

온산 연안에 서식하는 진주담치(*Mytilus edulis*)의 중금속 생물농축에 관한 연구

백수민·이인숙
이화여자대학교 생물과학과

A Study on Bioaccumulation of Heavy Metals in Mussels (*Mytilus edulis*) from the Onsan Coastal Zone

Paek, Soo-Min and In-Sook Lee

Department of Biology, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

ABSTRACT

The heavy metal concentrations of seawater collected from the Onsan coastal zone in February and July 1996 and mussels(*Mytilus edulis*) in February 1997 were analysed.

The concentrations of cadmium in seawater were in the range of 0.008~2.988 $\mu\text{g/L}$, while the ranges of copper and zinc concentrations were 0.08~2.55, and 0.21~35.12 $\mu\text{g/L}$, respectively. The metal concentrations decreased gradually with increasing distances from Daejeong stream, indicating that this stream was the major source of heavy metal input into the Onsan coastal zone.

The concentrations of cadmium, copper and zinc in mussels were in the ranges of 1.40~25.09, 8.5~64.5, and 46.8~291.2 $\mu\text{g/g}$, respectively. The metal concentrations decreased gradually with increasing distances from Daejeong stream.

Among organs of mussels, gill showed the highest concentrations of cadmium and the digestive gland showed the highest concentrations of copper and for zinc the kidney showed the highest concentrations. The digestive gland and kidney revealed high proportion of cadmium in cytosolic fraction and the percentage of copper was high in the kidney and that of zinc was high in the digestive gland.

Metal-binding protein of mussels collected from the mouth of Daejeong stream was separated, using gel-filtration chromatography. In the kidney and gill of mussels, most of cadmium was associated with metal-binding protein. In contrast, most of the metal in the digestive gland and remaining tissues is bound to high molecular weight protein rather than metal-binding protein.

Key words : Heavy metals, *Mytilus edulis*, Coastal zone, Metal-binding protein.

서론

최근 인구증가와 급격한 산업발달, 도시화로 인해 산

업폐수 및 도시생활하수, 농업배수, 축산폐수 및 그 밖의 각종 오염물질들이 연안으로 유입되고 있고, 1970년대에 접어들어 중화학 공업이 중점 추진되면서부터 이에 포함되어 있는 많은 오염물질들은 해양생태계의 변

* 본 연구는 1997년도 교육부의 기초과학연구소 학술조성비(BSRI-97-4421)의 지원에 의하여 이루어졌음.

화를 유발하고 있다. 특히 카드뮴, 구리, 아연 등의 중금속은 극히 미량일지라도 일단 생체 내에 들어오면 유기염화물이나 탄화수소 등의 기타 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 갖고 (Phillips and Segar 1986) 모든 조직에 축적되어 생리적, 기능적, 형태적 또는 그 밖의 여러 장애를 일으킨다. 또한 하등 동식물에서 생물농축 (bioaccumulation)된 중금속은 먹이사슬을 통해 생물확대 (biomagnification)됨으로써 결국은 인간에게까지 영향을 미치는 지속성 오염물질이다 (이 1994).

자유이온 상태의 중금속의 경우 해수 내 극히 미량 존재하여도 생물체에 쉽게 이용될 수 있어 (Bruland 1983) 일단 체내로 흡수된 후, 세포막과 연관된 운반단백질에 결합되고 잇달아 금속 결합 리간드 (metal-binding ligands)와 결합하게 됨으로써 중금속이 세포 내로 격리되는 효과를 나타내게 되어, 비록 체내의 중금속 총 함량이 해수 내 농도보다 높다 할지라도 자유이온 상태의 중금속의 농도는 계속 낮게 유지되는 효과로 인하여 지속적인 중금속의 유입이 이루어진다고 알려져 있다 (Mason *et al.* 1988). 그러나 대부분의 해양 무척추 동물은 중금속 배출속도가 유입속도와 평형을 이루지 못하기 때문에 중금속의 축적이 이루어지므로 이들을 중금속 오염의 지표 생물로 이용하게 된다. 또한 이들은 중금속의 지속적인 유입으로 인해 유발될 수 있는 독성 효과를 제거시키는 작용이 요구되는데, 이에 중금속을 포함한 미립자를 형성하거나 중금속에 높은 친화력을 갖는 리간드에 결합되어 내장이나 신장에 일시적으로나 장기적으로 저장시키는 방법을 들 수 있다 (Mason and Nott 1981, George 1990).

