

국내 남해 및 남서해안지역 해양퇴적물과 저서성 유공충 골격내 중금속함량

김경웅* · 윤혜수** · 이성숙** · 정규귀***

Heavy Metal Concentrations of Marine Surface Sediments and Benthic Foraminifera in Southern and Southwestern Coastal Areas of Korea

Kyoung-Woong Kim*, Hye Su Yun**, Song Suk Yi** and Kyu-Kui Jung***

ABSTRACT: The skeletal chemistry of calcareous microfossils may contribute to the classification of various biological processes and be used as an environmental indicator for future pollution. In order to examine the degree of heavy metal pollutions in marine environments, samples of sediment and benthonic foraminifera were taken from 5 study areas from 3 different stations in coastal offshore regions of Korea. After sieving, cleaning and acid digestion, samples were analyzed for heavy metals by ICP-MS, ICP-AES and AAS. Concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in most of marine sediments from 5 study areas are not higher than those in sediments from unpolluted marine environment in the U.K.. However, pollution indices are up to 0.96-0.99 in the Gwangyang and Yulchon areas which are classified as the special control district along the coast for pollution. The pollution indices decrease in order of Yulchon > Gwangyang > Mokpo > Gamak = Yoja > Yonggwang areas. Concentrations of Mg, Pb, Sr and Zn in *Ammonia beccarii*, *Pseudorotalia gaimardii*, *Quinqueloculina lamarckiana* are reduced after pre-treatment of samples. From the result of bioconcentration index, Mg is easily accumulated in microfossils and *Quinqueloculina lamarckiana* may be used as the best indicator for future pollution.

서 론

중금속원소는 일반적으로 비중이 6 이상인 As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn 등의 원소로 일부는 생물체내에서 생리적으로 적은 양이 꼭 필요한 경우도 있으나 대부분 인간 및 동식물에 피해를 주는 유독성 원소로 주로 급격한 산업화에 의한 환경오염에 기인한다 (Alloway, 1995). 이러한 중금속원소는 먹이사슬을 통하여 우리 몸에 들어와 오랜기간에 걸쳐 장기나 세포조직에 축적되어 만성 중독 증세를 나타내며 때로는 급성 중독증세를 나타내기도 한

다 (승정자, 1984). 일본의 미나마타병은 질소비료공장에서 흘러보낸 수은이 바닷물에 널리 퍼져 희석되었으나, 이것을 바다의 플랑크톤이 먹어 체내에 축적하게 되었고, 플랑크톤은 작은 물고기나 조개류에 의해 먹혀 그 체내에 더욱 높은 농도로 농축되어 나타난 것이다. 이와같이 중금속은 체내에 한 번 침입하면 배출하기 힘들어 먹이사슬에 따라 한단계를 올라갈 때마다 10배 이상 농축되므로 결국 인간에 까지 영향을 미칠 수 있는 것이다 (이창기, 1993).

현생 표층 퇴적물내 저서성 유공충의 형태적, 분류학적 연구 및 이들의 분포에 따른 연구는 상당히 축적되어 왔으나 (Chang, Lee, 1983, 1984; Cheong, 1991a, 1991b, 1992), 석회질 미화석의 골격내 성분에 관한 연구는 환경지시자로서 잠재력을 지니고 있음에도 불구하고 아직 시작단계에 있다 (Boyle, 1981; Alve, 1991). 따라서 저서성 유공충의 석회질 골격내 주성분과 중금속원소함량을 분석하여 환경오염과의 관계를 파악하고 환경지시자로서의 이용가능성에 대한 검토가 필요하다.

* 배재대학교 자원환경공학과 (Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Paichai University, Taejon 302-735, Korea)

