

온산만의 퇴적물과 총알고둥(*Littorina brevicula*)내 중금속 분포

송미연 · 최병래* · 박경숙** · 이인숙

이화여자대학교 생물학과, 성균관대학교 생물학과*, 성신여자대학교 생물학과**

Distribution of Heavy Metals in the Sediments and Periwinkles (*Littorina brevicula*) of Onsan Bay, Korea

Song, Mi-Yeoun, Byung-Lae Choe*, Kyung-Sook Park** and In-Sook Lee

Department of Biology, Ewha Womans University

Department of Biology, Sungkyunkwan University*

Department of Biology, Sungsin Womans University**

ABSTRACT

To investigate the distribution of heavy metal concentrations in Onsan bay, concentrations of cadmium, copper, zinc and lead in surface sediments and the periwinkles (*Littorina brevicula*) were determined in February and July, 1996.

The ranges of cadmium, copper, zinc and lead concentrations in the surface sediments were 0.08~3.72, 3~307, 49~1273 and 15~399 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively. The decrease of concentration in heavy metals with distance from Daejeong stream indicated that this stream is the pollutant source of heavy metals in Onsan Bay.

The concentrations of cadmium, copper, zinc and lead in *L. brevicula* were 0.11~11.81, 21~212, 30~96 and 0.26~4.12 $\mu\text{g/g}$ dry weight in February and 1.01~24.9, 66~325, 54~225 and 0.68~8.41 $\mu\text{g/g}$ dry weight in July, respectively. These concentrations in *L. brevicula* were the significantly different ($p < 0.001$) with the season of sampling. However, overall distribution of concentrations of heavy metals in *L. brevicula* had very similar tendency that concentrations of heavy metal decreased with the distance from the pollutant source irrespective of the two seasons.

Therefore, *L. brevicula* is considered as a useful indicator for heavy metals pollution.

According to analysis of the organs, tissues such as the digestive gland, gill and visceral mussel accumulate high concentrations of heavy metals.

Key words : Heavy metals, *Littorina brevicula*, Sediments, Daejeong stream.

서 론

어떤 특정 해역의 중금속 오염조사는 해수나 해저퇴적물 및 그 해역에 서식하는 정착성 생물을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 해수는 시간과 장소 및 하천수의 유입이나 외양해수와의

* 본 연구는 1996년도 교육부의 기초과학연구소 학술조성비(BSRI-96-4421)로 수행된 연구내용의 일부임.

혼합 정도, 해류, 조석 등으로 인해 크게 변하는 관계로 1~2 회의 측정만으로는 정확한 오염도 조사가 곤란하며, 장기간에 걸친 주기적인 시료채취 및 측정이 요구될 뿐만 아니라 (이 1994), 해수중 중금속 농도는 생물체나 퇴적물에 비해 매우 낮기 때문에 분석에 어려움이 있다 (이 등 1986). 그러나 해저퇴적물은 퇴적 당시의 특성을 지닌 채 장기간에 걸쳐 축적, 보존되어 있으므로, 해양 환경내의 오염의 역사를 알려주고, 또한 지화학적으로 환경변화를 잘 알리는 지표이므로, 연안 중금속 오염도를 측정하는데 흔히 사용되고 있다 (Hanson et al. 1993). 또한 연체동물은 정착성 생물이고, 시료채취가 용이하며, 세계적으로 널리 분포되어 있으면서 오염물질이 체내에 잘 축적되므로 연체동물을 해양 오염지표종으로 이용하면 분석이 용이하고, 국지성 생물이어서 특정해역의 오염상태에 대한 정보를 제공해줌으로 오염물질의 지역간, 국가간 오염도 비교가 가능하다. 또한 연체동물은 오염물질에 대한 내성이 강하므로 일반생물이 폐사된 오염해역에서도 살아남아 오염에 대한 정보를 제공해 준다. 지표생물중의 오염물질은 생물학적 반감기가 보통 수개월 정도로 반감기가 하루 이하인 해수나 일년 이상 되는 퇴적물을 이용한 오염 감시가 적합하지 않을 경우에도 활용할 수 있다 (Goldberg 1986).

지표생물을 이용한 해역의 오염측정에 대한 국제적 공동노력은 꾸준히 계속되고 있다 (Ayling 1974, NAS 1980, IOC Summary Report 1981, Hammond 1982, Moore 1987, Martin et al. 1988, IMWC 1992, Granby and Spliid 1995). 우리나라는 1970년대까지는 수산생물에 대한 중금속 조사가 간헐적으로 있었을 뿐 (원 1973, 수산진흥원 1983) 지표 생물을 이용한 연안해역의 오염도 측정에 대해서는 체계적인 조사 연구가 없었다. 1980년대에 들어서서 비로소 진주담치(*Mytilus edulis*)를 지표생물로 이용한 해역의 중금속 오염 측정에 관한 연구가 체계적으로 시작되었다 (이 등 1982).

본 연구에서는 비철 금속류 및 석유화학산업이 입지하고 있는 온산공단이 위치한 온산만의 중금속 오염도를 조사하기 위하여 중금속의 유입원으로 추정되는 대정천을 중심으로 표층 퇴적물과 이곳에 널리 분포하고 있는 총알고둥(*Littorina brevicula*)을 채취하여 분석하였다. 총알고둥은 전 세계적으로 분포해 있고 지표종으로 유용하며 (Bryan et al. 1983) 연안지역의 오염도를 평가하는 연구에 많이 쓰였다 (Nickless et al. 1972, Bryan and Hummerstone 1977, Portmann 1979). 따라서 본 연구목적은 중금속 오염 평가에 총알고둥이 지표종으로 유용한지 알아봄으로써 우리 나라 연안 오염의 조기경고체제를 이루는데 일역을 담당하고자 한다.

