

서남해안 연근해저 퇴적물의 중금속 함량 및 분포

전수경·조영길
목포대학교 해양자원학과

(2002년 9월 15일 접수; 2002년 11월 12일 채택)

Some heavy metal concentration of surface sediments from the southwestern coast of Korea

Soo-Gyeong Jeon and Yeong-Gil Cho

Dept. of Marine Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

(Manuscript received 15 September, 2002; accepted 12 November, 2002)

Thirty sediment samples of the $<63\mu\text{m}$ fraction collected from the southwestern coast of Korea were analysed for their heavy metal (Fe, Mn, Cr, Co, Cu, Ni, Zn and Pb) concentration. The results show that sediment texture plays a controlling role on the total metal concentrations and their spatial distribution. A single 1M HCl extraction procedure was used in order to assess the environmental risk of heavy metals in bottom sediments. The non-residual fraction was the most abundant pool for Mn and Pb in most samples, which means that these metals are highly available in these sediments. Cr, Ni, Fe, Co, Zn and Cu were mainly associated with the residual fraction, suggesting that their concentrations are controlled significantly by transport processes with the fine particles as carriers from diffuse pollution source. Concentration enrichment ratios(CER) were calculated from the non-residual contents and their values allowed us to classify the sediments according to their environmental risk.

Key word : Sediment, $<63\mu\text{m}$ fraction, Heavy metal, 1M HCl extraction, Non-residual fraction, Concentration enrichment ratios

1. 서론

한반도 서남해역은 수많은 섬이 산재해 있는 다도해 성격을 띠는 까닭에 이 지역에서 해수의 유동은 국지적으로 매우 복잡하고 불규칙하며, 전반적으로 조류에 의해 지배된다. 조류의 속도는 섬 사이의 좁은 통로를 통과하면서 매우 강화되거나 혹은 섬을 빠져 나오면서 약화되는 불균일한 분포가 특징적이며, 보통의 조류유속인 1.0~3.3 knots에서 최고 6.0 knots 이상의 편차를 보인다.¹⁾ 이 해역에서 물질의 운반과 이동은 이러한 복잡한 해황의 영향을 직접 받을 것이며, 따라서 해저에 쌓인 물질의 공간적 분포에는 물질의 운반과 이동에 대한 중요한 정보가 기록되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 정보를 과

악하기 위해서는 물질의 근원과 이동의 역사를 반영하는 해저 퇴적물의 화학성분을 분석하는 것이 필수적이며, 특히 퇴적물 내 중금속은 산업화의 부산물로서 주변 육지로부터의 오염물질 유입과 오염의 역사를 추적할 수 있는 단서를 제공해 준다.

퇴적물의 중금속을 분석하는 방법에는 강산을 사용하여 퇴적물 전체를 고온에서 녹여 금속을 용출해내는 총량 분석법과 중금속을 여러 존재형태로 나누어 단계적으로 추출하는 연속추출법, 그리고 한 두 가지의 시약을 사용하여 특정 부분의 중금속만 추출하는 단일시약 추출법 등이 있다.²⁾ 본 연구에서는 해저 퇴적물에 포함된 중금속이 퇴적환경이 변함에 따라 저서생태 및 수생생태계에 어느 정도의 영향을 미칠 수 있는가에 대한 가능성을 파악하고자 총량 분석 외에 환경평가가 가능한 단일시약추출법을³⁾ 병행하였다. 특히 총량 및 부분추출 시료는 입도의 영향을 제거하기 위하여 $63\mu\text{m}$ 이하의 입자

Corresponding Author : Yeong-Gil Cho, Dept. of Marine Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea
Phone : +82-61-450-2393
E-mail : ygcho@mokpo.ac.kr

만을 대상으로 하였다.

2. 재료 및 방법

해저 표층퇴적물은 목포에서 진도에 이르는 서남해안의 총 30개 정점에서 van-Veen 채니기를 이용하여 채취하였다(Fig 1). 채취된 퇴적물은 비닐봉지에 담아 실험실로 운반하였으며, 퇴적물의 입도와 중금속 분석을 위한 시료로 구분하고 항목별로 분석에 필요한 처리를 추가하였다.