** 충남대학교 지질학과 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

*** 부산대학교 지질학과 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

지금까지 해양오염에 대한 연구는 주로 해수에만 국한되어 오염원이 제거된 후에는 그 영향의 평가가 더욱 어려웠으나 최근에 남해 해저퇴적물내 중금속 함량에 관한 연구가 시작되었다 (이동수, 한상준, 1978; 이종하 등 1974; 조영길 등 1994). 해저퇴적물은 해수에 비해 중금속함량도 높으며 그 변화가 적어 과거 또는 현재에 오염원이 존재하는 지역에서 중금속에 의한 지속적인 환경영향을 평가하는데 보다 적절한 지구화학적 매개체이다 (Thornton, 1983). 특히 퇴적물이 보유한 중금속은 물리화학적 환경변화에 의해 그곳에 존재하는 생물체에도 영향을 미치므로 이러한 연구는 앞으로의 중금속오염을 예상하는 지표로 이용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 국내 서해 및 남해안 지역의 해저퇴적물과 그곳에서 서식하는 저서성 유공충을 채취하여 저서성 유공충의 석회질 골격내 중금속함량을 분석하였다. 그 결과는 골격성분에 관한 기초자료와 골격형성에 관련된 생물과 환경의 상호작용에 관한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 나아가 단세포생물의 골격내 축적된 중금속원소 함량은 바다의 오염정도를 지시해 줄 뿐만아니라 오염정도가 증폭되어 나타나게 될 장래의 환경오염 문제를 예측할 수 있게 할 것이다.

며, 육지와도 5 km 정도 떨어져있으나 인위적인 오염원은 존재하고 있지 않은 서해의 목포지역으로 시료 #8, #14를 채취하였다 (Fig. 3). Fig. 4 의 Station 3은 육지와 의 거리가 3 km 이내로 가장 인접하였으며, 해수의 순환이 잘 안되는 지역으로 제철소 및 화학공업단지 등의 예상오염원과 근접한 남해안의 울촌지역에서 #20, 광양만 지역에서 #20, #37을 채취하였고, 이 지역과 약간 떨어진 여자만지역에서는 #64, #65, 가막만지역에서는 #15, #16, #24 퇴적물 시료를 채취하였다.

시료채취 및 분석방법

시료채취는 여수 수산대학교 해양학과 관악산호의 Van-veen grab sampler를 이용하여 실시하였으며, 채취한 표층퇴적물을 대상으로 퇴적물의 화학분석과 유공충 미화석을 추출하였다. 시료 채취지역은 수심 10 m 내의이며, 표층퇴적물에서 미화석 추출을 위하여 건조된 시료를 200 mesh (74 μm)체로 증류수를 이용하여 세척한 후 잔류된 시료를 건조하여 실험현미경하에서 유공충을 선별하였다. 선별된 유공충중 화학분석을 위한 미화석은 30초

연구지역

연구지역의 선정은 해양환경과 육지의 예상오염원을 고려하여 크게 3개의 station을 선정하였다 (Fig. 1). Station 1은 해안선의 굴곡이 심하지 않아 바닷물의 순환이 좋으며 육지로 부터 8 km 정도 떨어져 오염이 진행되지 않았을 것으로 예상되는 서해의 영광지역을 선정하여 시료 #199, #224를 채취하였다 (Fig. 2). Station 2는 내만 지역에 위치하여 Station 1보다 해수의 순환도 좋지 못하

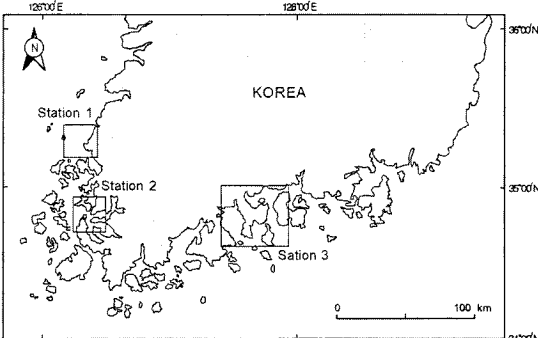


Fig. 1. Locations of station 1 (Yonggwang area), 2 (Mokpo area), and 3 (Yoja, Gamak, Gwangyang and Yulchon areas) in Korea.

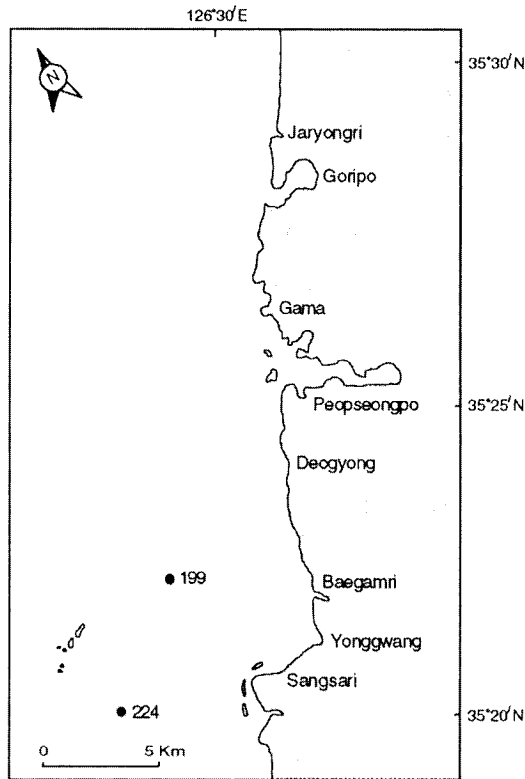


Fig. 2. Sampling locations in the Yonggwang area.