조사지역

온산만은 경상남도 울주군 온산면에 위치하고 있고, 동쪽으로는 대한해협에 접하고, 위쪽으로는 외황강과 회야강이 유입되며, 서에서 동으로 흐르는 대정천이 위치하고 있다. 대정천 상류에 위치한 온산공단은 총 면적이 16.93 km²로 1974년 4월 1일 산업기지 개발구역으로 지정되면서 비철금속류 및 석유화학산업이 입지하게 됨으로써 이 비철금속 공업단지로부터 상당량의 중금속이 연안에 유입된 것으로 알려졌다 (과학기술처 1987). 온산공단 역시 온산공단과 마찬가지로 산업기지 개발구역으로 지정만 되었을 뿐, 단지조성이 완전히 이루어지기 전에 각 기업들이 입지한 결과 토지가 비합리적으로 이용되어 공장 기지는 물론 주변의 공해피해 등이 문제점으로 지적되고 있다 (김 등 1984). 또한 2011년까지 울산 석유화학단지 앞바다에 연간 3천만 톤의 물동량을 처리하는 신 항만이 건설된다. 기본계획안에 따르면 울산시 남구 용연동과 본 조사지역인 울주군 온산면 앞바다에 2만 톤급 컨테이너 부두 4선석 등 총 31선석을 갖추게 된다. 해양부는 1997년 하반기 중 방파제 등 정부부문 공사를 착공할 예정이라고 한다.

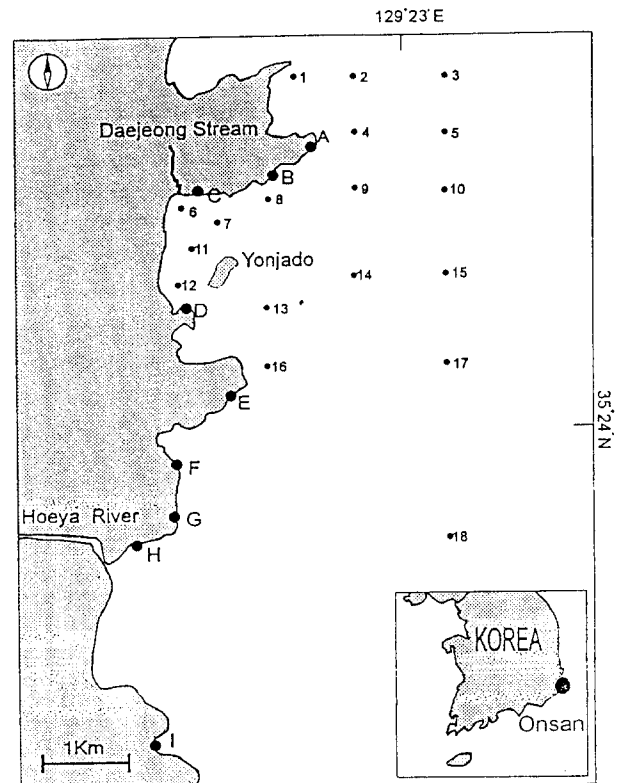


Fig. 1. Map of study area showing Onsan bay. There are nine stations for *Littorina brevicula* (A~I) eighteen stations for surface sediments (1~18).

분석방법

시료채취

1996년 2월과 7월, 2차에 걸쳐 대정천을 중심으로 정점간 거리가 약 1 km인 18개 정점에서 표층퇴적물을 채취하였고, 총알고둥은 9개 육상 연안정점에서 채취하였는데, 조사정점중 C 정점은 대정천 바로 앞에 위치해 있으며, A~B, D~H 정점은 해안을 따라 약 1 km 간격으로 위치해 있고, I 정점은 대조구로 C 정점으로부터 가장 멀리 위치해 있다 (Fig. 1).

표층퇴적물은 채니기를 사용하여 채취하였으며, 폴리에틸렌 지퍼 백에 옮겨 담아, 분석전까지 냉동보관하였다. 채집된 생물체는 4~8시간 간격으로 해수를 갈아주면서 24시간 정도 청장시킨 후 (이 등 1990) 폴리에틸렌 병에 담아 분석 전까지 냉동보관하였다.

퇴적물 분석

퇴적물은 입도와 유기물 함량 및 중금속 함량을 분석하였다. 입도는 원시료를 Ingram (1971)과 Galehouse (1971)의 방법으로 분석한 후, 그 결과를 Folk와 Ward (1957)의 도식법에 따라 처리하였고, 유기물 함량은 건조시료 0.5 g을 도가니에 담아 Microwave Furnace (MAS-7000)에 넣고 550°C에서 4~5시간 작용한 뒤 실온에서 냉각하여 중량의 감소로 유기물 함량을 계산하였다. 중금속 함량은 시료를 얼림 건조기에서 건조시킨 후 호박 막자사발로 균질하게 갈아서 80 mesh 나일론체로 쳐서 250 mg을 100 ml 용기에 옮겨 담고 4 ml 왕수 (진한 염산 3 ml와 진한 질산 1 ml)를 넣은 후 한번 흔들어서 이산화탄소를 제거하고 전자레인지(CEM MDS 2000)에서 Nieuwenhuize와 Poley-Vos (1991)의 방법에 따라 분해시켰다. 분해된 시료를 50 ml로 희석하여 불꽃-원자흡광분광기 (Perkin Elmer, Model 2380, 3100)로 카드뮴, 구리, 아연 및 납 농도를 분석하였다. 해양퇴적물의 공인된 표준물질 (MESS-2, National Research Council of Canada, NRC-CNRC)과 Blank도 시료와 같은 방법으로 분석하였다.