퇴적물의 입도는 먼저 과산화수소와 묽은 염산을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 제거한 후, 40(62.5 μm) 표준체로 습식체질 하여 40 보다 조립한 퇴적물과 40 보다 세립한 퇴적물로 구분하고, 조립 퇴적물은 10 간격의 표준체를 이용한 건식체질방법으로, 세립퇴적물은 입도분석기(sedigraph-5100)로 분석하였다. 분석된 결과는 Folk⁴⁾와 McBride⁵⁾의 방법에 따라 통계처리 하였으며, 입도 표준치는 Folk and Ward⁶⁾의 계산식에 의해 구하였다. 퇴적물의 중

금속은 원시료를 63μm 나일론 체로 조립질 부분을 거른 다음 세립 퇴적물만을 냉동 건조하여 분마한 것을 대상으로 총 30 개의 시료를 분석에 선정하였다. 중금속 분석은 먼저 혼합산 분해법으로⁷⁾ 총량을 분석한 다음 동일한 시료에 대해 단일시약 추출법에⁸⁾ 의한 존재형태별 분석을 병행하였다. 단일시약에 의한 중금속 추출은 존재형태가 불안정하여 퇴적환경 변화에 따라 수주 및 저서환경으로 녹아 나올 수 있는 비광물격자 부분의 중금속을 1M HCl로 용출하고⁸⁾ 나머지 잔류부분(광물격자부분)은 혼합산(HNO₃/HF/HClO₄)을 이용하여 용출하였다.⁷⁾ 추출된 중금속은 불꽃-원자흡광도계(flame-atomic absorption spectrophotometer)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 중금속의 총농도

분석된 30개 퇴적물에서 나타난 중금속 농도는 Fe 2.3~3.3%(평균 2.8%), Mn 286~976ppm(평균 676ppm), Co 17~22ppm(평균 19ppm), Cr 55~87ppm(평균 67ppm), Cu 15~22ppm(평균 19ppm), Ni 30~42ppm(평균 37ppm), Zn 54~100ppm(평균 86ppm), Pb 22~41ppm(평균 33ppm)으로 나타났다. 시료간 농도의 변화는 Mn 및 Zn이 21%와 15%로 비교적 컸고 Cu(10%), Pb(10%), Cr(9%), Ni(9%), Fe(8%) 및 Co(6%)는 작았다.

Table 1에는 63μm 보다 세립한 입자의 퇴적물에서 분석된 중금속 농도를 타 지역의 자료와 비교하였다.^{9,10)} Mn, Co 및 Cr은 함평만과 연구지역에서 비교적 농도가 높은 반면 Fe, Cu 및 Zn은 진해만 및 경기만 반월조간대 퇴적물에 비해 상당히 낮은 값을 보인다. Pb는 진해만이나 반월조간대 퇴적물과 비슷한 농도를 보였으며, Ni는 진해만 퇴적물에 비해 높은 반면 반월조간대 퇴적물 보다는 낮은 농도를 나타냈다.

연구지역에서 금속의 농도는 전반적으로 진도 및 목포 인접해역에서 높고 장산도 부근 및 남서부 외해에 위치한 정점에서 낮아지는 분포를 나타낸다. 금속별로는 Mn의 경우 압해도와 우이도 부근의 정점에서 농도가 높은 반면 장산도 및 외해에 위치한

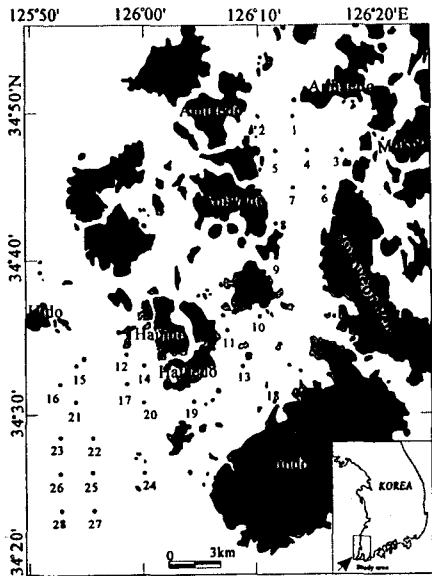


Fig. 1. Map showing the study area and the sampling sites.

