

서해 중부연안 갯벌에서의 저질 및 패류 (*Solen Strictus* Gould) 중 중금속 분포특성

황갑수[†] · 신형선* · 김강주 · 여성구 · 김진삼

군산대학교 토목환경공학부 · *한국포준과학연구원 기초과학지원연구소

Concentration and Distribution of Heavy Metals in Sediments and Bivalves(*Solen Strictus* Gould) from Tidal Flats along the Mid-Western Coast, Korea

Gab-Soo Hwang[†], Hyung-Seon Shin, Kangjoo Kim*, Sung-Koo Yeo, Jin-Sam Kim

School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University

* Division of Analysis and Measurement, Korea Basic Science Institute

ABSTRACT

Heavy metal level and distribution in sediments and bivalves from the tidal flats along the mid-western coast, Korea, were investigated in this study. The averages of heavy metal concentrations in sediments from 5 sampling sites ranged from 86.35-187.77mg/kg for Mn, 13.25-17.73mg/kg for Zn, 6.80-11.85mg/kg for Cr, 4.28-6.25mg/kg for Ni, 1.85-3.09mg/kg for Cu, 0.004-0.020mg/kg for Cd and 5.70-10.41mg/kg for Pb, respectively. From the results of heavy metal concentrations in mussels, the levels of Mn and Fe concentrations in *S. strictus* collected from S1 and S2 sites were particularly high. Deviations of heavy metal concentrations among the individual mussels from the same site could be largely minimized by selecting mussel samples of the limited range in body size(8.5-11cm). Among the mussels of the limited body size, heavy metal concentrations both in the flesh and in the whole soft part were not strongly related to the body size. It was shown that, in *S. strictus*, Cu moves fast into the flesh parts after absorption, while Pb and Fe move fast into the non-flesh parts. Overallly, the heavy metal concentration in the flesh tends to increase with that in the whole soft parts. The concentration factors(heavy metal concentration in *S. strictus*/heavy metal concentration in sediment) showed that, of the examined metals, Cd is the most cumulative in the body of *S. strictus*, followed by Zn and Cu, while Mn, Cr, Ni and Pb are not cumulative.

Keywords : Heavy metal, Distribution, Sediments, Bivalves, *Solen strictus*, Tidal flats, Concentration factors

I. 서론

중금속은 그간의 역사적 사례에서 경험했듯이 그 오염의 피해와 휴유증이 크고 다양한 장기독성과 함께 발암성, 최기형성, 태아치사성 등을 야기하게 되며 미량으로도 큰 위해성을 초래할 수 있으므로 주변환경에 대한 오염평가에 있어 지속적인 주요 감시 대상물질이 되어왔다.

각종 산업활동에 수반하여 수계로 유입된 중금속

은 복잡한 물리화학적 과정에 의해 퇴적물중에 유입되거나 수중 유기체에 흡수, 축적된다. 중금속등의 오염물질에 대한 수계 오염평가를 위해서는 일차적으로 환경수와 퇴적물등에 대한 직접적인 물리화학적 분석이 이루어지기보다 내실있는 오염수준평가와 함께 오염물질의 축적성과 생체에 미치는 영향에 대한 구체적인 오염정보를 함께 얻을 수 있다는 장점들로 인해 근래 대상지역내에 서식하는 지표생물을 이용하여 오염평가를 수행하는 생물모니터링에 대한 관심²⁻⁴⁾이 점점하여 왔다.

이와 관련하여 패류는 서식분포가 비교적 광범위하고 고착성이며 비교적 긴 수명기간을 가지고 오염물질을 체내에 축적하므로 특히 중금속등에 대해서

[†]Corresponding author :School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University
Tel : 063-469-4964, Fax : 063-469-4964
E-mail : gshwang@kunsan.ac.kr

식지역의 오염실태와 기원을 파악할 수 있는 유용한 지표생물로 인식되어 왔다⁵⁾. 긴맛조개(*Solen strictus* Gould)는 죽합과에 속하는 식용패류로서 우리나라의 남서해안에 분포하고 진흙과 모래가 섞인 곳에 굴을 파고 살며 그들의 서식환경과 체장크기(성체의 각장 : 10cm)의 편이성등을 고려할때 갯벌환경의 오염환경에 대한 유용한 지표생물이 될 수 있을 것으로 판단된다.

패류를 수계환경의 중금속 오염수준 평가를 위한 지표생물로 이용하기 위해서는 패류의 체장, 성별, depuration, 계절등에 따른 중금속의 생체 분포특성에 대한 명확한 규명이 선행되어야 할 것으로 지적⁶⁻⁷⁾되어 왔다. 긴맛조개에 있어 생체크기와 중금속 농도간의 상호관계와 관련하여 황등⁸⁾은 Pb, Cr, Ni, Cu, Zn등의 중금속들이 건조중량이 증가함에 따라 체내 중금속 함량이 감소하는 경향을 나타내었음을 보고 하였으며 정확한 오염수준의 비교평가를 위해서는 보다 동등한 크기의 생체시료를 선별하여 오염평가에 이용함이 요구됨을 제시하였다.

