	0.044	0.69	0.77	0.038	1.96
O6	0.033	0.014	0.42	0.31	0.017	0.86
O7	0.017	0.014	0.44	0.99	0.016	1.85
O8	0.020	0.018	0.55	0.48	0.049	2.58
O9	0.014	0.030	0.53	0.53	0.029	3.41
O10	0.013	0.018	0.61	0.36	0.011	4.70
O11	0.013	0.014	0.43	0.20	0.012	1.53
O12	0.016	0.078	0.71	0.27	0.112	2.94
O13	0.012	0.054	0.60	0.25	0.021	1.63
O14	0.037	0.032	0.80	0.25	0.018	1.44

<sup>1</sup> Expressed in µg/L

nd : not detected

용존성 니켈농도범위는 0.25~3.10  $\mu\text{g/L}$ 이며 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 약 5~6배 정도 높았다.

용존성 납농도범위는 0.010~0.142  $\mu\text{g/L}$ 이며 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 약 4~5배 정도 높았다. 김 등(1994)이 조사한 용존성 납농도인 0.014~0.237  $\mu\text{g/L}$ 와 비슷하게 나타났다.

용존성 아연농도범위는 0.27~9.04  $\mu\text{g/L}$ 이며 마산 내만의 S1, S2, S3, S4가 다른 정점에 비해 약 12배 정도 높았다. 김 등(1994)이 조사한 용존성 아연농도인 0.12~10.58  $\mu\text{g/L}$ 와 비슷하게 나타났다.

본 조사결과는 E.P.A(1976)의 카드뮴, 구리, 납, 아연의 자연상태의 해수내 평균 농도인 0.02~0.10, 1.00~20.0, 0.02, 2.00  $\mu\text{g/L}$  및 Bryan(1976)의 카드뮴, 구리, 납, 아연의 자연상태의 해수내 평균 중금속 농도인 0.05, 3.00, 0.03, 5.00  $\mu\text{g/L}$  과 비교해 볼 때, 마산 내만의 S1, S2, S3, S4에서 납과 아연의 뚜렷한 오염현상을 확인 할 수 있었다.

**참굴중의 중금속 함량**

본 조사에서 측정된 참굴중의 중금속 함량은 Table 4와 같다.

카드뮴 함량 범위는 0.86~5.42  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 약 6배의 차이를 나타냈다. O10 정점에서 5.42  $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났는데 조사해역에 따라 카드뮴 함량이 다양하게 분포되어 있음을 알 수 있다.

코발트 함량은 0.222~0.369  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 차이가 거의 나타나지 않았다.

구리함량은 68.5~775  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 차이가 약 5~6배에 달했다. O10 정점에서 가장 높게 나타났는데, 이는 Ayling(1974)이 호주 Tasmania의 Tamar 강에서 측정된 참굴중의 구리함량인 833 ppm과 비슷하다.

니켈 함량은 0.63~2.09  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 차이가 약 3배에 달했다.

납 함량은 0.62~3.38  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 차이가 약 5~6배에 달했다. O8 정점에서 3.38  $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높게 나타났으나 대부분 정점에서는 Ayling(1974)이 측정된 참굴 중의 납 함량인 1 ppm과 비슷하게 나타났다.

아연함량은 다른 중금속에 비해 매우 높게 나타났는데 이는 무독성 상태인 Zinc pyrophosphate로 축적하는 이매 패류의 속성때문인 것으로 밝혀졌다 (Rainbow et al. 1990). 아연함량범위를 보면 758~2968  $\mu\text{g/g}$ 으로 정점간 차이가 약 4배에 달했으며 Ayling(1974)이 측정된 참굴 중의 아연 함량인 8400 ppm 보다는 낮게 나타났다.

본 조사결과는 한국해양연구소(1982)에서 조사한 진해만의 참굴의 카드뮴, 구리, 납, 아연농도인 1.4~3.5, 19~27, 0.15~2.03, 41~370  $\mu\text{g/g}$  에 비해 구리와 아연의 농도가 매우 높게 나타났는데 이는 본 분석에서 청장을 시키지 않았기 때문에 소화관에 들어있던 먹이 찌꺼기나 퇴적물 등이 함께 측정됨으로써 중금속 함량이 실제보다 높게 측정된 것으로 사료된다.