최근에는 생물체의 중금속 노출에 대한 생화학적 지표로서 metallothionein에 대한 관심이 집중되고 있다. Metallothionein은 말의 신장에서 가장 먼저 발견된 단백질로서 분자량이 6~7 kDa 정도로 낮고 높은 시스테인 함량을 나타내며, 방향족 아미노산을 적게 포함하고 있어 280 nm 파장에서 낮은 자외선 흡광도를 보이고 열과 산에 안정하며 카드뮴, 아연, 구리, 수은 등의 중금속에 큰 친화력을 보이고 중금속에 노출될 경우 유도된다는 특성을 지니고 있다 (Frazier *et al.* 1985). 해양 무척추동물의 조직에서도 metallothionein과 유사한 특성을 지닌 metal-binding protein (MBP)이 많이 보고된 바 있고, 생체 내 MBP 함성과 환경 내 중금속 농도가 높은 상관관계를 보인다고 증명되어 이를 이용한 해양 환경오염의 새로운 조기 경고 지표 (early warning marker)로서 사용 가능성에 대한 확신을 높여주고 있다

(Viarengo *et al.* 1985, Langston and Zhou 1986, Pavicic *et al.* 1987, Mackay *et al.* 1990, Unger *et al.* 1991).

본 연구에서는 온산공업단지의 공장 폐수가 유입되는 온산 연안 해역의 중금속 오염실태를 조사하기 위해 해수 중의 중금속 함량과 함께 진주담치 (*Mytilus edulis*) 중의 중금속 함량을 조사하였고 MBP를 분리하였다.

재료 및 방법

조사지역

온산연안은 경상남도 울주군 온산면에 위치하고 있고, 동쪽으로는 대한해협에 접하고 있으며 위쪽으로는 외항강과 회야강이 유입되고 서에서는 동으로 흐르는 대정천이 위치하고 있다. 대정천 상류에는 온산공단이 입지하고 있는 곳으로 공단의 총 면적은 16.93 km²이며 1982년 12개 기업이 입주하여 조립금속, 제 1차 금속, 화학업체가 조성되었다. 온산공단 역시 울산공단과 마찬가지로 산업기지 개발구역으로 지정되었을 뿐, 단지조성이 완전히 이루어지기 전에 각 기업들이 입지함으로써 토지가 비합리적으로 이용되어 공장기지는 물론 주변의 공해피해 등이 문제점으로 대두되고 있다.

시료채취

1996년 2월과 7월에 걸쳐 대정천을 중심으로 정점간 거리가 약 1 km인 19개 정점에서 해수를 채취하였고, 1997년 2월에 5개의 정점에서 진주담치를 채집하였다 (Fig. 1). 생물체 조사정점 중 E는 대조구로 선정된 정점이다.

해수의 중금속 분석

중금속의 분리 농축은 Bruland (1979)의 용매추출법을 변형시켜 수행하였고 High resolution ICP-MS (Fison Plasma Trace)로 분석하였다.

분석방법의 신뢰도는 캐나다 NRC (National Research Council of Canada)에서 공인된 표준물질인 CA-SS-3의 분석을 통해 확인하였다.

진주담치 분석

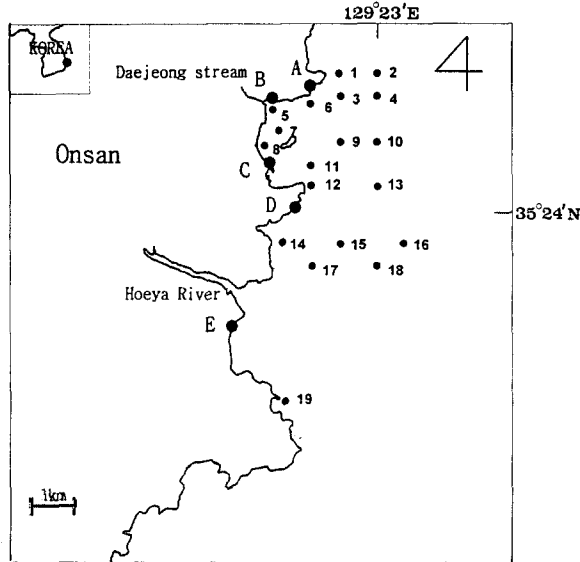


Fig. 1. The sampling stations in seawater and *Mytilus edulis* in the Onsan coastal zone.