이에 따라 본 연구에서는 가급적 동등한 크기의 생체시료들을 채취하고 또한 분석을 위한 시료대상 부위로서 육질부와 총 soft parts로 구분하여 연구를 수행함으로써 갯벌 서식환경에서의 맛살조개 생체내의 중금속 분포 및 거동을 보다 명확히 하고 나아가 긴맛조개를 중금속 오염의 지표생물로 활용하기 위한 실제적 유용성에 기여하고자 하였다. 또한 기호식품으로서의 긴맛조개에 대한 중금속 오염수준을 파악, 평가함으로써 국민보건 향상에 기여하고자 하며 본 연구에서의 갯벌환경에 대한 중금속 오염현황 평가가 향후 근래 간척사업 및 공단조성등 각종 개발 사업들의 수행으로 환경·생태계에 대한 심각한 피해가 우려되고 있는 서해연안에 대한 중금속 오염과 관련한 기초자료로서 유용하게 제공될 수 있기를 기대한다.

II. 시료채취 및 실험방법⁸⁾

저질시료와 긴맛조개의 채취는 1999년 6월에서 10월사이에 군산, 장항지역을 포함하는 서해 중부연안 5개 갯벌지역(Fig. 1)에서 수행하였다.

저질시료는 각 지점별로 긴맛조개를 채취한 해당 장소들의 20-25cm정도 깊이에서 일정량씩의 시료를 채취하여 플라스틱 bag에 넣어 운반하고 통풍이 잘 되는 청결한 곳에서 지점별로 잘 혼합한 다음

충분히 건조시킨후 시료로 사용하였다. 건조시료 1g을 칭량하여 석영제 도가니에 취하고 진한 HCl, 진한 HNO₃, 진한 HClO₄을 사용하여 순차적으로 digestion한 다음 분석에 사용되어졌다. 한 지점당 3개의 저질 분석시료들이 준비되어졌으며 Mn, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb등이 분석되어졌다. 긴맛조개는 건조시에 직접 채취하여 플라스틱 bag에 넣어 운반하고 분석전까지 냉동보존하였다. 채취한 긴맛조개들 중 체장 8.5-11cm범위의 개체들을 임의로 선별하여 긴맛조개의 껍질을 제거하고 흐르는 물과 증류수로 수회 반복 세척하여 외부 및 내장부의 이물들을 가급적 깨끗이 제거하였다. 이들을 105-110°C하에서 12시간동안 건조하고 개체별 건조무게를 칭량한 후 지점별로 육질부 시험용, 총 soft parts시험용에 대해 각각 5-9마리씩의 시료를 배정하였다. 해당시료들을 석영제 도가니에 취하고 Miramand등⁹⁾의 방법을 참고로 하여 분석시료들을 제조하였다. 이를 요약하면 sand bath위에서 시료에 진한 HNO₃ 5ml를 가하여 증발시킨 다음 진한 HNO₃와 진한 HClO₄의 3:1 혼합용액 9ml를 가하여 digestion시켜 시료가 백색으로 되어 내용물이 시럽상태로 될 때까지 가열, 농축하였다. 이를 냉각시킨 후 0.3N HNO₃를 가하여 30ml로 정용하고 여과시킨 후 분석시료로 사용하였다. 긴맛조개 시료에 대해서는 Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb 등이 분석되어졌다. 본 연구에서의 중금속 분석은 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer : Model PQ3, VG Elemental CO., UK)를 사용하여 수행하였다.

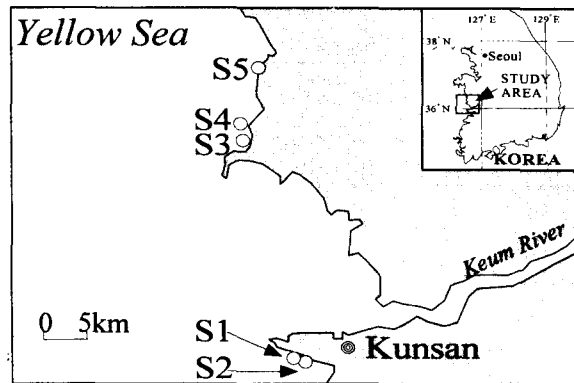


Fig. 1 Map showing sampling sites(S1:Osikdo-left, S2:Osikdo-right, S3:Chunjangdae, S4:Busa embankment, S5:Doksan)

III. 실험결과 및 고찰

1. 저질내 중금속 함량

서해 중부연안의 5개 조사지점들에서 채취한 저질내 중금속 농도를 조사한 결과는 Table 1 및 Fig. 2와 같다. Mn은 저질내 평균농도 범위가 86.35~187.77mg/kg로서 이는 유 등¹⁰⁾이 인천의 만경강 및 금강하구지역 저질시료들에 대해 보고한 Mn 평균농도 범위인 210.35~259.12mg/kg에 비해 0.33~0.89배에 해당하는 낮은 수준이었고, Zn은 평균농도 범위가 13.25~17.73mg/kg로서 유 등¹⁰⁾이 보고한 Zn 평균농도 범위인 17.52~25.59에 비해 약간 낮은 수준이었다. Cd는 평균 농도 범위가 0.004~0.020mg/kg으로서 유 등¹⁰⁾이 보고한 0.28~4.65mg/kg에 비해 현저히 낮은 수준이었으며, Laane 등¹¹⁾이 제시한 북미 노르웨이 연안의 저질내 평균농도인 0.08±0.02mg/kg에 비해서는 약간 낮은 농도수준을 나타내었다. 한편 Cu와 Pb는 저질내 평균농도 범위가 각각 1.85~3.09mg/kg, 5.70~10.41mg/kg으로 유 등¹⁰⁾이 만경강 및 금강하구지역 저질시료들에 대해 보고한 Cu 0.39~3.15mg/kg, Pb N.D.~4.12mg/kg에 비해서는 Cu는 다소, Pb는 상당히 높은 농도 수준을 나타내었고, Laane 등¹¹⁾이 제시한 북미 노르웨이 연안의 저질내 평균농도인 17±5.9mg/kg, 26±9.5mg/kg에 비해서는 현저히 낮은 농도수준을 나타내었다. 조사지점들에 있어 Cr과 Ni

의 저질내 평균농도는 각각 6.80~11.85mg/kg, 4.28~6.25mg/kg의 범위로 Bryan 등¹²⁾이 England 남서부 하구지역에서 저질내 평균농도 범위로 보고한 19~45mg/kg, 8.5~28mg/kg에 비해 낮은 농도 수준으로 나타났으며 앞으로 국내에서의 이들에 대한 많은 자료축적이 요망된다.