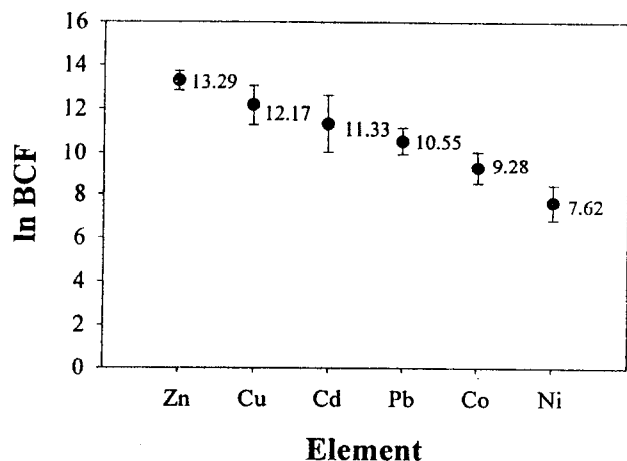
생물에 의한 중금속의 농축은 먹이사슬을 통하여 이루어지기 때문에 중금속에 의한 만성 중독과 밀접한 관계가 있다. 그런데 참굴은 여과식자이기 때문에 중금속 농축계수는 일반적으로 상당히 높게 나타난다. 해수중의 용존성 중금속 농도에 대한 참굴 중의 평균 농축계수(BCF)를 계산한 결과는 아연, 구리, 카드뮴, 납, 코발트, 니켈의 647373, 280861, 145069, 44559, 13524, 2745 순으로 나타났다.

한국해양연구소(1982)에서 조사한 참굴의 BCF 값인 카드뮴 9300~50000, 구리 12600~29200, 납 200~700, 아연 3700~56900와 비교하면 높게 나타났으며 특히 납은 큰 차이를 나타냈다. 이는 본 실험에서 참굴을 청장시키지 않고 분석한 점과 이전의 해수분석에서 시료채취과정의 오염, 시료처리 및 분석 과정의 청결기술이용과 분석방법 자체의 문제점에 기인한다고 사료된다.

**Table 4.** Concentrations<sup>1</sup> of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in oysters (*Crassostrea gigas*) from the Jinhae Bay

Station	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
O1	2.03	0.330	128.0	1.34	1.59	2365
O2	0.86	0.267	75.2	0.83	1.13	1317
O3	1.04	0.256	102.0	0.99	1.16	2082
O4	1.12	0.235	117.0	0.75	0.62	2285
O5	1.80	0.222	85.3	0.74	1.22	988
O6	1.86	0.263	97.6	0.63	0.59	829
O7	1.30	0.232	68.5	1.22	0.87	1244
O8	4.31	0.369	243.0	2.09	3.38	1665
O9	3.60	0.247	81.6	0.67	0.71	852
O10	5.42	0.326	775.0	1.36	1.15	2968
O11	3.51	0.284	182.0	1.34	0.79	1137
O12	3.59	0.323	135.0	1.72	1.01	1138
O13	3.37	0.327	204.0	0.79	0.74	2251
O14	1.82	0.292	147.0	1.26	0.78	758

<sup>1</sup>Expressed in  $\mu\text{g/g}$  dry wt.



**Fig. 2.** Bioconcentration factors (BCF) of heavy metals in oyster (*C. gigas*) from the Jinhae Bay.

그리고 Lee와 Kwon (1994)이 진해만에서 조사한 진주담치의 카드뮴, 구리, 납, 니켈, 아연의 BCF는 2814, 807, 127, 423, 2900 으로 본 조사결과와 비교해 보면 참굴이 강한 중금속 축적종임을 알 수 있다.