1 - 19 : Seawater

A - E : *Mytilus edulis*

1. 정점별 중금속 함량

진주담치는 패각 길이가 50~80 mm 범위의 개체를 16개체씩 패각을 제거한 후 육질을 동결 건조기에서 3 일 동안 건조시킨 후 호박 막자사발로 균질화시킨다. 시료의 digestion은 Microwave acid digestion programme (Maccarthy and Ellis 1991)으로 수행하였고 시료를 식힌 후 25 ml가 되도록 3차 증류수로 희석해서 50 ml들이 폴리에틸렌병에 시료를 옮겨 담아 AAS (Perkin-Elmer Analyst 100)로 카드뮴, 구리, 아연의 농도를 측정하였다.

분석방법의 신뢰도는 미국 NIST (National Institute of Standard and Technology)에서 공인된 표준물질인 SRM 1566a의 분석을 통해 확인하였다.

2. 기관별 중금속함량

진주담치를 24개체씩 패각을 제거한 후 소화산, 아가미, 신장, 나머지 기관으로 나누어 해부해서 3배 부피에 해당하는 100 mM Tris-acetate buffer (pH 8.1)에 넣고 얼음 위에서 균질화 시켰다. Tris-acetate buffer (pH 8.1)에는 5 mM Mercaptoethanol과 0.1 mM Phenylmethylsulfonyl fluoride도 함께 포함하였다. Homo-

genate 중 일부는 4℃에서 15분 동안 15,000 g 속도로 원심분리한 후 뒤이어 1시간 동안 100,000 g 속도로 원심분리하여 supernatant (cytosol)를 취하였다. Homogenate 내의 중금속을 측정하기 위해 동결 건조기에서 시료를 건조시킨 후 앞서 언급한 방법과 동일하게 분해시키며 cytosol은 1:1 (v/v) 비율로 65% HNO₃와 혼합한 후 분해시켰다. Cytosol 중 일부는 gel-filtration chromatography 분석에 사용하였다.

Gel-filtration chromatography 분석

진주담치로부터 얻은 cytosol (200 μl)을 Superose 12 preparative grade column (1×34 cm : Pharmacia)에 loading 시킨 후 100 mM NaCl, 5 mM NaN₃, 2 mM DTT를 포함하고 있는 100 mM Tris-acetate buffer (pH 8.1)를 0.2 ml/min의 속도로 흘려주었다. Eluate fraction 2 ml를 수집하여 254 nm와 280 nm 파장에서 흡광도를 측정한 후 (Hitachi U-3000 spectrophotometer) 분해시키지 않고 직접 graphite-furnace AAS (Unicam 989)로 카드뮴 함량을 측정하였다. Superose 12 column은 blue dextran (200 kDa), bovine serum albumin (66 kDa), α-chymotrypsinogen A (25 kDa), horse kidney MT (6.5 kDa), glutathione (620 Da)으로 calibration하였다.

결과 및 고찰

해수의 중금속 농도

중금속 분석의 정확도를 기하기 위하여 연안해수의 공인된 표준물질인 CASS-3의 중금속 회수율을 측정한 결과 회수율의 범위는 90~111%로 나타났다.

19개 해수 시료에서 카드뮴의 농도는 0.008~2.988 μg/L, 구리는 0.08~24.55 μg/L, 아연은 0.21~35.12 μg/L의 범위를 보였다 (Table 1). 카드뮴, 구리, 아연 모두 대정천 유입구에 위치한 정점 5에서 각각 1.705 μg/L, 24.55 μg/L, 35.12 μg/L로 가장 높은 농도를 보였고 대정천 유입구에서 외해로 갈수록 중금속 농도가 감소하였다. 따라서 대정천을 통해 높은 농도의 카드뮴, 구리, 아연을 함유한 담수가 해안으로 유입되어 해수와 혼합되면서 점차로 희석되어 가는 과정을 관찰할 수 있다.

보통 자연상태의 해수 내 중금속 농도범위는 카드뮴이 0.0001~0.12 μg/L, 구리가 0.03~0.4 μg/L, 아연이

Table 1. Concentrations of cadmium, copper, and zinc ($\mu\text{g/L}$) in seawater from 19 stations in the Onsan coastal zone