조사지점별에 따른 저질내 중금속 분포를 보면 Mn과 Pb가 S1, S2지점에서, Cr과 Cd가 S3, S5지점에서, Cu가 S2지점에서 각각 높은 평균 농도치를 나타내었으며 S4지점에서 중금속 평균농도들이 전체적으로 가장 낮은 수준을 나타내었다.

이와 같은 저질내 중금속 분석결과로부터 서해안 중부 조사지역의 갯벌은 아직 중금속 오염의 영향을 크게 받지 않은 것으로 판단되며 금번의 결과는 향후의 연안개발등으로 인해 우려되는 이 지역에서의 중금속 오염평가에 기초 자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 Mn은 저질 농도의 경우 다른 연구결과들에 비해 낮은 수준으로 나타났으나 Fe와 함께 하기의 긴맛조개 체내 중금속농도가 다른 연구결과들에 비해 상당히 높은 수준으로 나타난 바 이와 관련된 오염수준의 평가에 대한 명확한 검토가 있어야 할 것이다. 중금속간에 있어서는 Cr과 Ni의 조사지점별에 따른 저질내 분포양상이 매우 비슷하였다.

Table 1. Heavy metal concentration(mg/kg) in sediments.

Site	Heavy metals						
	Mn	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb
S1	187.77±29.56	17.73±1.01	7.603±1.511	4.873±0.471	2.337±0.210	0.009±0.004	10.410±0.648
S2	165.47±20.85	15.29±0.73	8.637±0.846	5.220±0.062	3.090±1.240	0.010±0.004	9.830±0.272
S3	86.35±3.72	16.74±0.94	11.367±0.186	5.967±0.065	2.190±0.036	0.019±0.003	5.700±0.066
S4	98.78±0.44	13.25±0.42	6.800±0.211	4.280±0.095	1.847±0.206	0.004±0.004	5.987±0.254
S5	108.49±0.98	16.60±0.31	11.850±0.138	6.253±0.200	2.343±0.375	0.020±0.002	6.457±0.241

Data are expressed as mean±S.D.

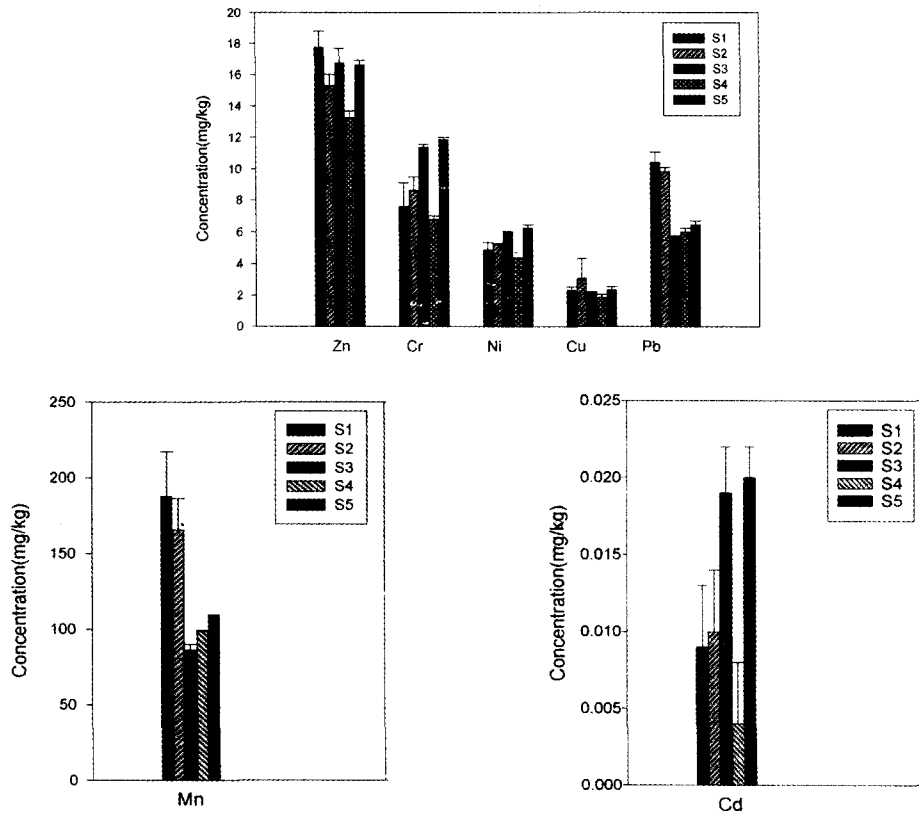


Fig. 2 Heavy metal concentration in sediments

2. *Solen strictus*내의 중금속 함량

저질시료와 함께 5개 조사지점들에서 채취한 긴맛조개의 육질부 및 총 연질부내 중금속 농도를 조사한 결과는 Table 2와 같으며 이하의 농도단위는 별도의 언급이 없는 한 건조중량기준으로 표기하였다.