### 인용문헌

- 권영택. 1996. 다양한 생태위해 지표에 의한 퇴적물의 중금속 오염도 평가. 경남대학교 환경연구소. 환경연구 18: 151-162.
- 권영택, 이창원, 민병윤. 1990. 특정유해물질에 관한 해역수질 환경기준 고찰. 경남대학교 환경연구소보고 12: 25-26.
- 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수, 김석현, 김은수. 1994. 진해만 표층해수층의 중금속농도분포. 해양연구 16: 19-27.
- 도길명, 배준웅, 홍석. 1981. 마산항오염의 종합적 조사. 경남대학교 부설환경연구소 연구보고 pp. 9-33.
- 수산진흥원. 1967. 진해만의 적조현상에 관한 연구. 국립수산진흥원 보고 43: 63-79.
- 이동수, 한상준. 1978. 한국 남해 동부 연안 해저 퇴적물층의 중금속 함량에 관한 연구. 한국해양학회지 13: 11-16.
- 이수형. 1994. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염연구. 한국패류학회지 10: 24-40.
- 한국해양연구소. 1980. 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구Ⅲ. 진해만의 화학적 특성. BSPE-00022-43-7.
- 한국해양연구소. 1982. 생태계내에 있어서 오염물질의 이동체계에 관한 연구. BSPE 00032-60-4.
- 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.
- Bowen, H.J.M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London. U.K.
- Bruland, K.W. 1979. Sampling and analytical methods for the determination of Cu, Cd, Zn and Ni at the nanogram per liter level in seawater. Analytica Chimica Acta 105: 233-245.
- Bryan, G.W. 1976. Heavy metal contamination in the sea. In R. Johnston (ed.) Marine Pollution. Academic Press, New York. pp. 185-302.
- Lee C.W. and Y.T. Kwon. 1994. Distribution of heavy metals in seawater, sediment and biota of Jinhae Bay, KOREA. Wat. Sci. Tech. 30: 173-177.
- EPA. 1976. Quality criteria for water. US Environmental Protection Agency. EPA-440/9-76-023.
- Goldberg, E.D., V. Hodge, M. Koide and J. Griffin. 1978a. A pollution history of Chesapeake Bay. Geochim. Cosmochim. Acta 42: 1423-1425.
- Goldberg, E.D., V.T. Bowen and J.W. Farrington. 1978b. The mussel watch. Environment Conservation 5: 101-125.
- Nieuwenhuize, J. and C.H. Poley-Vos. 1991. Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by Atomic Spectrometry. Analyst. 116: 62-66.
- Maccarthy, H.T. and P.C. Ellis. 1991. Comparison of microwave digestion with conventional wet ashing and dry ashing digestion for analysis of Pb, Cd, Cr,Co and Zn in shellfish by flame AAS. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 74: 566-569.
- Martin, J.M. and M. Whitfield. 1983. The significance of river input of chemical elements to the ocean. In Trace Metals in Sea Water. New York. pp. 265-296.
- Phillips, D.J.H. and D.A. Segar. 1986. Use of bioindicators in monitoring conservative contaminants: programme design imparatives. Mar. Pollut. Bull. 17: 10.
- Phillips, D.J.H. and P. S. Rainbow. 1988. Banaclcs and mussels as biomonitors of trace elements: a comparative study. Mar. Ecol. Prog. Ser. 49: 83-93.
- Rainbow P.S., D.J.H. Phillips and M.H. Depledge. 1990. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates. Mar. Pollut. Bull. 21: 321-324.
- Taylor S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim. Cosmochim. Acta 28: 1273-1285.

(1999년 7월 23일 접수)

---

## Distribution of Heavy Metals in Sediments, Seawater and Oysters (*Crassostrea gigas*) in the Jinhae Bay

Lee, In-Sook and Eun-Jung Kim

Department of Biological Science, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

**ABSTRACT:** Heavy metal concentrations in surface sediments, seawater and oysters (*Crassostrea gigas*) were determined to assess heavy metal contamination in the Jinhae Bay. The ranges of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc concentration in surface sediments were 0.1~2.4, 12.6~14.4, 25.3~92.3, 32.4~93.5, 24.1~81.2, 124~477  $\mu\text{g/g}$ , respectively. The concentrations of cadmium, copper, lead and zinc which were influenced by industrial activity were the highest in the inside of Masan Bay. Dissolved concentrations of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in seawater were <0.010~0.043, 0.008~0.120, 0.31~0.90, 0.25~3.10, 0.010~0.142, 0.27~9.04  $\mu\text{g/L}$ , respectively. The concentrations of cadmium, cobalt, copper, nickel, lead and zinc in seawater were also the highest inside of Masan Bay, suggesting that Masan Bay is the major source of heavy metal input to the Jinhae Bay. Bioconcentration factors (BCF) of zinc, copper, cadmium, lead, cobalt and nickel in *C. gigas* were 647373, 280861, 145069, 44559, 13524, 2745, respectively, showing *C. gigas* is a stronger accumulator than other bivalves.

**Key words:** *Crassostrea gigas*, Heavy metal, Jinhae Bay, Seawater, Sediment

---