Table 1. Mean heavy metal concentrations in <63μm fraction of sediments compared to other fine-grained marine sediments

	Fe (%)	Mn (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Reference
Study area	2.8	480	19	67	19	33	86	37	This study
Jinhae bay	3.6	386	12	59	30	37	128	27	Lee and Lee ⁹⁾
Banweol intertidal flat	3.0	345	14	-	112	40	-	50	Jung <i>et al.</i> ¹⁰⁾
Hampyeong bay	3.7	593	11	74	18	33	80	34	unpublished data

서남해안 연근해저 퇴적물의 중금속 함량 및 분포

정점에서 가장 낮았고, Pb 및 Zn은 진도 남서해역과 우이도, 하의도 부근에서 높은 값을, 그리고 연구지역 남서부 해역에서 낮은 값을 나타냈다. Cu는 진도 남서해역에서, Co 및 Ni는 하의도와 안좌도 해역에서 가장 높은 농도를 보였으며, 장산도 및 외해에 위치한 정점에서 모두 낮은 값을 보였다. Fe 및 Cr은 목포와 암태도, 안좌도 해역에서 높은 농도를, 우이도 해역과 진도 해역에서 낮은 농도를 보였다.

퇴적물 중의 중금속 농도와 분포는 환경내의 내적요인뿐만 아니라 외부요인에 의해서도 영향을 받으며,^{11,12)} 따라서 연구지역의 중금속 농도 변화를 이해하기 위해서는 제반 영향요인을 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 R-mode 요인분석(factor analysis)을 통해 각 금속에 대한 조절요인을 파악하고자 하였으며, 그 결과를 Table 2와 Table 3에 요약하였다. 요인은 총 변량의 75.1%를 설명하는 3개를 취하였으며, 요인별 변수의 적재값 분포를 토대로 각 조절요인에 대한 해석을 시도하였다. 요인 1은 Mn, Co, Cu 및 Ni에서 높은 적재값을 보이며, 요인 2는 Fe와 Cr에서 높은 적재값을 보였다. 요인 3은 Zn과 Pb에 대해서만 높은 적재값을 보인다.

입자상 중금속은 해양환경에서 주로 실트 및 점토입자에 의해 운반되기 때문에 이 입자는 중금속의 운반자로서 가장 중요하다.^{13,14)} 연구지역에서 실트와 점토 입자는 각각 0~48%(평균 23%), 0~62%(33%)이며, 이 두 입자를 합한 니질의 함량은 0~99.7%(평균 56%) 범위로 변화가 매우 크다. 지역적으로 하의도, 하태도, 진도주변 및 목포 앞바다 부근의 정점에서 니질의 함량은 90% 이상으로 높은 반면 압해도와 진도 서부해역에서는 10% 이하로 감소하면서 모래와 자갈의 함량이 증가한다. 그 밖의 지역에서는 모래, 실트 및 점토의 함량이 비슷하다. 요인 1에서 높은 적재값을 보이는 Co, Cu, Ni는 전체적으로 니질의 함량이 높은 곳에서 농도가 높으며, 따라서 이들 금속의 농도는 퇴적물의 세립성분

함량과 의존적인 관계를 갖는다고 볼 수 있다. 그러나 이 요인에서 역시 적재값이 큰 Mn의 분포는 퇴적물의 입도분포와 다소 다른 경향을 보여 퇴적물의 입도 외에 망간산화물과 같은 화학성분의 영향을 동시에 반영하는 것으로 판단된다. 요인 2에서 높은 적재값을 보이는 Fe, Cr은 두 금속의 분포가 목포 주변해역에서 높고 연구지역 남부에서 낮은 경향을 보이는데 이처럼 모래가 제거된 퇴적물에서 두 금속의 서로 유사한 거동은 금속의 존재형태비가 광물격자부분에서 높은 현상을 반영한 것으로 판단된다. 한편, 요인 3에서 높은 적재값을 보이는 Pb 및 Zn은 공간적으로 진도 남서해역과 우이도, 하의도 부근에서 농도가 높고 연구지역 남서부 해역에서 농도가 낮은데 이러한 공통점은 금속의 유입경로가 타 금속과 다른데서 기인된 것 같다. 특히 Pb는 대기를 통한 유입 외에도 운모와 칼리장석에 농축되는 경향이 있어¹⁵⁾ 한 요인에 의해서만 조절된다고 보기 어려우며, 이 요인에서 적재값이 큰 Zn의 공간분포 경향은 인위적 요인에 의한 추가 조절가 농성을 뒷받침 한다.