Mn은 조사지점들에서의 육질부 및 총 연질부내 평균농도가 각각 16.69~50.88mg/kg, 16.79~56.81mg/kg의 범위로 나타났으며 육질부와 총 연질부 사이의 농도수준의 차이는 크지 않았다. 이등¹³⁾은 한국 동남해연안 진주담치내 연질부의 Mn함량이 조사지점에 따라 5.5~35.1mg/kg dry weight 수준인 것으로 보고한바 본 연구에서는 S1 및 S2지점에서는 이에 비해 높은 농도수준을 나타내었으며 다른 지점들에서는 비슷한 농도수준을 나타내었다.

Fe는 육질부 및 총 연질부내 평균농도가 각각 129~312mg/kg, 394~1,236mg/kg 범위로 이등¹³⁾이 보고한 한국 동남해연안 진주담치의 조사지점에 따

른 soft tissue내 평균 Fe함량 범위인 100~790mg/kg에 비해 Mn에서의 경우와 마찬가지로 S1지점과 S2지점에서는 높은 농도수준을 보였고 다른 지점들에서는 비슷한 농도수준을 나타내었다. S1지점과 S2지점에 있어서의 Mn과 Fe의 농도수준은 이등¹³⁾이 수행한 depuration의 영향등을 고려하더라도 높은 농도 수준으로 판단되며 이에 참고되는 연구결과로서 국외의 Bryan 등¹²⁾은 긴맛조개와 같은 burrowing bivalve인 *S. plana*에 대해 총 연질부내 Mn과 Fe의 평균농도가 시료 채취시기에 따라 오염지역인 England, Gannel estuary에서 각각 57~86mg/kg, 1,120~1,240mg/kg인 것으로 보고하였다. Fe와 Mn은 자연계에 풍부하게 존재하는 생체에 대한 필수 미량원소로서 식품을 통한 이들의 중독은 거의 보고된바 없으나 본 연구의 일부지역에서 채취된 긴맛조개들에서 상당히 높은 농도수준을 보인 것과 관련하여 보건학적 측면에서 앞으로의 관심이 요

망된다.

Pb는 조사지점들에서 육질부 및 총 연질부내 평균 농도가 각각 0.304~0.920mg/kg, 0.761~1.377mg/kg의 범위로 나타났으며 조사지점들 중 S1, S2등의 지점들에서 S4, S5지점들에 비해 높은 수준으로 나타났다. 이중 총 연질부내 평균농도를 현 등¹⁴⁾이 보고한 충남 서해안 패류중의 Pb평균 함량인 0.72mg/kg와 비교할 때 1.05~1.91배의 범위로 다소 높은 수준이었으며, 이 등¹³⁾이 보고한 한국 동남해연안 진주담치의 조사지점에 따른 soft tissue내 평균 Pb함량 범위인 0.27~2.75mg/kg와 비교할 때는 지점별에 따른 차이는 있지만 거의 동일한 수준으로 평가되었다. 또한 금번 조사결과와 총 연질부내 평균 Pb농도치들은 황 등⁸⁾에 의해 전회에 보고된 평균농도범위인 1.122~2.070mg/kg에 비해 전체적으로 낮은 수준을 나타내었으며 이는 시료크기를 일정범위로 선별하여 개체에 따른 편차를 줄인데 기인하는 결과로 볼 수 있다. 아울러 식품으로서 어패류중의 허용함량치를 여러나라에서 1ppm으로 권고하고 있어 본 연구의 제시된 분석치가 건조중량기준인 점등을 고려할 때 식용으로서 긴맛조개의 섭취에 대한 주의가 요망된다.

Zn은 조사지점들에서 육질부 및 총 연질부내 평균

농도가 각각 60.02~81.99mg/kg, 40.36~77.98mg/kg의 범위로 전회에 황 등⁸⁾이 보고한 총 연질부내 평균 농도범위인 95.45~128.03mg/kg에 비해 현저히 낮은 수준을 보인 바 이 역시 시료 크기의 선별에 따른 결과로 판단된다. 금번 연구에서의 총 연질부내 평균 농도수준은 유 등¹⁰⁾이 포고한 군산연안 피빨고등중의 Zn함량 40.15mg/kg에 비해서는 높은 수준이었으며 이 등¹³⁾이 보고한 한국 동남해연안 진주담치의 조지역별 평균치인 50~72mg/kg과 비교할때는 거의 동일한 수준이었다.

Cr, Ni, Cu, Cd의 총 연질부내 중금속 평균 농도들에 있어서도 전회에 황 등⁸⁾이 보고한 총 연질부내 평균 농도치들과 비교하여 보다 작은 지점별에 따른 편차들과 함께 전반적으로 더 낮은 수준으로 나타났다. 황 등⁸⁾의 보고에서 고찰한 바와 같이 국내외의 다른 지역들에 대한 보고결과들과 비교하여 이들 중금속들의 긴맛조개 체내농도 수준이 전체적으로 높지 않음을 알 수 있다. Pb, Cd, Cu, Zn의 경우 Laane¹¹⁾에 의해 제시된 *M. edulis*에 대한 background 농도인 Pb<5mg/kg, Cd<2mg/kg, Cu<10mg/kg, Zn<200mg/kg에 비해서도 본 연구에서의 긴맛조개내 농도수준은 낮은 수준으로 나타났다.