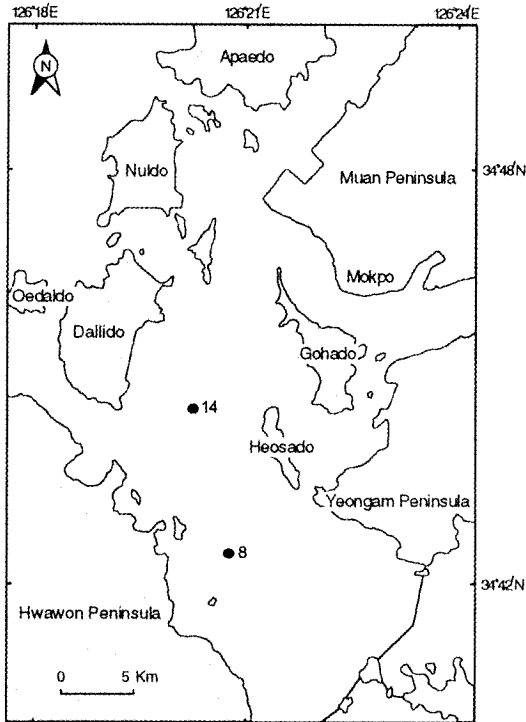


Fig. 3. Sampling locations in the Mokpo area.

내지 1분 정도 초음파 세척하여 미화석 골격내 잔류퇴적물을 제거하였다 (Fig. 5).

미화석 시료의 화학분석과정에는 전처리과정이 미화석

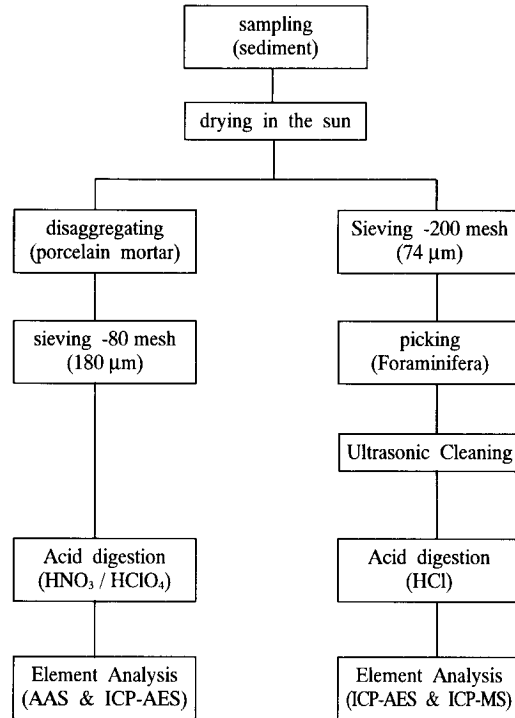


Fig. 5. Flow chart of whole experimental procedure.

내 중금속원소함량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 초음파 세척과 같은 전처리를 한 것과 하지 않은 것으로 나누어 염산으로 분해한 후, Ca은 유도분극 플라즈마 분광법