한편, 연구지역 퇴적물의 중금속 오염을 정량적으로 평가하기 위하여 63 μ m 이하의 입자에서 분석된 중금속 농도를 토대로 geoaccumulation index(I_{geo})를¹⁶⁾ 계산하였다. I_{geo}는 주어진 시스템에서 어떤 금속의 상대적인 농축정도를 반영하는데 다음과 같이 표현된다.

$$I_{geo} = \log_2 C_n/B_n \times 1.5$$

여기서 C_n은 분석된 금속의 농도를, B_n은 표준농도인 바탕값을 나타낸다. 바탕값은 통상적으로 세일이나 지각물질의 평균농도를 사용하며,¹⁷⁾ 때로 해당 연구지역에서 제시된 특정지역의 바탕값을 사용하는 경우도 있다.¹⁸⁻²⁰⁾ 본 연구에서는 지각물질의 평균농도를 바탕값으로 간주하여 I_{geo}를 구하고 다음과 같은 기준에 의해 중금속 오염을 평가하였다. 즉, 퇴

Table 2. Eigenvalues of the correlation matrix

Eigenvalues	Cumulative % of total variance explained	Proportion
2.831	33.51	33.51
1.954	58.94	25.43
1.126	75.11	16.18
0.968		
0.510		
0.386		
0.126		
0.095		
Sum 7.999		

Table 3. The varimax-rotated R-mode factor pattern

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Communality
Fe	0.21	0.87	0.01	0.80
Mn	0.65	-0.33	0.13	0.56
Co	0.72	0.49	-0.08	0.76
Cr	-0.05	0.68	0.34	0.58
Cu	0.82	0.14	0.08	0.69
Ni	0.92	-0.02	0.10	0.85
Zn	0.08	0.14	0.93	0.89
Pb	0.43	-0.66	0.52	0.88

적물에서 금속의 I_{geo} 값이 5 이상이면 very strong polluted, 4~5는 strongly to strong polluted, 3~4는 strongly polluted, 2~3은 moderately to strongly polluted, 1~2는 moderately polluted, 0~1 사이는 unpolluted to moderately polluted, 그리고 I_{geo} 값이 0 보다 작은 경우에는 오염되지 않는 것으로 구분된다.¹⁶⁾

I_{geo} 값을 토대로 연구지역 퇴적물을 구분한 결과를 Table 4에 제시하였다. Fe, Cu, Ni 및 Pb는 전체 시료에서 모두 0 이하의 I_{geo} 값을 나타내 이들 중금속의 오염은 거의 없는 것으로 판단된다. Mn의 경우는 분석시료의 약 절반이 0~1 사이의 I_{geo} 값을 보여 정도는 약하지만 점차 오염될 가능성이 있는 것으로 보이며, Cr은 4개의 시료에서 Mn과 비슷한 경향의 오염도를 나타내고 나머지 시료에서는 0 이하의 I_{geo} 값을 갖는다. 그러나 Zn 및 Co 경우에는 I_{geo} 가 0 이하인 시료가 없어 이들 금속은 연구해역 전역에 걸쳐 점차 농축이 진행되고 있음을 지시한다. 특히 Zn은 시료의 대부분에서 I_{geo} 값이 1~2에 해당되어 가장 높은 오염도를 보여준다. Fig. 2에는 Mn, Co, Cr 및 Zn에 대한 I_{geo} 값의 공간적 분포가 도시되었다. Mn은 압해도와 우이도 남부해역에서 I_{geo} 값이 높으며, Co는 안좌도 동부해역과 하의도 남서해역에서 1 이상의 I_{geo} 값을 나타낸다. Cr은 장산도 해역에서 가장 높은 I_{geo} 값을 보이며, Zn은 넓은 지역에 걸쳐 1 이상의 I_{geo} 값을 보여 타 금속과 다른 분포가 특징적이다.