총알고둥(*Littorina brevicula*) 분석

총알고둥내 정점별 중금속 함량과 기관별 중금속 함량을 조사하였다. 중금속 함량은 연령차에서 오는 농도 차이를 최소화하기 위해 총알고둥(*L. brevicula*)의 패각 길이가 15~20 mm로 일정한 개체를 선택하여 20 개체를 한 묶음으로 티타늄 붕과

산으로 세척한 플라스틱 핀셋을 사용하여 패각을 제거했다. 육질을 얼림 건조기에서 건조시킨 후 호박막자 사발로 균질화시켰고, 각 정점의 시료는 3회 반복처리 하였다. 250 mg의 시료를 100 ml 용기에 옮겨 담고, 질산 5 ml를 넣은 후, Vessel을 흔들어 이산화탄소를 빼고 전자레인지에서 McCarthy와 Ellis (1991)의 방법에 따라 분해시켰다. 분해된 시료를 50 ml로 희석하여 불꽃-원자흡광분광기로 카드뮴, 구리, 아연 농도를 측정하였고, 납 농도는 ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer, VG-Plasma Quad II+)로 측정하였다. 공인된 표준물질 (SRM 1566a, National Institute of Standards and Technology, USA NIST)과 Blank도 시료와 같은 방법으로 분석하였다. 기관별 중금속 함량은 총알고둥(*L. brevicula*)을 아가미, 고둥 뚜껑, 소화선, 발조직, 패각, 내장낭으로 해부해서 앞의 방법과 동일하게 분석하였다.

결과 및 고찰

퇴적물

중금속 분석의 정확성을 기하기 위해 공인된 표준물질을 분석하여 회수율을 측정하였다. 해양 퇴적물의 공인된 표준물질인 MESS-2 중금속 회수율의 범위는 92.4~100%로 나타났다. 18개 퇴적물 정점에서 카드뮴은 0.08~3.72 $\mu\text{g/g}$, 구리는 3~307 $\mu\text{g/g}$, 아연은 58~1,273 $\mu\text{g/g}$, 납은 15~399 $\mu\text{g/g}$ 의 범위를 나타냈다. (Table 1). 카드뮴, 구리, 아연, 납 모두 대정천 앞의 정점인 6에서 3.72, 307, 1,273, 399 $\mu\text{g/g}$ 로 가장 높게 나타났으며 대정천 앞에서 바깥쪽으로 갈수록 중금속 농도가 감소하였다 (Fig. 2). 정점 6의 중금속 농도가 다른 정점에 비해 높은 것은 유입원과 가장 가까운 거리에 위치하기 때문이라 생각된다.

퇴적물의 입도 분포는 연안에서 멀어질수록 조립해지는 양상을 보이고, 금속함량은 전반적으로 퇴적물의 입도와 밀접한 관련성을 보이며 (조 등 1994) 이는 오염의 영향을 받지 않는 자연 퇴적물에 있어서도 동일하다고 한다 (Forstner and Wittman 1983). 또한 미량 원소는 대부분 퇴적물내 펄인 실트질과 점토질 같은 세립자와 결합되어 있다고 알려졌다 (Hanson et al. 1993). Shi 등 (1985)이 입도별 부유물 농도를 계산한 결과 극세립사에서 극조립실트로 가면서 부유량이 증가하며, 일반적으로 입도가 조립화함에 따라 점차 함량이 증가하는 관련성을 보여주고 (조 등 1993, Horowitz and Elrick 1987), 퇴적물 금속농도는 입자크기가 작을수록 증가하는 것으로 나타났다 (Wong and Moy 1984). 따라서 펄 함량이 증가 될수록 중금속 농도도 증가하는데, 금속원소의 분포에 있어서 상반된 결