본 연구조사에서는 S1, S2지점들에서의 긴맛조개

Table 2. Heavy metal concentration(mg/kg dry weight) in *S. strictus*.

Site	Part	Heavy metals							
		Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb
S1	F	50.88±16.61	312.7±108.4	71.34±8.62	1.192±0.205	2.223±0.643	11.53±3.80	0.267±0.082	0.920±0.294
	W	49.92±2.27	1021.4±422.3	59.04±13.46	1.645±0.604	1.738±0.448	5.960±1.580	0.247±0.076	1.283±0.382
S2	F	43.45±6.92	211.9±38.6	81.99±12.19	1.043±0.381	1.565±0.463	8.683±2.731	0.182±0.040	0.722±0.353
	W	56.81±13.44	1236.8±609.3	77.98±8.10	1.605±0.664	1.998±0.385	4.640±0.868	0.170±0.042	1.708±0.711
S3	F	16.69±9.64	129.1±86.6	60.23±6.75	0.590±0.350	0.900±0.378	8.880±1.256	0.198±0.128	0.524±0.317
	W	22.58±14.04	394.8±158.7	51.20±8.34	0.682±0.266	0.813±0.247	6.484±2.238	0.236±0.095	1.377±0.885
S4	F	17.70±4.15	175.7±35.7	71.46±24.31	0.789±0.286	2.139±0.954	7.234±2.503	0.204±0.074	0.304±0.090
	W	16.79±3.33	509.39±171.4	63.55±15.66	0.873±0.077	0.947±0.130	3.914±0.299	0.168±0.023	0.780±0.260
S5	F	31.99±4.13	134.3±39.5	60.02±7.27	0.578±0.162	1.052±0.298	8.768±0.631	0.276±0.037	0.630±0.128
	W	24.80±10.44	447.0±243.1	40.36±6.14	0.728±0.249	0.785±0.347	5.500±2.950	0.222±0.070	0.761±0.338

F : the flesh, W : the whole soft parts, Data are expressed as mean±SD

체내중금속 농도가 Mn, Fe, Cr, Pb등을 중심으로 다른 조사지점들에서에 비해 높은 수준으로 나타났는데 이는 이들 지점들이 군산, 장항연안의 공단지역으로부터 오염영향을 받고있는 결과로 의심되어진다. 또한 황 등⁸⁾이 전회에 보고했던 S1지역과 S2지역간의 총 연질부내 중금속 농도의 큰 차이는 발견되지 않았고 대부분의 경우들에 있어 황 등⁸⁾이 전회에 보고했던 총 연질부내 결과치들의 편차범위를 크게 줄인바 시료들의 생체크기를 일정범위로 선별함으로써 오염평가에 있어 보다 큰 명확성을 기할 수 있음을 알 수 있었다.

아울러 본 연구에서는 긴맛조개 체내 중금속농도에 대한 결과가 Mn과 Cu를 제외하고는 상기의 조사 지점별에 따른 저질내 중금속오염현황을 큰 분별력과 함께 반영해주시 못한 것으로 평가되며 이로부터 중금속 오염수준이 낮은 지역에서는 지점간의 작은 오염수준의 차이가 생체에 의해 반영되기 어려운 것으로 판단된다. 앞으로 긴맛조개를 중금속 오염평가의 유용한 지표생물로 활용하기 위한 측면에서 시료 채취지점 및 수의 선정 등을 포함한 관련내용에 대한 세밀한 검토가 요구된다.

3. *S. strictus*에 있어 생체 크기에 따른 중금속 농도와 상관성

패류를 이용한 수계환경의 중금속 오염평가에 있어 유의해야 할 생물학적 인자와 관련된 내용중의 하나는 높은 중금속 농도가 작은 크기의 패류개체들에서 얻어진다는 점으로 황 등⁸⁾은 긴맛조개에 있어 건조중량이 증가할수록 Pb, Cr, Ni, Cu, Zn등의 생체 중금속농도가 감소한다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 긴맛조개를 지표생물로 이용한 중금속 오염평가에 있어 생체크기를 체장 8.5~11cm 정도의 일정범위

로 한정하여 대상시료들을 선별했을때 체장크기가 체내 중금속농도에 미치는 영향을 검토하고자 하였으며 육질부와 총 연질부의 경우로 시료대상 부위를 구분하여 비교실험을 수행하였다. 이때 총 연질부의 경우는 건조중량을 기준으로 중금속 농도와의 상관성을 검토하였고 육질부의 경우는 정확한 육질부 전체 무게를 얻기가 어려운 관계로 시료체장을 기준으로 하여 상관성을 검토하였다. 황 등⁸⁾은 긴맛조개에 있어 체장과 건조중량사이에 높은 상관관계를 나타냄을 보고한 바 있다. 5개 대상지점들에서 구한 체장크기와 체내 중금속농도간의 상관계수(r)들의 중금속별 평균(Table 3)으로 부터 육질부와 총 연질부의 경우 모두에 있어 체장 크기와 체내 중금속농도와의 상관성은 전반적으로 크지 않은 것으로 나타났고 Cd를 제외한 모든 경우들에 있어 총 연질부의 경우를 중심으로 상관계수 평균이 부(-)로 나타나 체장크기가 큼에 따라 이들 중금속들의 체내농도가 감소하는 경향을 반영하였다. Cd의 경우 정(+)의 상관계수 평균을 나타낸 것은 Cd의 체내 축적성이 큼을 반영하는 것으로 판단되며 육질부에서 그 경향이 비육질부에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 긴맛조개의 대상시료들을 체장크기를 제한하여 동일한 범위에서 선별한다면 체장크기에 따른 체내 중금속 농도의 변화를 최소화함으로써 지점별에 따른 보다 객관적인 비교연구가 가능함을 제시하는 것으로 이해할 수 있으며 일부의 경우에 있어 지점별에 따른 상관계수의 큰 차이를 고려할 때 앞으로 보다 많은 시료수를 대상으로 한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

4. 중금속의 생체내 이행 및 분배

갯벌환경에서 긴맛조개내로 흡수된 중금속의 생체내 분배에 대해 알아보고자 긴맛조개의 각 지점별에

Table 3. Comparison of the averages of the correlation coefficients(r) between shell size and heavy metal concentration in *S. strictus*.