3.2. 1M HCl 추출농도

퇴적물에 포함된 중금속은 화학적 존재형태에 따라 퇴적환경 변화에 수반되어 다양한 거동을 보이는데 특히 입자반응성이 큰 금속의 경우 존재형태가 불안정하여 저서 수생생태계에 큰 영향을 미칠 수 있다.^{14,21)} 금속의 존재형태가 달라지면서 저서생

태환경 변화에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 평가하기 위하여 단일시약추출법에 따라 1M HCl로 중금속을 추출하였다. 1M HCl은 토양과 퇴적물 모두에서 불안정한 형태의 중금속을 추출하는데 효과적인 시약으로 알려져 있으며, 1M HCl과 같은 약산으로 추출되는 금속, 즉 비광물격자부분은 흔히 인위적인 중금속 오염의 지시자로서 이용된다.²¹⁾

1M HCl 추출부분의 중금속 함량은 총농도에 대해 Cu 32~42%(평균 36%), Pb 52~65%(평균 59%), Zn 14~44%(평균 27%), Cr 3~11%(평균 7%), Co 20~29%(평균 24%), Fe 15~29%(평균 23%), Mn 58~81%(평균 71%), 그리고 Ni는 8~19%(평균 14%)를 차지하였다(Fig. 3). 따라서 퇴적 후 환경변화와 무관하게 농도 및 존재형태가 변하지 않는 광물격자부분의 함량은 Cr 및 Ni가 93%와 86%로 가장 높으며, Co, Fe 및 Zn이 70% 이상, Cu 약 65%, 그리고 Pb 41%, Mn 29% 순으로 감소한다. 비광물격자부분(1M HCl 추출부분)의 함량이 특히 높은 Mn은 연구지역의 퇴적환경변화에 따라 용존 망간의 농도가 증가할 수 있는 가능성을 지시하며, 이러한 Mn의 존재형태는 비광물격자 부분의 함량이 높은 타 연구 결과와 일치한다.^{2,22,23)} 비광물격자부분에서 59% 함량을 보이는 Pb는 경기만(34%)에 비해 높으나²⁾ 울산만(65%), 마산만(70%) 및 진해만(73%) 보다는 약간 낮다.^{2,22)} Pb는 대개 약산의 추출에 의해 인위적 기원의 Pb가 효과적으로 분리

Table 4. Number of observations that fall within the 7 pollution categories defined by Müller¹³⁾ for index of geoaccumulation (I_{geo}) for total digestion

	$I_{geo} > 5$	$I_{geo} 4 \sim 5$	$I_{geo} 3 \sim 4$	$I_{geo} 2 \sim 3$	$I_{geo} 1 \sim 2$	$I_{geo} 0 \sim 1$	$I_{geo} < 0$
Fe	0	0	0	0	0	0	28
Mn	0	0	0	0	0	12	16
Co	0	0	0	0	5	23	0
Cr	0	0	0	0	0	4	24
Cu	0	0	0	0	0	0	28
Ni	0	0	0	0	0	0	28
Zn	0	0	0	1	23	4	0
Pb	0	0	0	0	0	0	28

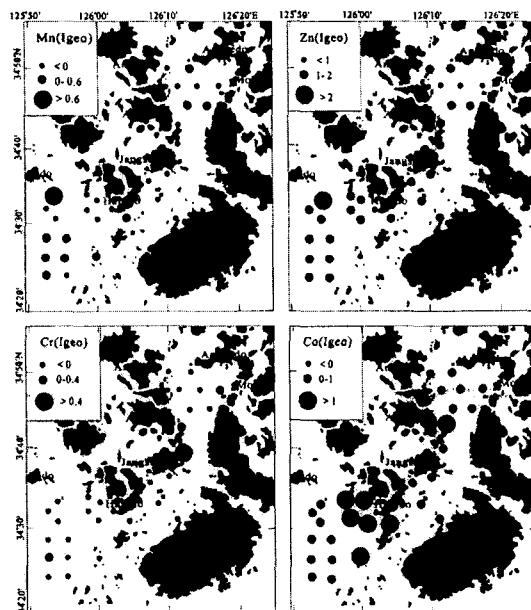


Fig. 2. Areal distribution of I_{geo} (geoaccumulation index) in $<63\mu m$ sediment fraction.