Station		Cd	Cu	Zn
1	Feb.	0.014	0.10	0.56
2	Feb.	0.072	0.50	3.00
3	Feb.	0.019	0.16	1.21
4	Feb.	0.008	0.14	0.43
5	Feb.	1.705	24.55	35.12
	Jul.	2.988	20.00	34.66
6	Feb.	0.037	0.24	3.11
7	Feb.	0.059	0.22	3.09
	Jul.	0.149	0.52	3.01
8	Feb.	0.311	0.40	10.35
9	Feb.	0.026	0.20	2.16
	Jul.	0.030	0.13	0.39
10	Feb.	0.010	0.14	0.66
	Jul.	0.013	0.11	0.30
11	Feb.	0.017	0.13	0.81
	Jul.	0.021	0.27	1.62
12	Feb.	0.015	0.12	0.52
	Jul.	0.025	0.23	0.70
13	Feb.	0.010	0.08	0.21
	Jul.	0.019	0.08	0.24
14	Feb.	0.013	0.16	0.75
15	Feb.	0.015	0.11	0.40
	Jul.	0.023	0.19	0.62
16	Feb.	0.008	0.08	0.21
17	Feb.	0.013	0.10	0.41
18	Feb.	0.009	0.09	0.23
	Jul.	0.018	0.11	0.28
19	Feb.	0.009	0.12	0.32

0.003~0.6 $\mu\text{g/L}$ 정도로 알려져 있으며 (Bruland and Frank 1983, Bruland *et al.* 1991), 이를 본 연구 결과와 비교하면 카드뮴, 구리, 아연의 농도 모두 높은 수준을 나타내었다. 또한 환경부의 해역별 수질인 카드뮴 10 $\mu\text{g/L}$, 구리 20 $\mu\text{g/L}$, 아연 100 $\mu\text{g/L}$ 과 비교하면 카드뮴과 아연은 훨씬 낮은 수준이나 구리는 다소 높은 수치를 나타내어 구리의 오염이 우려되는 바 지속적인 조사와 감시가 필요하다고 하겠다.

온산만은 1974년 4월 1일 산업기지 개발구역으로 지정되면서 대정천 상류에 온산공단이 조성되기 시작되고, 주로 비철금속류 및 석유화학산업이 입지하게 됨으로써 이들 공장에서 배출되는 폐수에는 각종의 중금속이 함유될 수 있으며 이것이 연안 해역으로 방류될 때는 해양생태계에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 특히 온산만에는 미역 등의 양식장이 있고 각종 어업 활동이 성행하므로 유입된 폐수중의 중금속은 먹이사

슬을 통해 생물확대됨으로써 결국에는 인체에 해를 미칠 수 있다. 더구나 정부에서는 오는 2011년까지 울산시 남구 용연동 해역과 온산면 이진리 해역에 31선석 규모의 울산 신항만을 건설하는 계획을 확정 발표한 바 있다. 따라서 산업폐수에 의한 중금속 오염과 더불어 준설공사로 인한 새로운 생태계 파괴가 야기될 것으로 우려되는 바 이 지역 연안의 해양 오염에 대한 지속적인 고 체계적인 단속과 감시가 요구된다 하겠다.

진주담치의 중금속 농도

1. 정점별 분포

중금속 분석의 정확도를 기하기 위하여 공인된 표준물질인 SRM 1566a의 중금속 회수율을 측정된 결과 94~105%의 범위를 나타냈다.

5개의 정점에서 채집한 진주담치 내의 중금속 함량은 카드뮴이 1.40~25.09 $\mu\text{g/g}$, 구리가 8.5~64.5 $\mu\text{g/g}$, 아연은 46.8~291.2 $\mu\text{g/g}$ 의 농도범위를 나타냈다 (Table 2). 카드뮴의 농도는 정점 C에서 25.09 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았고 구리와 아연은 정점 B에서 각각 64.5 $\mu\text{g/g}$, 291.2 $\mu\text{g/g}$ 으로 최고값을 보였으며 대정천 유입구에서 멀어질수록 농도가 감소하였다.

카드뮴이 대정천 유입구인 정점 B에서보다 정점 C에서 더 높은 농도를 나타낸 이유로는 폐각 제거시 중금속의 유실이 발생했거나 시료로 사용된 개체간의 생체량과 연령의 차이에 의한 영향일 수도 있으며 소화된 퇴적물이나 외투막에 존재하는 입자에 의한 영향, 또는 중금속간의 상호작용 (Nelson *et al.* 1983) 등으로 설명할 수 있다. 이중 특히 진주담치는 구리와 아연에 대해 조절 작용 능력이 없기 때문에 화학적으로 유사한 형태를 지닌 중금속 사이의 경쟁이 카드뮴 축적에 큰 영향을 미친 것으로 사료된다. 실제로 진주담치의 경우 카드뮴을 함유한 해수에 아연을 첨가할 경우 생물체내의

Table 2. Concentrations of cadmium, copper, and zinc ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in *Mytilus edulis* from 5 stations in the Onsan coastal zone

Station	Cd	Cu	Zn
A	11.06	14.4	238.8
B	16.55	64.5	291.2
C	25.09	50.2	100.3
D	1.62	9.8	67.6
E	1.40	8.5	46.8

카드뮴 함량이 카드뮴에만 노출된 개체에 비해 감소하는 경향인 길항작용을 보인다고 알려진 바 있다 (Jackim *et al.* 1977).