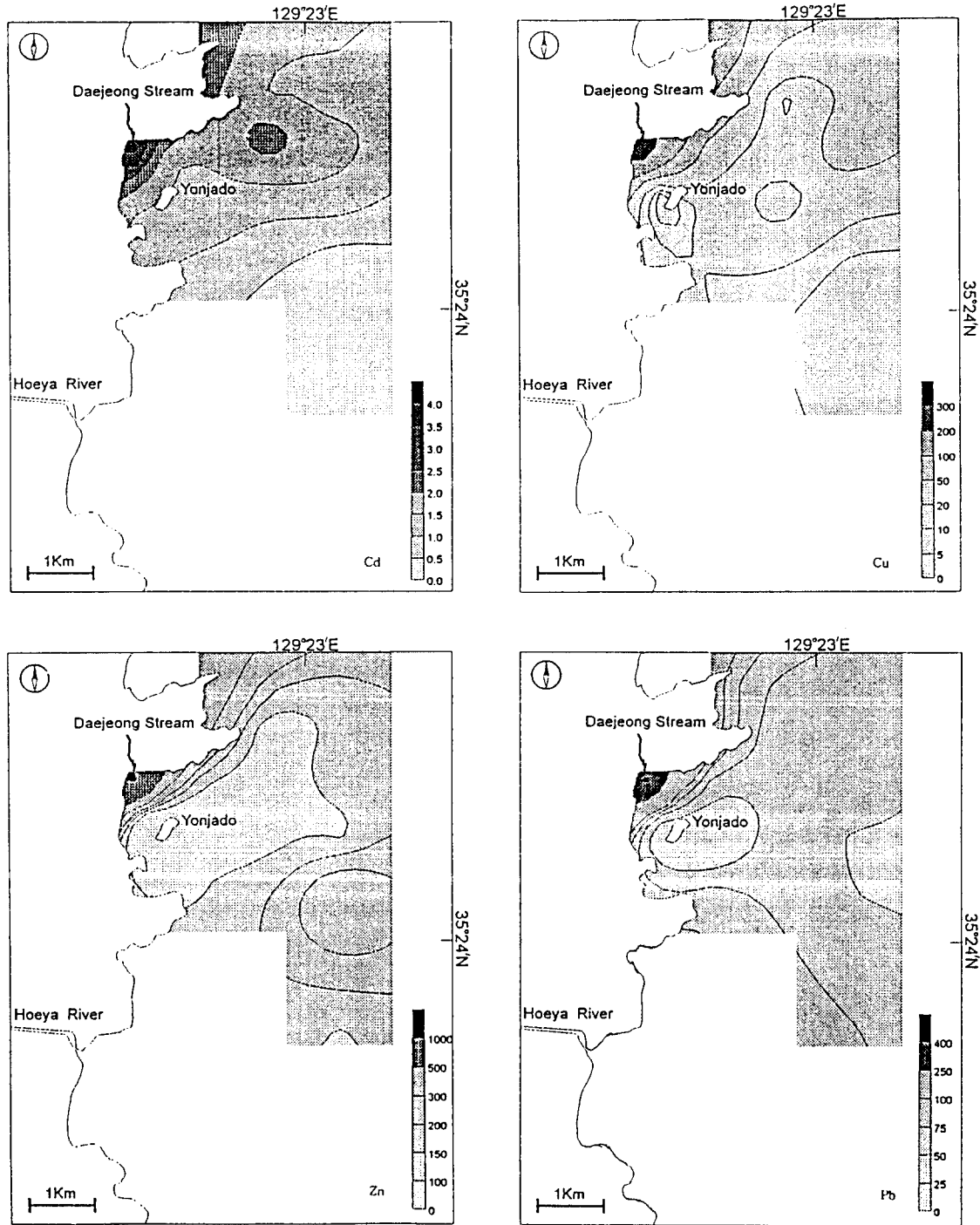


Fig. 2. Distribution of cadmium, copper, zinc and lead concentrations ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in surface sediments in the Onsan bay.

상반된 결과가 나타나는 현상은 오염물질 유입으로 인한 영향에 기인한 것으로 볼 수 있다.

Table 1. Mud content(%), sediment type, mean grain size(ϕ), organic matter content(%) and concentrations of heavy metals of surface sediments in Onsan bay

St.	Mud content(%)	Sediment type	Mz (ϕ)	Organic matter content(%)	Cd ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	Cu ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	Zn ($\mu\text{g/g}$ dry weight)	Pb ($\mu\text{g/g}$ dry weight)
1	69	Silty sand	2.3	6.7	2.18	122	379	79
2	86	Clayey silt	6.8	6.3	1.61	42	174	45
3	49	Silty sand	4.6	3.7	1.52	33	139	37
4	91	Sandy mud	8.6	12.6	1.45	9	70	37
5	83	Sandy mud	7.6	7.0	1.03	5	63	31
6	0	Sand	2.4	1.9	3.72	307	1273	399
7	36	Silty sand	3.5	1.8	1.67	94	261	104
8	28	Slayey silt	4.6	4.3	1.62	39	154	49
9	9	Sand	0.7	3.2	2.32	13	68	44
10	96	Clayey silt	7.3	7.6	1.72	29	146	40
11	8	Sand	2.6	2.0	1.92	95	149	81
12	3	Sandy silt	4.1	1.4	1.58	17	64	32
13	1	Sand	2.4	7.8	1.28	17	95	15
14	94	Sandy mud	8.5	7.0	1.19	26	73	34
15	92	Sandy mud	8.1	6.5	0.63	14	58	23
16	80	Sandy mud	7.5	7.8	0.82	10	101	74
17	96	Silt	6.0	12.5	0.12	3	291	26
18	98	Mud	8.9	11.7	0.08	3	96	52

구리와 아연의 농도 분포를 보면 (Fig. 2), 온산만내 대정천 앞에서 연자도까지 농도가 감소하다가 연자도 밖에서 농도가 증가하는데 이는 펄 함량과 유기물 함량의 영향이라 여겨지며 입도 크기가 중요한 원인일 것이다. 온산만내 펄함량과 유기물 함량간($r=0.75$)에는 고도로 유의적인 정상관($p<0.001$)을 나타냈으며, 중금속간에도 고도로 유의적인 정상관($p<0.001$)을 나타냈다. 구리는 일반적으로 유기물과 잘 결합하는 원소로 알려져 있고 (Montoura *et al.* 1978), 구리 및 아연은 퇴적물의 세립성분과 친화력이 매우 큰 원소로 알려져 있다 (Horowitz 1991). 펄 함량은 만 앞 정점 6에서 최저 값을 보이고 바깥 정점 18에서 최대 값을 보인다. 입도도 앞 정점 9가 최소 값이고, 바깥 정점 18이 최대 값으로 나타났다. 유기물 함량은 앞 정점 7이 최소 값을 보이고, 바깥 정점 4가 최대 값을 보인다 (Table 1). 18개 정점은 대정천 앞쪽에서 바깥쪽으로 펄 함량과 입도, 유기물함량의 분포는 증가하는 경향을 나타내고, 퇴적물 형태는 앞쪽에 사질 바깥쪽에 실트질, 펄형태로 존재한다 (Fig. 3).