서남해안 연근해저 퇴적물의 중금속 함량 및 분포

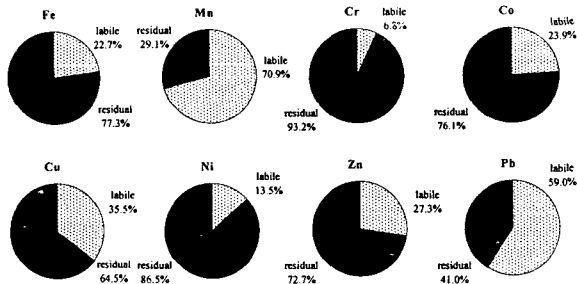


Fig. 3. Average percentage of acid (1M HCl) extractable metal (labile) fraction.

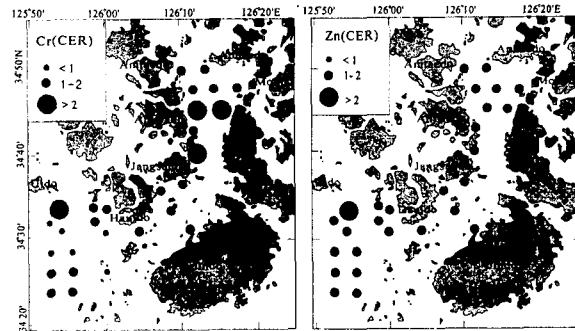


Fig. 4. Areal distribution of CER (concentration enrichment ratio) in <63µm sediment fraction.

된다.^{24~26)} 따라서 1M HCl에 용출된 Pb 함량은 인위적 기원의 납 유입이 이루어지고 있음을 지시한다.

존재형태가 불안정한 1M HCl 추출부분의 중금속 함량으로부터 인위적기원에 의한 중금속 농축의 징후를 파악하기 위하여 다음과 같이 concentration enrichment ratios(CER)를 구하였다.^{27,28)}

$$CER_n = C_n \text{ sample} / C_n \text{ background}$$

여기서 $C_n \text{ sample}$ 은 1M HCl에 추출된 중금속 농도를, $C_n \text{ background}$ 는 바탕값을 나타낸다. 바탕값은 육지로부터 인위적인 영향이 가장 제한된 것으로 판단되는 2개 지점(정점 24 및 27)을 control station으로 선정하여 평균값을 적용하였다. 선정된 2개 정점은 모래, 실트 및 점토의 함량이 편중되어 있지 않고, 실트-점토 함량이 각각 66.9% 및 64.6%로 연구지역 전체 니질 함량의 평균값에 해당된다. 계산 결과 CER이 2 보다 작을 때는 인위적인 영향이 없거나 미약함을 의미하며, 2~5 사이의 값은 moderate anthropogenic signal을, 5~20은 significant anthropogenic signal을, 그리고 40 이상은 심

각한 인위적 오염 징후를 나타낸다.

계산된 연구지역 퇴적물의 CER 값은 Table 5에 제시하였다. 연구지역의 시료를 바탕값으로 적용한 까닭에 비록 결과가 상대적이긴 하지만 Fe, Mn, Co, Cu, Ni 및 Pb의 CER은 모두 2 이하의 값을 보여 본 연구해역은 인위적 기원의 중금속 유입이 상당히 제한되어 있는 것으로 판단된다. Cr 및 Zn은 대부분의 시료가 2 이하의 CER 값을 나타내나 일부 몇 개 시료에서는 2~5 사이의 값을 보여 국지적인 오염의 징후를 보여준다. Cr은 특히 안좌도와 장산도 동부해역, 우이도 남부해역에서 CER 값이 2 이상으로 높으며(Fig. 4), 앞서 제시된 I_{geo} 와 다소 다른 분포의 특징을 나타낸다. 한편 Zn의 CER 값은 I_{geo} 의 분포와 동일하게 우이도 남부해역에서 높아 이 해역을 중심으로 오염이 점차 진행되고 있는 것으로 판단된다.