2. 기관별 분포

생물체 내의 중금속은 주변 환경의 중금속 농도를 반영하고 생물체 내의 총 중금속 함량은 각 조직에 분포하고 있는 중금속의 합이라고 볼 수 있다. 또한 중금속은 모든 조직에 대해 일정한 분포를 보이지 않고 간, 신장, 아가미, 소화선 등에 선택적으로 축적되므로 많은 양의 중금속을 축적하는 능력이 있는 조직을 중금속 오염 감시에 선별적으로 사용하면 더욱 효과적인 오염조사를 할 수 있다 (Mason and Simkiss 1983).

진주담치의 각 정점에 대한 기관별 분포를 보면 카드뮴의 경우 아가미 > 신장 > 나머지 기관 > 소화선의 순서로 높은 중금속 농도를 보이고, 구리는 소화선 > 나머지 기관 > 아가미 > 신장의 순서를, 아연은 신장 > 아가미 > 나머지 기관 > 소화선의 순서로 높게 나타났다 (Table 3).

진주담치의 중금속 축적에는 3가지 유형이 존재한다.

하나는 폐각으로의 물리적인 흡착이고 또 하나는 아가미와 외투막에 의한 축적으로 중금속과 높은 친화력을 지닌 표면으로 수동적 확산에 의해 중금속이 유입되며, 다른 하나로는 소화선과 신장으로의 축적으로 아가미와 외투막과 비교하여 낮은 농도에서는 빠른 축적을 보이거나 농도가 높아질수록 축적 정도가 감소하는 경향을 보이며, 이들의 높은 중금속 수용능력은 중금속의 무독화 작용과 저장에 중요한 역할을 하고 있음을 시사한다 (Nolan and Duke 1983). 이러한 기관에 따른 중금속 분포의 차이는 각 기관의 세포막을 투과하는 중금속의 투과능의 차이에서 기인한다 (Mason and Simkiss 1983). 따라서 신장, 아가미, 소화선을 선택적으로 분석한다면 효과적인 결과를 얻을 것으로 기대된다.

각 기관별로 세포질 내 중금속 함량을 조사한 결과 소화선과 신장 중의 카드뮴은 대부분 80% 이상의 높은 비율을 나타냈고 아가미와 나머지 기관은 세포질 내 카드뮴 함량이 낮았다. 구리는 신장에서 세포질 내 비율을 높게 차지하고 있으나 그 밖의 기관에서는 낮게 나타났고 아연은 소화선에서 세포질이 차지하는 비율이 가장 높게 나타났다 (Table 3). 이러한 결과는 카드뮴의 노출과 세포질 내의 중금속 비율 사이의 연관성을 시사하며

Table 3. Concentrations of cadmium, copper, and zinc ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in organs of *Mytilus edulis* from 5 stations in the Onsan coastal zone

Organ	Station	Cd		Cu		Zn	
		Total	Cytosol	Total	Cytosol	Total	Cytosol
Digestive gland	A	10.5	8.9(85)	23.7	11.5(49)	155.4	145.2(93)
	B	15.4	14.6(95)	119.4	101.7(85)	170.4	150.2(88)
	C	20.6	19.7(95)	67.1	43.0(64)	153.1	148.4(97)
	D	4.3	2.7(63)	14.4	9.5(66)	162.7	101.7(63)
	E	3.4	3.0(89)	10.3	8.1(79)	97.4	35.3(33)
Gill	A	18.2	10.9(60)	5.1	2.9(56)	413.2	251.3(61)
	B	14.4	7.7(55)	29.2	14.7(50)	269.9	180.0(67)
	C	55.7	21.0(38)	15.4	6.7(44)	416.7	274.1(66)
	D	5.3	2.5(47)	4.6	1.2(27)	148.2	45.5(31)
	E	5.2	3.1(60)	5.6	3.7(66)	104.2	28.8(28)
Kidney	A	11.2	8.0(71)	3.5	2.1(61)	276.5	64.8(23)
	B	30.0	28.5(98)	19.2	13.9(73)	546.0	448.4(82)
	C	16.0	14.9(93)	8.4	6.7(79)	198.4	87.6(44)
	D	2.6	2.5(96)	2.8	2.6(94)	156.3	50.3(32)
	E	2.2	1.7(77)	9.3	8.2(88)	97.6	21.2(22)
Remaining tissues	A	13.8	5.1(37)	7.2	2.3(32)	60.6	56.2(93)
	B	17.1	6.0(35)	36.3	10.4(29)	402.8	106.6(26)
	C	20.4	12.5(61)	22.3	5.9(26)	107.4	82.4(77)
	D	4.0	1.9(48)	4.5	1.5(34)	77.7	47.8(61)
	E	4.0	1.6(41)	3.6	1.4(40)	28.8	9.6(33)