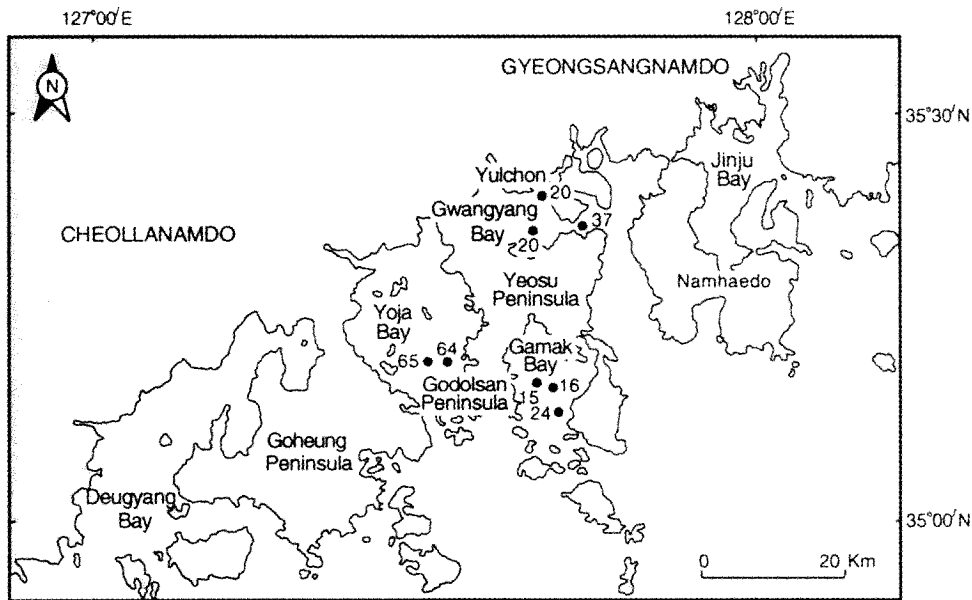


Fig. 4. Sampling locations in the Yoja, Gamak, Gwangyang and Yulchon areas.

(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)으로, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mg, Ni, Pb, Sr, Zn 함량은 유도분극 플라즈마 질량분석법 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) 으로 측정하였다. 퇴적물의 경우 체질을 거쳐 분리된 -80 mesh의 시료를 질산과 과염소산을 이용하여 용액으로 만든 후 Cd, Cu, Pb, Zn은 원자흡광분석법 (Atomic Absorption Spectrometer)으로, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, P, Sr은 유도분극 플라즈마 분광법으로 분석하였다. 모든 분석과정은 중복시료, 참고시료 및 blank를 첨가하여 data quality control 과정을 거쳐 정확도 및 정밀도가 오차범위 5% 이내의 신뢰성 있는 분석결과를 얻었다 (Ramsey *et al.*, 1987).

결과 및 토의

퇴적물내 원소의 함량과 이를 이용한 오염지수

오염이 예상되는 조간대 등에서 채취한 해양퇴적물에 존재하는 원소함량의 분석결과를 살펴볼 때 대부분의 시료에서 Ca, Fe와 Mg가 수 % 단위로 존재하고 있다 (Table 1). 특히 영광지역 및 울춘지역에서는 다른 지역보다 이들 세 원소의 함량이 낮은 것으로 나타났다. 중금속원소의 경우에는 station 1의 영광지역 퇴적물내 원소 함량이 비교적 낮게 나타난 반면 station 3의 광양 및 울춘지역의 시료에서 그 함량이 다른 지역보다 높게 나타났다. 그러나 이러한 값들은 본 연구와 같이 강산으로 처

리한 후 AAS로 분석한 결과인 영국의 Southampton의 청정지역 퇴적물내 원소함량 7 µg/g Cd, 30 µg/g Cu, 55 µg/g Pb와 138 µg/g Zn보다 낮은 수치이다 (Sharifi *et al.*, 1991). 한편 나머지 원소의 결과를 동일한 분석방법에 의해 미국의 EPA에서 제시한 퇴적물 독성 기준량중심한 오염에 해당되는 기준인 60 µg/g Ba, 25000 µg/g Fe, 500 µg/g Mn과 비교하면 (Baudo and Muntau, 1990), 영광지역을 제외한 대부분 시료의 Ba와 Fe가 그 기준을 넘어 이 원소들의 함량이 높음을 보여준다. Ba와 Fe는 다른 중금속원소들과 95% 신뢰도로 양의 상관관계를 보이며, 중금속원소들 사이에도 서로 상관관계가 있어 환경오염은 여러원소가 복합적으로 나타날 수 있음을 알 수 있다 (Table 2).

해양오염방지를 위한 런던 덤핑협약 (1972)에서 규정한 Cd, Cu, Pb, Zn과 같은 중금속원소의 함량을 비오염지역의 해양퇴적물 중 금속원소의 평균치인 2.2 µg/g Cd, 20 µg/g Cu, 50 µg/g Pb와 50 µg/g Zn에 대한 비를 구하여 (Moore, Ramamoorthy, 1984), 이를 평균한 오염지수 (Pollution Index)로 나타내면 모든 지역에서 1 이하의 값을 보여 오염이 심하게 진행되지 않았음을 보여준다 (Table 3). 그러나 1990년 정부에서 지정한 연안오염 특별관리 해역 중 하나인 광양만의 울춘 및 광양만지역 시료의 경우 (최영박, 이상훈, 1996), 오염지수가 최고 0.96~0.99의 비교적 높은 값을 보이며 이를 각 지역별로 비교하면 울춘 > 광양만 > 목포 > 가막만 = 여차만 > 영광지역의 순으로 오염지수가 감소함을 보여준다. 위의 결과