Table 5. Number of observations that fall within the 5 pollution categories defined by Sutherland²¹⁾ for concentration enrichment ratios (CER) for a 1M HCl single leach

	CER <2	CER 2~5	CER 5~20	CER 20~40	CER >40
Fe	28	0	0	0	0
Mn	28	0	0	0	0
Co	28	0	0	0	0
Cr	24	4	0	0	0
Cu	28	0	0	0	0
Ni	28	0	0	0	0
Zn	27	1	0	0	0
Pb	28	0	0	0	0

4. 결 론

목포와 진도간 서남해안에서 채취된 63µm 이하의 퇴적물을 대상으로 Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Zn 및 Pb의 총농도와 1M HCl 추출농도를 분석하여 퇴적물의 오염정도를 파악하였으며, 중금속 농축의 평가는 geoaccumulation index(I_{geo})와 Concentration Enrichment Ratio(CER) 개념을 적용하였다.

중금속의 총농도는 전반적으로 우이도와 진도 주변, 목포 앞바다에서 높고 장산도와 연구지역 남서부의 외해에서 낮은 경향을 보였다. 총농도를 토대로 geoaccumulation index(I_{geo})를 계산한 결과 Fe, Cu, Ni 및 Pb는 0 보다 낮은 I_{geo} 값을, Mn은 분석 시료의 반 이상이 0~1 사이의 I_{geo} 값을, Cr은 Mn과 비슷한 4개의 정점을 제외하면 0 보다 낮은 I_{geo} 값을 보였다. 그러나 Zn과 Co는 I_{geo} 0 이하의 시료가 없었으며, 특히 Zn의 경우 시료의 대부분이 I_{geo} 1~2 사이에 속하였다. 따라서 I_{geo} 값에 기초한 연구해역의 Fe, Cu, Ni 및 Pb의 농축은 현재까지 뚜

렸하지 않으며, 다만 Mn의 농축이 미약하지만 가능성이 있는 것으로 생각된다. 그러나 Zn은 타 금속보다 오염정도가 다소 높은 것으로 판단된다.

중금속의 존재형태가 불안정한 1M HCl 추출부분(비광물격자부분)의 함량은 Mn 및 Pb가 각각 71%와 59%로 가장 컸고 Cu 36%, Zn 27%, Co 24%, Fe 23%, Ni 14%, Cr 7% 순으로 작았다. 1M HCl 추출부분의 농도에 기초하여 concentration enrichment ratios(CER)를 계산한 결과 Fe, Mn, Co, Cu, Ni 및 Pb은 2 이하의 CER 값을 보였고, Cr 및 Zn은 일부 시료에서 2~5 사이의 값을 보여 이 두 금속은 점차 인위적 기원의 농축이 진행된 것으로 나타났다.

중금속의 총농도에 의한 geoaccumulation index와 1M HCl 추출농도에 의한 concentration enrichment ratio에 근거할 때 연구해역에서는 아직까지 중금속 오염이 제한되어 있지만 Cr 및 Zn은 점차 오염이 진행되고 있는 것으로 생각된다. 특히 Zn은 I_{geo} , CER 값 모두 우이도 남부해역에서 높아 주변 육지로부터 인위적 기원의 유입을 시사한다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2000-041-H00014)