본 연구결과는 1985년에 조사 (현대엔지니어링주식회사 1985)된 울산만의 카드뮴, 아연, 납농도에 비해 높고, 구리농도는 낮게 나타났으며 1995년에 김(1996)이 조사한 진해만의 퇴적물내 중금속 농도 (카드뮴 0.2~3 $\mu\text{g/g}$, 구리 25~150 $\mu\text{g/g}$, 아연 90~480 $\mu\text{g/g}$, 납 12~80 $\mu\text{g/g}$)와 비교하면 카드뮴과 납 농도는 약간 높고, 구리와 아연농도는 약 2배 높게 나타났다.

총알고둥(*Littorina brevicula*)

중금속 분석의 정확성을 기하기 위해 공인된 표준물질을 분석하여 회수율을 측정하였는데 해양 생물체의 공인된 표준물질인 SRM 1566a 중금속 회수율의 범위는 99.6~102.5%로 나타났다. 2월과 7월에 걸쳐 9개 정점에서 총알고둥을 채집하였고, 회야강의 영향을 알아보기 위해 H정점은 7월에 추가하였다. 2월에 채집된 총알고둥의 카드뮴 농도범위는 0.11~11.81 $\mu\text{g/g}$ 이고, 구리 농도범위는 21~212 $\mu\text{g/g}$, 아연 농도범위는 30~96 $\mu\text{g/g}$, 납 농도범위는 0.26~4.12 $\mu\text{g/g}$ 였다. 7월에 채집된 총알고둥의 카드뮴 농도범위는 1.01~24.9 $\mu\text{g/g}$, 구리 농도범위는 66~325 $\mu\text{g/g}$, 아연 농도범위는 54~225 $\mu\text{g/g}$, 납 농도범위는 0.68~8.41 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타났다 (Table 2). 중금속 농도는 2월과 7월 모두 대정천 앞 정점에서 가장 높게 나타났고, 멀어질수록 낮아지는 경향을 보였다. 회야강으로부터 중금속 유입이 있는지 조사하기 위해 H정점을 조사하였는데 H정점은 대조구인 I정점과 차이를 보이지 않았다. 따라서 회야강으로부터 중금속 유입은 거의 없는 것으로 생각된다. 총알고둥의 중금속 농도에 대한 계절간 차이는 고도로 유의하게 나타났다 ($p<0.001$). Phillips (1976)는 진주담치에서 수온과 염도가 중금속 흡수에 영향을 준다고 보고했고 Coimbra와 Carraca (1990)는 진주담치의 생식 주기가 중금속 축적에 영향을 준다고 보고하였다. 따라서 중금속 농도는 이러한 내적, 외적 요인들이 복합적으로 영향을 미칠 것이므로 지표종의 중금속 축적의 연간

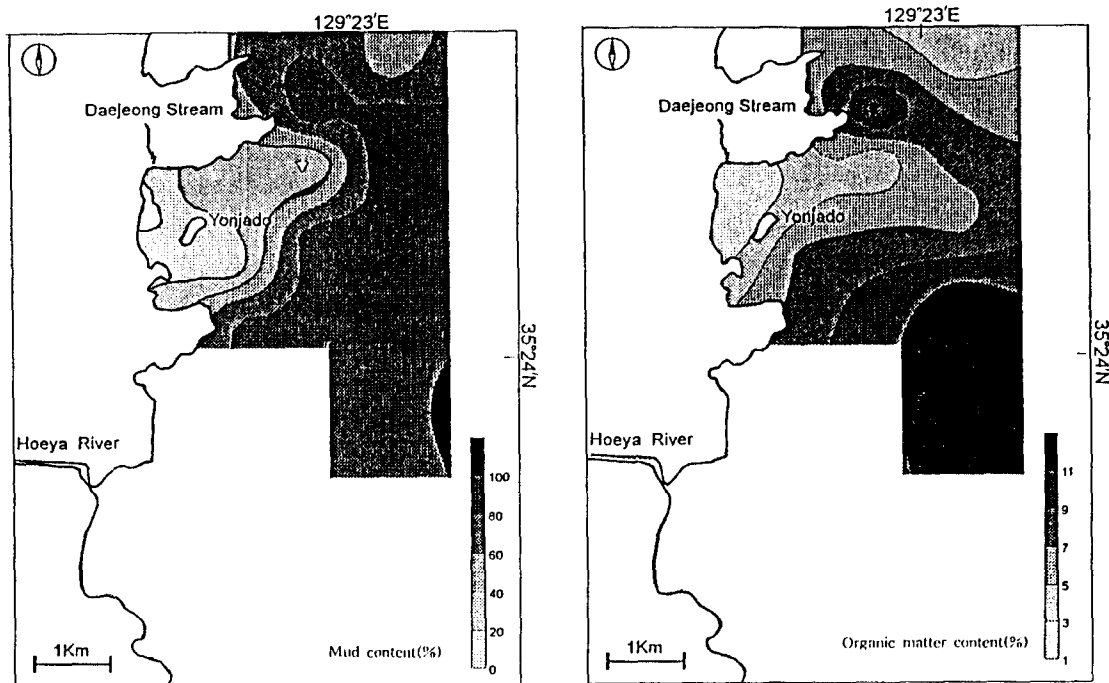


Fig. 3. Distribution of mud content(%) and organic matter content(%) in surface sediments in the Onsan bay.