Table 1. Element concentrations in Cenozoic sediments in coastal areas of Korea. (unit in µg/g)

Sample I.D.	Ba	Ca	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	P	Pb	Sr	Zn
Gamak 15	91	15000	0.4	11	25600	10100	322	329	32	63	66
Gamak 16	89	17200	0.2	10	25900	10500	381	338	28	70	64
Gamak 24	97	14000	1.2	12	28300	11400	345	319	30	61	70
Gwangyang 20	86	46800	1.4	14	28700	9760	355	405	34	160	75
Gwangyang 37	105	10600	0.8	18	32500	1230	534	454	38	57	96
Mokpo 8	111	8590	1.2	15	30400	11600	590	366	28	53	78
Mokpo 14	97	8450	0.6	14	27700	10400	405	412	26	46	71
Yoja 64	87	12100	0.6	12	25700	9850	347	259	28	54	65
Yoja 65	92	10000	1.1	10	25100	9810	297	426	25	48	63
Yonggwang 199	52	5930	1.2	7	17900	5900	309	241	18	31	39
Yonggwang 224	46	5350	0.6	7	14500	4920	204	213	13	26	36
Yulchon 20	98	5760	1.2	17	32300	10400	306	442	37	40	86
Mean of unpolluted marine sediments	60*		7**	30**	25000*		500*		55**		138**

* Baudo, Muntau (1990)

** Moore, Ramamoorthy (1984)

Table 2. Correlation matrix of element concentrations in sediments.

	Zn	Sr	Pb	P	Mn	Mg	Fe	Cu	Cd	Ca
Ba	0.90**	0.23	0.80**	0.76**	0.72**	0.98**	0.94**	0.81**	0.09	0.11
Ca	0.21	0.99**	0.37	0.21	0.02	0.18	0.23	0.15	0.24	
Cd	0.18	0.26	0.16	0.26	0.10	0.04	0.23	0.25		
Cu	0.96**	0.26	0.86**	0.79**	0.66*	0.79**	0.93**			
Fe	0.98**	0.35	0.92**	0.82**	0.66*	0.94**				
Mg	0.90**	0.30	0.84**	0.72**	0.71**					
Mn	0.67*	0.14	0.48	0.47						
P	0.84**	0.31	0.75**							
Pb	0.93**	0.47								
Sr	0.33									

* Significant at P=0.05

* Significant at P=0.01

는 연구지역 선정시 예상했던 대로 중금속원소함량이 대체적으로 station 3 > station 2 > station 1의 순서로 감소함을 보여주며, 특히 광양제철소와 화학공업단지가 위치한 station 3의 울촌 및 광양만지역의 시료에서 최대값을 보인다. 이는 육지와와의 거리, 해안선의 굴곡과 인근 육지의 인위적인 오염원의 존재유무와 관계가 있을 것으로 생각되며, 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

현생 유공충내 골격성분과 환경적 의의

유공충 미화석의 종 (species)간 미량원소함량을 비교하기 위하여 조사지역 퇴적물에 존재하는 유리질 골격 (Hyaline)의 *Ammonia beccarii*, *Pseudorotalia gaimardii*와 도기질 골격 (Porcelaneous)의 *Quinqueloculina la-*

*marckiana*의 골격성분을 분석하여 Bowen (1979)이 제시한 유공충의 미량원소 함량과 비교하였다 (Table 4). 골격의 구성성분은 CaCO₃로 구성되어 있으나, 여러가지 생물학적인 여건과 환경적인 조건에 따라 중금속원소등이 존재하게 되는데, 조사지역 중 가막만의 *Quinqueloculina lamarckiana* 골격성분은 Mg와 Sr이 풍부한 특징을 나타내어 주며, 이 원소들은 Ca와 쉽게 치환되는 것으로 알려져 있다 (Dodd, Stanton, 1981). 특히 *Ammonia beccarii*, *Pseudorotalia gaimardii*, *Quinqueloculina lamarckiana*은 초음파 세척과 같은 전처리 후에 Mg, Pb, Sr 과 Zn 등의 원소함량이 감소함을 보여주어 미화석 시료 분석시 전처리과정이 꼭 필요한 것으로 나타났다. 그러나, 몇몇 예외적인 시료를 제외하고는 Ca의 양에서 특징적인 차이를 보이지는 않는다. 여자만지역과 울촌지역

Table 3. Pollution index of the sediments in coastal areas of Korea.