Figures in parentheses are percentages of total cadmium, copper, and zinc burden.

이는 세포질 내에 존재하는 MBP에 의해 카드뮴이 무독화되었다는 가능성을 강하게 뒷받침한다.

3. Metal-binding protein 분리

대정천 하구에 위치한 정점 B와 대조구로 선정된 정점 E에서 채집한 진주담치에 대해 각 기관별로 metal-binding protein (MBP)을 gel-filtration chromatography로 분리한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 254 nm 파장에서 높은 흡광도와 280 nm에서는 낮은 흡광도를 갖고 metallothionein과 유사한 분자량을 갖는 MBP이 각 기관별로 분리되었고, 그 중 정점 B의 신장에서 분리된 MBP내에 카드뮴 함량이 가장 높게 나타났고, 나머지 기관의 경우는 MBP보다 High molecular weight protein (HMWP)에 더 많은 카드뮴이 포함되어 있음을 보였다. 정점 B와 정점 E 간의 MBP 내의 카드뮴의 함량을 비교해 보면 아가미의 경우를 제외하고는 모두 대정천 하구인 정점 B에서 가장 높게 나타났고 특히 신장에서 많은 차이를 보였다. 따라서 MBP을 중금속 오염의 biomarker로서의 사용 가능성에 대해 긍정적인 평가가 가능하다고 사료된다.

중금속을 조절하는 능력이 없는 생물체와 과도한 중금속의 유입으로 조절 능력이 상실된 생물체에서 중금속의 축적이 이루어지며 이러한 경우 중금속이 체내에서 대사 방해 효과와 독성 효과를 나타내지 못하도록 무독화 작용이 이루어진다. 무독화 작용에는 일시적으로 미립자에 중금속을 함유하고 있다가 신장 등을 통해 배출하는 방법과 대사적으로 무독한 상태로 일생동안 생체 내에 저장하는 방법이 있다. 이중 metallothionein은 중금속과 결합하여 효소에의 결합을 방지하고 세포막에 입히는 손상을 방지하는 역할을 한다. 일반적으로 연체동물의 MT는 포유류와 달리 시스테인 (17~28%), 히스티딘 (1%), 메티오닌 (0%) 함량이 낮고 글리신 (18%), 세린 (8%) 함량이 높다 (George *et al.* 1979, Roesijadi 1981). 중금속에 노출되지 않은 생물체에서도 약간의 MT이 발견되는 것은 이들이 구리와 아연 같은 필수 금속군의 조절에 작용하고 있음을 시사한다 (Roesijadi 1981, Viarengo *et al.* 1985, Pavicic *et al.* 1987). 나머지 기관에서 나타난 HMWP와 같이 metallothionein 외에 중금속과 결합하는 분자량이 크거나 작은 단백질이 많이 보고된 바 있고 (George *et al.* 1979, Rainbow *et al.* 1980), 자세한 연구는 아직 미흡한 수준이며 카드뮴 노출 농도와 기간, 조직의 유형에 따라