참고 문헌

- 1) Hydrographic office, 1986, Technical reports, Pub. No. 1101.
- 2) 김범수, 2001, 한반도 주변 연안 표층퇴적물의 중금속 오염평가, 서울대학교 박사학위논문, 178pp.
- 3) Quevauriller, P.H., M. Lachica, E. Barahona, G. Rauret, A. Ure, A. Gomez, and H. Muntau, 1996, Interlaboratory comparison of EDTA and DTPA procedures prior to certification of extractable trace elements in calcareous soil, *Sci. Total. Env.*, 178, 127-132.
- 4) Folk, R.L., 1968, *Petrology of Sedimentary Rock*, Hemphill's, 653pp.
- 5) McBride, E.F., 1971, Mathematical treatment of size distribution data, In: *Procedures in Sedimentary Petrology* edited by R.E. Carver, Wiley-Interscience, 109-127pp.
- 6) Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters, *J. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- 7) 최만식, 정창식, 박계현, 1994, 암석 용해방법에 따른 미량원소 분석결과 비교, *암석학회지*, 3, 41-48.
- 8) Szfer, P., G.P. Glasby, J. Pempkowiak, and R. Kaliszan, 1995, Extraction studies of heavy metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland, *Chem. Geol.*, 120, 111-126.
- 9) Lee, S.H. and K.W. Lee, 1983, Heavy metals in sediments from Jinhae bay, Korea, *J. Oceanological Soc. Korea*, 18, 49-54.
- 10) Jung, H.S., C.B. Lee, Y.G. Cho, and J.K. Kang, 1996, A mechanism for the enrichment of Cu and depletion of Mn in anoxic marine sediment, Banweol intertidal flat, *Mar. Pollution Bull.*, 32, 782-787.
- 11) Salomons, W. and U. Förstner, 1984, *Metals in the Hydrocycle*, Springer-Verlag, 349pp.
- 12) Horowitz, A. J., 1991, *A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry*, Lewis Publishers, INC., 136pp.
- 13) Chester, R., 2000, *Marine Geochemistry*, Blackwell Science, 506pp.
- 14) Förstner, U. and G.T.W. Wittmann, 1983, *Metal pollution in the Aquatic Environment*, Springer-Verlag, Berlin. 486pp.
- 15) Wedepohl, K.H., 1969, *Handbook of Geochemistry*, Springer-Verlag, Berlin.
- 16) Müller, G., 1979, Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins, Veränderungen seit 1971, *Umschau*, 79, 778-783.
- 17) Martin, J.M. and M. Whitfield, 1983, The significance of river input of chemical elements to the ocean, In: *Trace Metals in Sea Water* edited by C.S. Wang, E. Boyle, J.D. Burton and E.D. Goldberg, Plenum, New York, 265-298pp.
- 18) Subramanian, V. and G. Mohanachandran, 1990, Heavy metals distribution and enrichment in the sediments of Southern East Coast of India, *Mar. Pollut. Bull.*, 2, 324-330.
- 19) Sahu, K.C. and U. Bhosale, 1991, Heavy metal pollution around the island city of Bombay, India. Part I: quantification of heavy metal pollution of aquatic sediments and recognition of environmental discriminants, *Chem. Geol.*, 91, 263-283.
- 20) Rubio, B., M.A. Nombela, and F. Vilas, 2000, Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an

- assessment of metal pollution, *Mar. Pollut. Bull.*, 40, 968-980.
- 21) Chester, R. and F.G. Voutsinou, 1981, The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediment, *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 84-91.
- 22) Hong, G.H., Y.A. Park, and K.W. Lee, 1983, Partitioning of heavy metals in sediments from Jinhae bay, Korea, *J. Oceanological Soc. Korea*, 18, 180-184.
- 23) 조영길, 이창복, 최만식, 1994, 남해 대륙붕 표층 퇴적물 중 중금속 원소의 분포특성, *한국해양학회지*, 29, 338-356.
- 24) Ng, A. and C.C. Patterson, 1982, Changes of lead and barium with time in California off-shore basin sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 2307-2321.
- 25) Hamelin, B., F. Grousset, and E.R. Sholkovitz, 1990, Pb isotopes in surficial pelagic sediments from the North Atlantic, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 37-47.
- 26) Monna, F., J. Dominik, J. L. Loizeau, M. Pardos, and P. Arpagaus, 1999, Origin and evolution of Pb in sediments of lake Geneva (Switzerland-France), Establishing a stable Pb record, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2850-2857.
- 27) Sutherland, R.A., 2000, Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, *Environ. Geol.*, 39, 611-627.
- 28) Sutherland, R.A., 2002, Comparison between non-residual Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn released by a three-step sequential extraction procedure and a dilute hydrochloric acid leach for soil and road deposited sediment, *Applied Geochem.*, 17, 353-365.