Sample I.D.	Ratio				Pollution Index	Mean
	Cd	Cu	Pb	Zn		
Gamak 15	0.18	0.55	0.64	1.32	0.67	
Gamak 16	0.09	0.50	0.56	1.28	0.61	0.69
Gamak 24	0.55	0.60	0.60	1.40	0.79	
Gwangyang 20	0.64	0.70	0.68	1.50	0.88	0.94
Gwangyang 37	0.36	0.90	0.76	1.92	0.99	
Mokpo 8	0.55	0.75	0.56	1.56	0.85	0.79
Mokpo 14	0.27	0.70	0.52	1.42	0.73	
Yoja 64	0.27	0.60	0.56	1.30	0.68	0.69
Yoja 65	0.50	0.50	0.50	1.26	0.69	
Yonggwang 199	0.55	0.35	0.36	0.78	0.51	0.46
Yonggwang 224	0.27	0.35	0.26	0.72	0.40	
Yulchon 20	0.55	0.85	0.74	1.72	0.96	0.96
Average	0.40	0.61	0.56	1.35		0.73

Table 4. Element concentrations in calcareous microfossils from the Cenozoic sediments in coastal areas of Korea. (unit in µg/g)

Species (Station)	Ba	Ca (%)	Cd	Co	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Sr	Zn
<i>P. gaimardii</i> (Gamak 15)	7.6	39	0.2	4.1	5.6	28	1130	25	25	956	17
<i>P. gaimardii</i> * (Gamak 15)	7.2	34	0.1	2.7	3.0	11	558	21	7.2	850	0.5
<i>Q. lamarckiana</i> (Gamak 15)	23	41	0.4	3.2	2.9	17	23100	20	21	1660	32
<i>Q. lamarckiana</i> * (Gamak 15)	20	35	0.5	2.6	2.6	9.7	20500	14	27	1500	29
<i>A. beccarii</i> (Gwangyang 37)	-	15	0.1	0.3	n.d.	4.5	-	1.5	315	-	2.4
<i>A. beccarii</i> * (Gwangyang 37)	-	40	0.3	3.0	5.5	12	461	21	1.6	1230	0.5
<i>A. beccarii</i> (Yoja 65)	7.3	19	0.1	0.4	0.3	8.5	-	0.7	587	-	7.8
<i>A. beccarii</i> * (Yoja 65)	-	28	0.1	0.9	n.d.	14	145	121	1.9	513	n.d.
<i>A. beccarii</i> (Yonggwang 224)	-	6.2	0.1	0.5	n.d.	3.2	-	1.2	28	-	4.4
<i>A. beccarii</i> (Yulchon 20)	-	33	0.2	1.5	n.d.	10	-	3.2	196	-	87
Foraminifera CaCO ₃ **	20	36	2	-	-	23~30	400~ 2400	21	20~140	20~140	-

* Pre-treatment
** Bowen (1979)

Table 5. Bioconcentration index of calcareous microfossils from the Cenozoic sediments in coastal areas of Korea (Bowen, 1979).

Species (Station)	Ba	Ca	Cd	Cu (×10 ⁴)	Mg (×10 ⁴)	Pb (×10 ⁴)	Sr	Zn
<i>P. gaimardii</i> * (Gamak 15)	554	0.08	909	4.4	43.4	24	108	102
<i>Q. lamarckiana</i> * (Gamak 15)	1538	0.08	4550	3.9	1590	90	190	5920
<i>A. beccarii</i> * (Gwangyang 37)	638	0.10	2730	4.8	35.7	5.3	156	102
<i>A. beccarii</i> * (Yoja 65)	562	0.7	909	5.6	11.2	6.3	65	612

* Pre-treatment

의 전처리를 하지 않은 *Ammonia beccarii*에서는 상당히 많은 양의 Pb를 포함하고 있어 전처리를 하지 않아 붙어 있는 퇴적물의 영향이거나 환경지시자로서 적합한 종일 수 있는 가능성이 있어 좀 더 자세한 연구가 필요하다 (Table 4). 이를 위하여 오염지역과 비오염지역에서 같은 종을 채취하여 같은 처리과정을 거치며, 처리단계별로 분석하여 분산분석을 수행하면 그 해답을 얻을 수 있을 것이다.