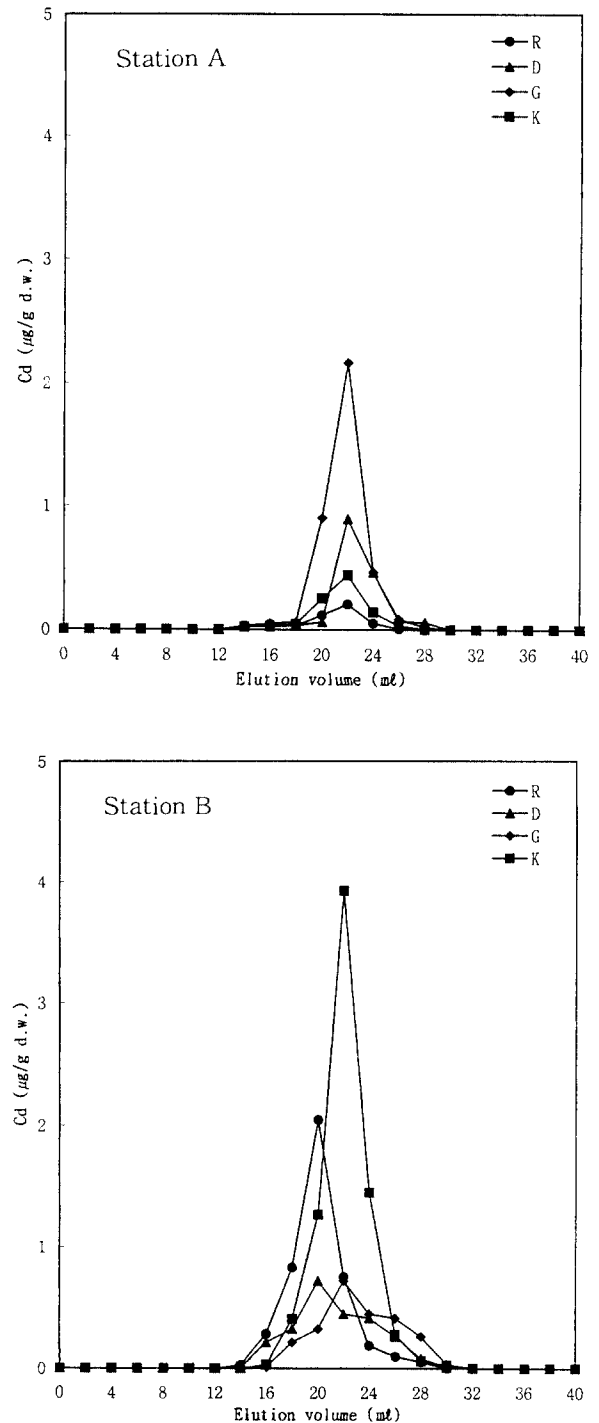


Fig. 2. Chromatographic elution profiles of the cytosolic fraction from digestive gland (D), gill (G), kidney (K), and the remaining tissues (R) of *Mytilus edulis* at stations B and E in the Onsan coastal zone. Mammalian MT would elute at 22 ml.

다른 분자량의 금속 결합 단백질에 결합한다고 알려져 있다 (Bebianno *et al.* 1992).

적 요

온산연안의 중금속 농도분포를 조사하기 위하여 1997년 2월과 7월에 걸쳐 해수를, 1997년 2월에 진주담치 (*Mytilus edulis*) 내의 카드뮴, 구리, 아연 농도를 측정하였다.

해수중의 카드뮴, 구리, 아연의 농도는 0.008~2.988, 0.08~24.55, 0.21~35.12 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였고 대정천 유입구로부터 거리에 따른 감소는 이 하천이 여전히 온산연안의 중금속 오염원인 것을 나타냈다.

진주담치의 카드뮴, 구리, 아연의 농도범위는 1.40~25.09, 8.5~64.5, 46.8~291.2 $\mu\text{g/g}$ 건량으로 해수의 중금속 분포경향과 일치하였다. 기관별 중금속 분포에서는 카드뮴의 경우 아가미에서 가장 높은 축적을 나타냈고 구리는 소화선에서, 아연은 신장에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 세포질 내에 존재하는 카드뮴은 소화선과 신장에서 높은 분포를 보였고 구리는 신장에서, 아연은 소화선에서 높은 분포를 보였다. 대정천 유입구에서 채집한 개체에서 MBP을 분리해낸 결과 신장과 아가미에서 대부분의 카드뮴이 MBP 내에 분포하고 있는 반면 소화선과 나머지 기관에서는 HMWP에 많은 카드뮴이 결합되어 있었다.

인 용 문 헌

이수형. 1994. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염 연구. 한국패류학회지 10: 24-40.

Bebianno, M.J., W.J. Langston, and K. Simkiss. 1992. Metallothionein induction in *Littorina littorea* (Mollusca : Prosobranchia) on exposure to cadmium. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 72: 329-343.

Bruland, K.W. 1983. Trace elements in seawater. In *Chem. Oceanography*. Riley, J.P. and Chester, R., Eds., Academic Press, London. 8: 157.