Treated part	Heavy metals							
	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb
The flesh*	-0.18	-0.40	-0.03	-0.07	-0.10	-0.01	0.42	-0.05
The whole soft parts**	-0.41	-0.18	-0.43	-0.39	-0.27	-0.45	0.14	-0.25

Each value is the mean of r values obtained from 5 sites.

*The shell length was used for shell size. ** Dry weight was used for shell size.

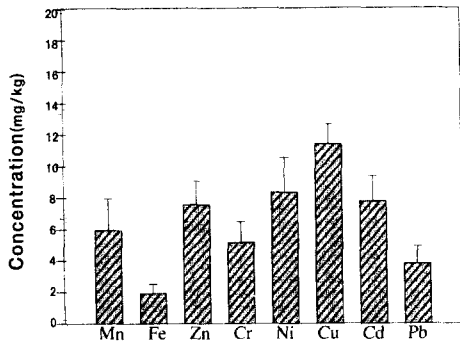


Fig. 3 Concentration ratio of heavy metals in the flesh/in the whole soft parts in *S. strictus*

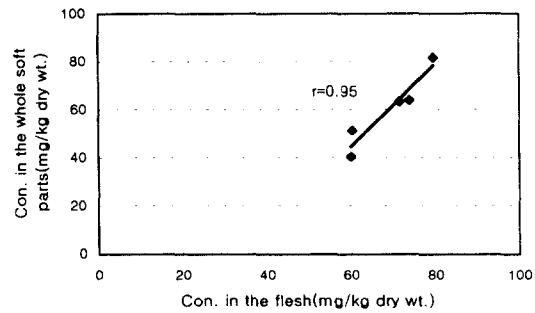


Fig. 4 Correlation between Zn concentrations in the flesh and those in the whole soft parts of *S. strictus*.

Heavy metals								
	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	Pb
r value	0.92	0.85	0.95	0.81	0.72	0.81	0.67	0.75

Table 4. Comparison of the correlation coefficients(*r*) between the heavy metal concentrations in the flesh and those in the whole soft parts of *S. strictus*.

다른 평균 중금속농도를 이용하여 총 연질부내 중금속농도에 대한 육질부내 중금속농도비(이하 체내 분배비)를 산출하였다. Fig. 3에서와 같이 육질부 중금속농도/총 연질부 중금속 농도비는 Cu의 경우가 1.71의 평균치로서 가장 높은 것으로 나타나 조사 중금속들 중 Cu의 육질부로의 체내이행이 상대적으로 가장 큼을 알 수 있었다. 다음으로 Ni, Cd, Zn이 각각 1.25, 1.16, 1.13의 비슷한 수준으로서 1보다 약간 큰 농도비를 나타내어 이들이 내장을 비롯한 비육질부보다 육질부로 이행하는 경향이 다소 큰 것으로 판단되었으며 반면 Mn과 Cr은 각각 0.89, 0.77의 농도비로서 체내 흡수후 육질부보다 비육질부로의 체내 이행이 큰 것으로 판단되었다. 또한 Pb, Fe의 경우는 각각 0.57, 0.29의 매우 낮은 농도비를 나타내 이들이 다른 중금속들에 비해 흡수후 육질부로의 이행이 매우 낮음을 알 수 있었다. 다만 긴맛조개 시료의 전처리 과정에서 세심하게 시료세척을 수행하였으나 흡수되지 않고 소화기등에 부착해 있던 잔량등에 의한 영향을 배제할 수 없는바 긴맛조개에 있어 중금속

의 생체내 이행 및 분배에 관한 보다 확실한 규명을 위해서는 앞으로 depuration의 영향에 관한 비교연구가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 4 및 Table 4에서는 5개 지점에서 조사된 긴맛조개 체내의 평균 중금속 농도치를 이용하여 육질부와 총 연질부간에 있어 각 중금속 농도의 상관성을 제시하였다. 본 연구에서 대상 중금속들에 대한 상관계수치(*r*)는 0.67~0.95의 범위로서 자료의 수가 적은 제한성은 있지만 전반적으로 상관성이 높은 것으로 나타나 긴맛조개에 있어 총 연질부의 중금속 농도가 증가함에 따라 육질부의 중금속 농도도 증가하는 것으로 판단된다. 이를 상기의 생체 크기에 따른 중금속 농도와의 상관성에 대한 결과와 함께 생각할 때 긴맛조개를 지표생물로 중금속 오염수준의 비교평가를 수행함에 있어 분석시료부위를 육질부로 한정하여 이용할 수 있을 것으로 판단되며 이러한 경우 depuration등의 전처리 과정에 대한 고려없이 연구를 수행할 수 있는 장점을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