생물에 의한 중금속의 농축은 생물농축계수 (Bioconcentration Index)로 표시되는데, 이는 생물조직내의 원소함량을 해수중의 함량으로 나눈 것을 말한다 (Bowen, 1979).

$$\text{생물농축계수} = \frac{\frac{\text{Ba}}{13} + \frac{\text{Ca}}{412000} + \frac{\text{Cd}}{0.1} + \frac{\text{Cu}}{0.2} + \frac{\text{Mg}}{0.12} + \frac{\text{Pb}}{0.03} + \frac{\text{Sr}}{7900} + \frac{\text{Zn}}{4.9}}{8}$$

Table 5에 나타난 원소별 특징을 살펴보면 Mg의 경우 생물체로의 농축이 가장 잘 보이며 Cd, Cu, Pb와 Zn 등의 중금속 원소도 생물체내에 들어와 축적되는 특징을 나타낸다. 석회질 미화석의 종류에 따른 특징을 살펴보면

*Quinqueloculina lamarckiana*가 미래의 오염을 예상하는 환경지시자로서 가장 적합한 것으로 나타났다 (Table 5). 그 이유는 磁器質의 *Quinqueloculina lamarckiana*는 유리질 미화석보다 골격내에 공극이 많아 중금속을 포함한 유기물과 같은 물질로 채워질 수 있는 가능성이 많기 때문이다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 미화석내 Ca 함량이 Cd, Cu 와 Zn과 같은 중금속원소와 좋은 양의 상관관계를 보여주는 것은 미화석내의 중금속이 골격내 Ca을 치환하기 보다는 공극을 충전하는 유기물과 관계있음을 나타낸다.

결론

1. 오염이 예상되는 조건대 등에서 채취한 해양퇴적물에 존재하는 원소함량의 분석결과 대부분의 시료에서 Ca, Fe, 와 Mg가 수 % 단위로 존재하고 있었다. 특히 영광지역 및 울촌지역에서는 다른 지역보다 이들 세 원소의 함량이 낮은 것으로 나타났으며, 중금속원소의 경우에는 영광지역 퇴적물내 원소 함량이 비교적 낮게 나타난 반면 영광 및 울촌지역에서 그 함량이 다른 지역보다 높게 나타났다.

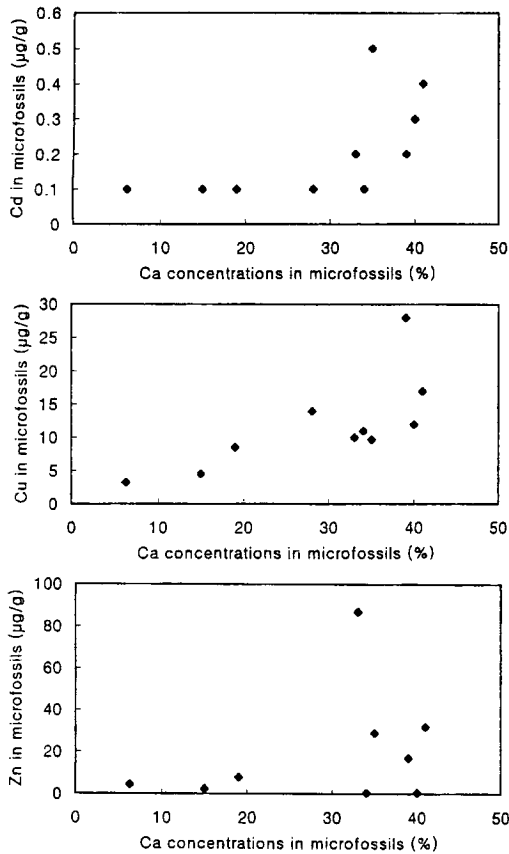


Fig. 6. Relationships between Ca and heavy metal concentrations in microfossils in the study areas.

2. 연구지역 퇴적물내의 중금속원소함량을 비오염 지역의 해양퇴적물의 평균치로 나누어, 이를 평균한 오염지수는 모든 지역에서 1 이하의 값을 보여 오염이 심하게 진행되지 않았음을 보여준다. 그러나 정부지정 연안오염 특별관리 해역인 광양만의 울촌 및 광양만지역 시료의 경우, 오염지수가 최고 0.96-0.99의 비교적 높은 값을 보이며 이는 울촌>광양만>목포>가막만=여자만>영광지역의 순으로 감소함을 보여준다.