_____. and R.P. Frank. 1983. Mn, Cu, Zn, and Cd in the Western North Atlantic. In C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D. Burton and E.D. Goldberg (eds) *Trace elements in seawater*. pp. 395-414.

_____, J.R. Donat and D.A. Hutchins. 1991.

Interactive influences of bioactive trace metals on biological production in oceanic waters. *Limnol. Ocean.* 36: 1555-1577.

_____, *et al.*, 1979. Sampling and analytical methods for the determination of Cu, Cd, Zn, and Ni at the nanogram per liter in sea water. *Anal. Chim. Acta.* 105: 233-245.

Frazier, J.M., S.S. George, J. Overnell, T.L. Coombs and J.H.R. Kägi. 1985. Characterization of two molecular weight classes of cadmium binding proteins from the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Comp. Biochem. Physiol.* 80C: 257-262.

George, S.G. 1990. Biochemical and cytological assessments of metal toxicity in marine animals. In *Heavy Metals in the Marine Environment*. Furness, R.W. and Rainbow, P.S., Eds., CRC Press, Inc. pp 123-142.

_____, E. Carpen T.L. Coombs, J. Overnell and A. Youngson. 1979. Characterization of cadmium-binding proteins from mussels, *Mytilus edulis* (L.) exposed to cadmium. *Biochim. Biophys. Acta.* 580: 225-233.

Jackim, E.G. Morrison and R. Steele. 1977. Effects of environmental factors on radiocadmium uptake by four species of marine bivalves. *Mar. Biol.* 40: 303-308.

Langston, W.J. and M. Zhou. 1986. Evaluation of the significance of metal-binding proteins in the gastropod, *Littorina littorea*. *Mar. Biol.* 92: 505-515.

Maccarty, H.T. and P.C. Ellis. 1991. Comparison of microwave digestion for analysis of Pb, Cd, Cr, Co and Zn in shellfish by flame AAS. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 74: 566-569.

Mackay, E.A., J. Overnell, B. Dunbar, I. Davidson, P. E. Hunziker, J.H.R.K. gi, and J.E. Forthergill. 1990. Polymorphism of cadmium-induced mussel metallothionein. *Experientia* 46: 36.

Mason, A.Z. and J.A. Nott, 1981. The role of intracellular biomineralised granules in the regulation and detoxification metals in gastropods with special reference to the marine prosobranch *Littorina littorea*. *Aquat. Toxicol.* 1: 239.

_____, and K. Simkiss. 1983. Interactions be-

- tween metals and their distribution in tissues of *Littorina littorea* (L.) collected from clean and polluted sites. J. Mar. Biol. Ass. U. K. 63: 661-672.
- _____, K.D. Jenkins and P.A. Sullivan. 1988. Mechanisms of trace metal accumulation in the polychaete *Neanthes arenaceodentata*. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 68: 61.
- Nolan, C.V. and E. J. Duke. 1983. Cadmium accumulation and toxicity in *Mytilus edulis* : involvement of metallothioneins and heavy molecular weight proteins. Aqua. Toxicol. 4 : 153-163.
- Pavicic, J., M. Skreblin, B. Raspor and M. Branica. 1987. Metal pollution assessment of the marine environment by determination of metal-binding proteins in *Mytilus* sp. 22: 235-248.
- Phillips, D.J.H. and D.A. Segar. 1986. Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants : programme design imperatives. Mar. Pollut. Bull. 17: 10.
- Rainbow, P.S., A.G. Scott, E.A. Wiggins and R.W. Jackson. 1980. Effect of chelating agents on the accumulation of cadmium by the barnacle *Semibalanus balanoides*, and complexation of soluble Cd, Zn and Cu. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2: 143-152.
- Roesijadi, G. 1981. The significance of low molecular weight, metallothionein-like proteins in marine invertebrates. Mar. Environ. Res. 66: 151-157.
- Unger, M.E., T.T. Chen, C.C. Fenselau, C. M. Murphy, M.M. Vestling and G. Roesijadi. 1991. Primary structure of a molluscan metallothionein deduced from molecular cloning and tandem mass spectrometry. Biochim. Biophys. Acta. 1074: 371-377.
- Viarengo, A., S. Palmero, G. Zanicchi, R. Capelli, R. Vaissiere and M. Orunesu. 1985. Role of metallothioneins in Cu and Cd accumulation and elimination in the gill and digestive gland cells of *Mytilus galloprovincialis* Lam. Mar. Environ. Res. 16: 23-36.

(1998년 3월 5일 접수)