Table 2. Heavy metal concentrations ($\mu\text{g/g}$ dry weight) of *Littorina brevicula* in the Onsan bay

St.	Month	Cd	Cu	Zn	Pb
A	Feb.	2.47 \pm 0.07	212 \pm 9	89 \pm 0.2	1.92 \pm 0.18
	Jul.	5.11 \pm 0.53	271 \pm 6	106 \pm 11	1.08 \pm 0.51
B	Feb.	2.28 \pm 0.01	100 \pm 9	50 \pm 2	0.26 \pm 0.10
	Jul.	4.06 \pm 1.03	233 \pm 43	115 \pm 12	1.28 \pm 1.16
C	Feb.	11.81 \pm 0.10	126 \pm 4	88 \pm 1	1.76 \pm 0.89
	Jul.	24.98 \pm 3.02	325 \pm 73	225 \pm 43	3.02 \pm 2.62
D	Feb.	4.31 \pm 0.04	133 \pm 5	96 \pm 9	4.12 \pm 1.38
	Jul.	12.58 \pm 3.44	252 \pm 65	142 \pm 30	8.41 \pm 2.42
E	Feb.	1.05 \pm 0.04	79 \pm 4	42 \pm 0.3	0.89 \pm 0.30
	Jul.	2.03 \pm 0.52	182 \pm 35	78 \pm 8	1.39 \pm 0.29
F	Feb.	0.65 \pm 0.02	70 \pm 0.1	42 \pm 1	0.58 \pm 0.45
	Jul.	2.12 \pm 0.33	101 \pm 1	67 \pm 6	2.31 \pm 0.41
G	Feb.	0.18 \pm 0.01	21 \pm 1	33 \pm 0.2	0.35 \pm 0.15
	Jul.	1.10 \pm 0.15	77 \pm 6	60 \pm 5	0.81 \pm 0.19
H	Jul.	1.09 \pm 0.41	69 \pm 3	55 \pm 15	0.72 \pm 0.24
I	Feb.	0.11 \pm 0.03	29 \pm 1	30 \pm 1	0.33 \pm 0.16
	Jul.	1.01 \pm 0.14	66 \pm 23	54 \pm 4	0.68 \pm 0.18

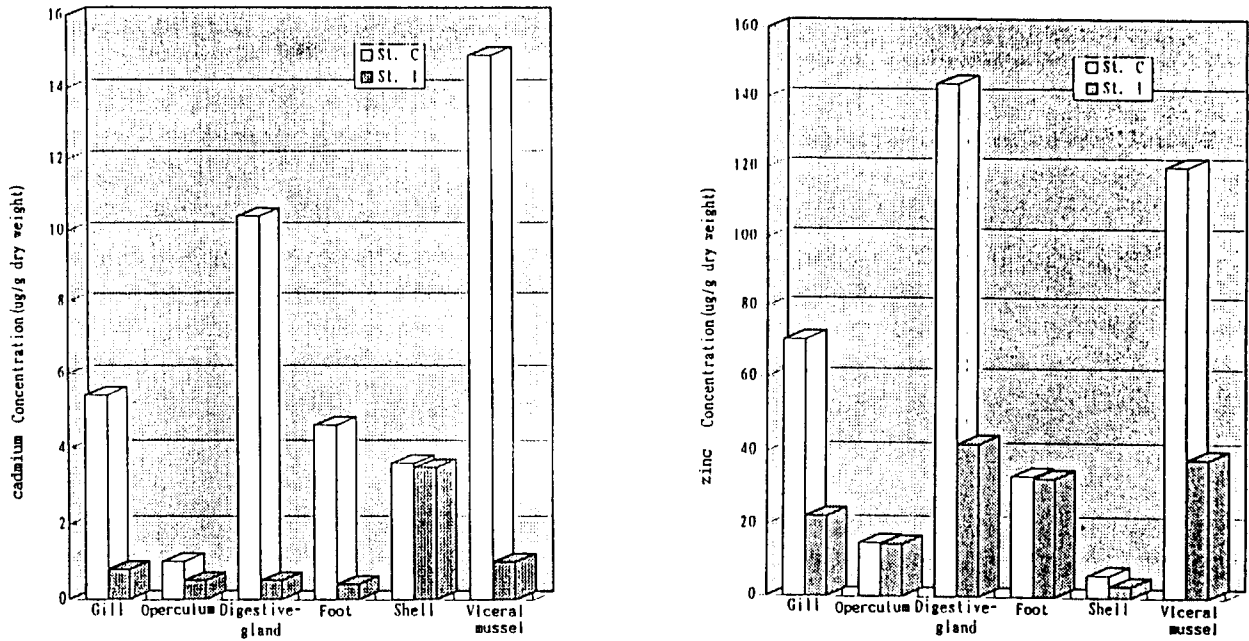


Fig. 4. Accumulation of cadmium and zinc in different organs of *Littorina brevicula*.