5. 중금속의 생체내 농축

긴맛조개에 있어 중금속들의 생체내 농축에 관한 정보를 얻고자 각 지점들에 있어 저질 중금속 농도에 대한 해당 중금속들의 체내농도비로서 정의되는 농축계수를 구한 결과는 Fig.5와 같다. 대상 중금속들 중 Mn, Cr, Ni, Pb등에 대한 5개 조사지점들에 있어서의 평균 농축계수는 1이하로서 그중 Pb와 Cr에 대한 평균 농축계수가 각각 육질부 0.082, 0.090, 총연질부 0.161, 0.132의 비슷한 수준으로 가장 낮게 나타났으며 Mn과 Ni에 대한 농축계수는 육질부 0.242, 0.280, 총 연질부 0.271, 0.246으로 역시 서로 비슷한 수준을 나타내었다. 따라서 이들 4개 중금속들은 긴맛조개에 있어서의 체내 축적성이 매우 낮으며 상

기의 긴맛조개내 육질부 중금속농도/총 연질부 중금속 농도비에 대한 결과에서와 같이 이중 Pb, Cr, Mn은 비육질부로의 체내 이행이 크고 Ni는 육질부로의 체내 이행경향이 다소 큰 것으로 판단된다. 아울러 이들중 Mn, Ni, Cr은 생물체의 대사활동에 필요한 미량 금속원소로서 대사조절기능에 의한 생체내에서의 축적경향이 비슷한 것으로 이해될 수 있다. Zn과 Cu에 대한 평균 농축계수는 육질부 4.40, 3.81, 총 연질부 3.85, 2.33으로서 Zn의 경우가 다소 높은 수준이었으며 상기의 긴맛조개내 육질부 중금속농도/총 연질부 중금속 농도비에 대한 결과에서와 같이 2개 중금속 모두 육질부로의 체내이행이 상대적으로 큰 경향을 나타내었고 역시 그 경향은 Cu가 Zn에 비해 큰 것으로

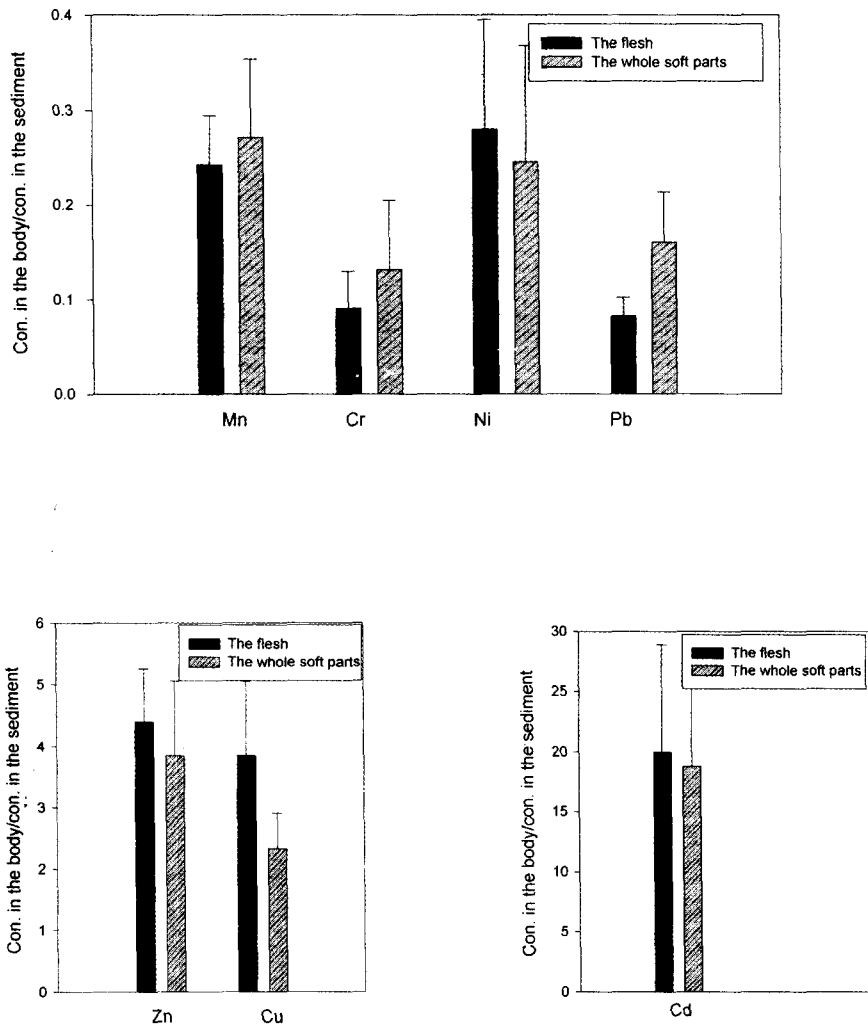


Fig. 5 The average concentration factors of heavy metals in the flesh and in the whole soft parts of *S. strictus*.