3. 조사지역 중 가막만의 *Quinqueloculina lamarckiana* 골격성분은 Mg 와 Sr이 풍부한 특징을 보인다. 또한 대부분의 석회질 미화석은 전처리 후에 Mg, Pb, Sr 과 Zn 등의 원소함량이 감소함을 보여주고, 몇몇 예외적인 시료를 제외하고는 Ca의 양에서 특징적인 차이를 보이지는 않는다.

4. 생물에 의한 중금속의 농축은 생물농축계수로 표시 되는데, Mg의 경우 생물체로의 농축이 가장 잘 보이며, Cd, Cu, Pb 와 Zn 등의 중금속 원소도 생물체내에 들어와

축적되는 특징을 나타낸다. 석회질 미화석의 종류에 따른 비교에서는 磁器質의 *Quinqueloculina lamarckiana*가 중금속을 잘 농축해 미래의 오염을 예상하는 환경지시자로서 가장 적합한 것으로 나타났다

사 사

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문연구 (과제번호 951-0406-019-2: 신생대 석회질 미화석의 골격성분과 이들의 교환경적 및 미세진화론적 의의)의 연구비지원과 1996년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구의 일부로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

승정자 (1984) 극미량원소의 영양. 민음사, p. 11-25.
 이동수, 한상준 (1978) 한국 남부동부연안 해저퇴적물층의 중금속 함량에 관한 연구. 한국해양학회지, 13권, p. 172-186.
 이종하, 한상준, 윤용구 (1974) 마산 진해 연안해역 해저퇴적물층의 중금속류 함량에 관한 연구. 한국해양학회지, 9권, p. 31-38.
 이창기 (1993) 환경과 건강. 하서출판사, p. 185-230.
 조영길, 이창복, 최만식 (1994) 남해 대륙붕 표층퇴적물층 중금속 원소의 분포 특성. 한국해양학회지, 29권, p. 338-356.
 최영막, 이상훈 (1996) 자원과 환경론. 구미서관, p. 226-230.
 Alloway, B.J. (1995) Heavy Metals in Soils (2nd ed.). Chapman & Hall, 368p.
 Alve, E. (1991) Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, western Norway. J. of Foraminiferal Research, v. 21, p. 1-19.
 Baudo, R. and Muntau, H. (1990) Lesser known in-place pollutants and diffuse source problems: Sediments-Chemistry and Toxicity of In-Place Polltants, Lewis Pub. Inc., p. 1-14.
 Bowen, H.J.M. (1979) Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, 333p.
 Boyle (1981) Cadmium, zinc, copper and barium in foraminifera tests. Earth and Planetary Science Letters, v. 53, p. 11-35.
 Chang, S.K. and Lee, K.S. (1983) Recent benthonic foraminifera and its implications in the intertidal flat of Gyunggi Bay, Korea. J. of Geological Society of Korea, v. 19. p. 169-189
 Chang, S. K. and Lee, K. S. (1984) A study on the recent benthonic foraminifera of the intertidal flats of Asan Bay, Korea. J. of Paleontological Society of Korea, v. 20, p. 171-188.
 Cheong, H.K. (1991a) Recent benthonic foraminifera from the southern Yellow Sea. Ph.D. thesis, Korea University, 342p.
 Cheong, H.K. (1991b) A study on the benthic foraminifera from the tidal flats adjacent to Incheon, Korea. J. of Paleontological Society of Korea, v. 5, p. 39-52
 Cheong, H.K. (1992) Rotaliid foraminifera from the southern Yellow Sea. J. of Paleontological Society of Korea, v. 8, p. 76-120

- Dodd, J.R. and Stanton R.J. Jr. (1981) *Paleoecology, Concepts and Applications*. John Wiley & Sons, p. 116-188.
- Moore, J.W. and Ramamoorthy, S. (1984) *Heavy Metals in Natural Waters*. Springer-Verlag, 268p.
- Ramsey, M.H., Thompson, M. and Banerjee, E.K. (1987) Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Anal. Proc.*, v. 24, p. 260-265.
- Sharifi, A.R. , Croudace, I.W. and Austin, R.L. (1991) Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, U.K.J. *Micropaleontol.*, v. 10, p. 109-113.
- Thornton, I. (1983) *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press.

1997년 4월 21일 원고접수