변동을 좀더 자세히 연구할 필요가 있다. 그러나 총알고둥의 중금속 농도의 전체적인 분포는 2월, 7월 모두 계절에 따른 차이는 있으나 오염원과의 거리가 멀어질수록 감소하는 일정한 경향을 보였고, 이러한 경향은 퇴적물의 중금속 농도 분포와 비슷하게 나타났으므로 총알고둥이 지표생물로 유용하다고 판단된다.

본 연구의 결과를 1993년에 마산 등에서 조사된 (강 1995) 총알고둥내 중금속 농도와 비교하면 카드뮴의 최고농도는 2월과 7월 모두 높은 11.81 µg/g과 24.98 µg/g를 보였고 구리는 212 µg/g와 325 µg/g로서 울산의 최고 농도 287 µg/g과 강릉의 215 µg/g에 비해 더 높았으며, 아연은 96 µg/g과 225 µg/g로서 울산, 남해, 마산의 최고농도 (128, 127, 121 µg/g)에 비해 7월이 2배 정도 높았고, 납은 4.12 µg/g와 8.41 µg/g으로서 울산의 최고 농도 7.91 µg/g에 비해 높았다.

조사 정점 중 총알고둥의 중금속 농도가 가장 높은 대정천 앞 C정점과 가장 낮은 대조구 I정점에서 총알고둥의 기관별 카드뮴과 아연의 농도를 측정하였다. 아가미의 아연 농도는 C정점에서 70.5 µg/g 으로 I정점 22.2 µg/g에 비해 약 3배 높고, 고동 뚜껑은 비슷하고, 소화선은 약 3배 높고, 발조직은 비슷하고, 패각은 약 2배 높고, 내장낭은 약 3배 높게 나타났다. C와 I 정점별 차이가 가장 큰 기관은 소화선이고, 그 다음은 아가미, 내장낭, 패각, 고동 뚜껑, 발조직 순으로 나타났다 (Fig. 4). 두

정점간의 기관별 카드뮴, 아연농도를 t-test한 결과는 아가미, 소화선 및 내장낭의 카드뮴, 아연농도는 두 정점간에 고도로 유의적인 차이를 나타냈고 (p<0.001), 패각은 두 정점간 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 즉 기관별 카드뮴과 아연이 기관에 따라 다르게 축적되며 비교적 중금속을 많이 축적하는 기관은 소화선, 아가미, 내장낭이고, 거의 축적하지 않는 기관은 고동 뚜껑, 패각, 발조직이었다. 특히 패각내 카드뮴농도는 변화가 거의 없으므로 카드뮴을 거의 축적하고 있지 않음을 보였고, 발조직과 고동 뚜껑은 아연농도에 변화가 거의 없으므로 아연을 거의 축적하지 않는 것으로 판단된다.

적 요

온산만의 중금속 농도분포를 조사하기 위해 1996년 2월과 7월에 걸쳐 표층퇴적물과 총알고둥(*Littorina brevicula*)내의 카드뮴, 구리, 아연, 납 농도를 측정했다.

표층 퇴적물의 카드뮴, 구리, 아연, 납의 농도 범위는 0.08~3.72, 3~307, 49~1,273, 15~399 µg/g 건량이다. 대정천으로부터 거리에 따른 중금속 농도의 감소는 이 하천이 온산만내 중금속의 오염원인 것을 나타낸다.

총알고둥의 카드뮴, 구리, 아연, 납의 농도 범위는 2월에 0.11~11.81, 21~212, 30~96, 0.26~4.12 µg/g 건량이었으며, 7월

에 1.01~24.9, 66~325, 54~225, 0.68~8.41 $\mu\text{g/g}$ 건량이었다. 총알고등내의 농도는 채집시기에 따라 유의적인 차이 ($p < 0.001$)를 보였다. 그러나 총알고등내의 중금속 농도의 전반적 분포는 중금속의 농도가 두 계절에 상관없이 거리에 따라 감소되는 매우 비슷한 경향을 가졌다. 따라서 총알고등을 중금속 오염에 대한 지표 생물로 이용할 수 있으리라 생각된다. 기관별 분석에 따르면 소화선, 아가미조직, 내장낭과 같은 조직에 중금속이 높은 농도로 축적했다.