나타났다. 이러한 결과는 Zn과 Cu등이 생물체에 대한 필수 금속원소로서 각종 대사활동 및 항상성 유지에 상기의 Mn, Ni, Cr보다 다량이 요구되며 따라서 역시 생체 대사조절기능에 의한 축적경향이 비슷한 것으로 이해될 수 있다. Cd의 경우는 평균농축계수가 육질부 19.96, 총 연질부 18.77으로서 생물학적 반감기가 17-30년으로 알려진 인간에서와 같이 갯막조개에 있어서도 체내 축적이 매우 큼을 알 수 있었으며 이러한 Cd의 체내 이행 및 축적은 역시 상기의 갯막조개내 육질부 중금속농도/총 연질부 중금속 농도비에 대한 결과와 일치하여 갯막조개에 있어 육질부나 비육질부에 동등한 정도로 이루어지는 것으로 판단된다. 또한 세부적으로 일부지점등에서 Cd의 농축계수가 다른 지점들에 비해 낮게 나타난 것은 Cd의 큰 생체내 축적특성과 관련하여 볼 때 해당 지역이 비교적 최근 Cd오염의 영향을 받았는지에 대한 지표가 될 수 있을 것으로 판단되며 이러한 지표성에 대한 구체적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

서해 중부연안 갯벌의 중금속 오염수준을 평가하고 서식패류인 갯막조개(Solen strictus Gould)내 중금속의 분포 및 거동특성을 규명하여 갯막조개를 중금속 오염의 지표생물로서 활용하는데 기여하고자 수행한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 5개 조사지점들에서 채취한 저질내 중금속 평균 농도범위는 Mn 86.35~187.77mg/kg, Zn 13.25~17.73mg/kg, Cr 6.80~11.85mg/kg, Ni 4.28~6.25mg/kg, Cu 1.85~3.09mg/kg, Cd 0.004~0.020mg/kg, Pb 5.70~10.41mg/kg로 서해안 중부 조사지역의 갯벌은 아직까지 중금속 오염의 영향을 크게 받지 않은 것으로 판단되었다.

2. 5개 조사지점들에서 채취한 갯막조개 체내의 중금속 농도는 Mn과 Fe가 S1지점과 S2지점에서 상당히 높은 수준으로 나타났으며 시료의 생체크기를 일정범위로 선별함으로써 개체간 농도치의 편차범위를 크게 줄일 수 있었다.

3. 갯막조개 시료의 생체크기를 일정범위로 선별했을 때 육질부와 총 연질부 모두에서 생체크기와 체내 중금속 농도간의 상관성은 크지 않았다.

4. 갯막조개에 있어서는 조사 중금속들 중 Cu가 흡수 후 육질부로의 체내이행이 가장 컸고, Pb, Fe의 육질부로의 이행이 매우 낮았으며 전체적으로 총 연질

부의 중금속 농도가 증가함에 따라 육질부의 중금속 농도도 증가함을 보였다.

5. 갯막조개에 있어서의 중금속 체내농도/저질 중금속 농도로부터 조사중금속들 중 Cd의 체내농축이 가장 크고 다음으로 Zn, Cu의 순이었으며 Mn, Cr, Ni, Pb등에 대한 평균 농축계수는 1이하로서 체내 축적성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) Goyer, R. A.: Toxic effects of metals. In Amdur, M. O., Doull, J., and Klaassen C. D., Toxicology, 5th edition, Pergamon Press Inc., New York, 846-651, 1996.
- 2) Smith, J. D., Plues, L., Heyraud, M., and Cherry, R.D., Concentrations of the elements Ag, Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb and Zn and the radionuclides ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in the digestive gland of the squid *Nototodarus gouldi*, Mar. Environ. Res., 13, 55-68, 1984.
- 3) Sadiq, M., Mian, A. A., and Saji, A. P.: Metal bioaccumulation by sea urchin(*Echinometra mathaei*) from the Saudi coastal areas of the Arabian gulf: 2.cadmium, copper, chromium, barium, calcium, and strontium, Environ. Contam. Toxicol., 57, 964-971, 1996.
- 4) Sures, B., Taraschewski, H., and Rydio, M.: Intestinal fish parasites as heavy metal bioindicators:a comparison between *Acanthocephalus lucii*(*Palaeacanthocephala*) and the zebra mussel, *Dreissena Polymorpha*, Environ. Contam. Toxicol., 59, 14-21, 1997.
- 5) Goldberg, E. D.: The mussel watch-a first step in global marine pollution monitoring, Mar. Pollut. Bull., 6, 111, 1975.
- 6) Latouche, Y. D., and Mix, M. C.: The effects of depuration, size and sex on trace metal levels in bay mussels, Mar. Pollut. Bull., 13(1), 27-29, 1982.
- 7) Boyden, C. R.: Effect of size upon metal content of shellfish, J. Mar. Biol. Ass. U.K., 57, 675-714, 1977.
- 8) 황갑수, 신형선, 김강주, 여성규, 김진삼: 서해안 갯벌에 서식하는 *Solen strictus* Gould중의 중금속오염 및 그 특성, 한국 물환경학회지, 17(2), 191-200, 2001.
- 9) Miramand, P., and Bentley, D.: Concentration and distribution of heavy metals of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis*, from the French coast of the England channel, Mar. Biol., 114, 407-414, 1992.
- 10) 유일수, 이종섭, 소진탁, 김재진: 만경강 및 금강하

- 구지역 패류의 중금속 함량, 한국 패류학회지, 7(1), 87-93, 1991.
- 11) Lanne, R. W. P. M.: Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels, Tidal Waters Division, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Hague, 84, 1992.
- 12) Bryan, G. W., and Hummerstone, L. G.: Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries, J. Mar. Biol. Ass. U.K., 58, 401-419, 1978.
- 13) 이수행, 이광우: 한국해안 진주담치의 중금속 함량, 한국 해양소보, 19(2), 111-117, 1984.
- 14) 현대용, 이동배: 충남 서해안 어패류의 중금속함량 조사, 충남대학교 논문집, 6, 65-80, 1994.