인 용 문 헌

- 강성현. 1995. 진해만에 서식하는 해산 이매패류와 복족류의 독성유기오염물질 생물농축과 오염 스트레스의 영향. 서울대학교대학원 해양학과 이학박사학위논문. p.175.
- 과학기술처. 1987. 한국연안역 종합개발연구. BSPG000 48-165-6.
- 김안제. 1984. 울산·온산공단 공해피해주민 이주대책을 위한 조사연구. 서울대학교 환경대학원. 환경계획연구소.
- 김은정. 1996. Contamination assessment and bioavailability of heavy metals in the Chinhae bay system, Korea. 이화여자대학교 대학원 생물과학과 이학석사학위논문. p.93.
- 수산진흥원. 1983. 한국연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구. 국립수산진흥원 사업보고. 제58호. pp.626.
- 원종훈. 1973. 한국산 어패류종의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 함량. 한국수질보전학회지. 6:1-19.
- 이광우, 이수형, 양동범, 오재룡, 김은수. 1982. 생태계내에 있어서 오염물질의 이동체계에 관한 연구. 한국해양연구소 보고서. BSPE00032-60-4.
- 이광우, 이수형, 이동수. 1986. 한국연안 퇴적물의 중금속 오염역사에 관한 연구. 한국과학기술원. 해양연구소.
- 이수형, 유신재, 김창식, 양동범, 홍기훈, 오재룡, 김석현, 강성현, 조성록, 정창수, 김경태, 이선경, 박선규, 김종근, 제종길. 1990. 연안환경보전기술개발연구. 한국해양연구소보고서. BSPG00112-315-4.
- 이수형. 1994. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염연구. 한국패류학회지, 10(2):24-40.
- 조영길, 이창복, 박용안, 김대철, 강효진. 1993. 황해동부 대륙붕과 한반도 서해안 표층퇴적물의 지구화학적 특성. 한국제4기학회지, 7:69-92.
- 조영길, 이창복, 최만식. 1994. 남해대륙붕 표층퇴적물중 중금속원소의 분포 특성. 한국해양학회지, 29(4):338-356.
- 현대엔지니어링주식회사. 1985. 낙동강유역 환경보전 종합계획사업 해양부분보고서. p.153.
- Ayling, G.M. 1974. Uptake of cadmium, zinc, copper, lead and chromium in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, grown in the Tamar River. Water Res., 8:729-738.
- Bryan, G.W. and L.G. Hummerstone. 1977. Indicators of heavy metal contamination in the looe estuary with particular regard to silver and lead. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 57:75-92.
- Bryan, G.W., W.J. Langston, L.G. Hummerstone, G. R. Burt. and Y.B. Ho. 1983. An assessment of the gastropod, *Littorina littorea*, as an indicator of heavy metal contamination in United Kingdom estuaries. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 63:327-345.
- Coimbra, J. and S. Carraca. 1990. Accumulation of Fe, Zn, Cu and Cd during the different stages of the reproductive cycle in *Mytilus edulis*. Comp. Biochem. Physiol. 95C:265-270.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar. A study in the significance of grain size parameters. J. Sed. Pet., 27:3-26.
- Forstner, U. and G. T.W. Wittman. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 486pp.
- Galehouse, J.S. 1971. Sedimentation analysis. In: Carver. R.E. ed., Procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience: pp.69-94.
- Goldberg, E.D. 1986. The mussel watch concept. Environ. Moni. Asses. 7:91-103.
- Granby, K. and N.H. Spliid. 1995. Hydrocabons and organochlorines in common mussels from the Kattegat and the Belts and their relation to condition indices. Mar. Poll. Bull., 30(1):74-82.
- Hanson P.J., D.W. Evans and D.R. Colby. 1993. Assessment of elemental contamination in estuarine and coastal environments based on geochemical and statistical modeling of sediments. Mar. Environ. Res. 36:237-266.
- Hammond, L.S. 1982. *Mytilus edulis* as a biological indicator of heavy metal pollution: A review. Mar.

- Sci. Lab., Queenscliff, Australia Tech. Report No. 23.
- Horowitz, A.J. and K.A. Elrick. 1987. The reaction of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry. *Appl. Geochem*, 2:437-451.
- Horowitz, A.J. 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers, 2nd ed., pp. 136.
- IMWC. 1992. The international mussel watch. pp. 122, The International Mussel Watch Committee.
- Ingram, R.I. 1971. Sieve analysis. In: Carver. R.E. ed., *Procedures in sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience: pp.49-68.
- IOC Summary Report. 1981. First session of the WESTPAC Task team on marine pollution research and monitoring using commercially exploited shellfish as determinents. Manila, Philippines, 26-30.
- Martin, M., M.D. Stephenson, D.R. Smith, E.A. Gutierrez Galindo and G.F. Munoz. 1988. Use of silver in mussels as a tracer of domestic wastewater discharge. *Mar. Poll. Bull.*, 19:512-520.
- Mccarthy H.T. and P.C. Ellis. 1991. Comparison of microwave digestion with conventional wet ashing and dry ashing digestion for analysis of lead, cadmium, chromium, copper and zinc in shellfish by flame atomic absorption spectroscopy. *J. Ass. Off. Anal. Chem.*, 74:566-569.
- Montoura, R.F.C., A. Dickson and J.P. Riley. 1978. Complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuar. Coast. and Mar. Sci.*, 6:387-408.
- Moore, M.N., D.R. Livingstone and J. Widdows. 1987. Hydrocarbons in marine molluscs: biological effects and ecological consequences. In: *Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment*. Varanasi, U. (ed), CRC Press Inc., Boca Raton, FL., pp.291-328.
- NAS. 1980. The international mussel watch. pp. 248. Washington, D.C. National Academy of Sciences.
- Nickless, G., R. Stenner. and N. Terrille. 1972. Distribution of cadmium, lead and zinc in the Bristol channel. *Marine Pollution Bulletin*, 3:188-190.
- 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.
- Phillips, D.J.H. 1976. The common mussel *Mytilus edulis* as indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper: I. Effect of environmental variables on uptake of metals. *Mar. Biol.*, 38: 59-69.
- Portmann, J.E. 1979. Chemical monitoring of residue levels in fish and shellfish landed in England and Wales during 1970-73. *Aquatic Environment Monitoring Report*. M.A.F.F. Directorate of Fisheries Research, No.1, pp70.
- Shi, N.C., L.H. Larsen, and J.P. Downing. 1985. Predicting suspended sediment concentration on continental shelves. *Mar. Geol.*, 62:255-275.
- Wong. G.T.F. and C.S. Moy. 1984. Cesium. 137. metals an organic carbon in the sediments of the James River Virginia. *Estu., Cost. She. Sci.* 18:37-49.

(1997년 2월 26일 접수)