

새만금 갯벌의 중금속 분포 특성

김종구* · 유선재 · 조은일* · 안옥성**
군산대학교 토목환경공학부, *제주대학교 환경공학과, **한국요업기술원

Distribution Characteristics of Heavy Metals for Tidal Flat Sediments in the Saemankeum Area

Jong-Gu KIM⁺, Sun-Jae YOU, Eun-Il CHO* and Wook-Sung AHN**
School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea
*Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea
**Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

This study was conducted to evaluate distribution and behavior characteristics of heavy metals for tidal flat sediments in the Saemankeum area. The value of heavy metal contents in the tidal flat sediments were higher than that surveyed in 1994, but showing that it's lower when compared with the value of Shihwa lake. Enrichment factors in the tidal flat sediments showed below 1 except for Pb and Zn. Metal excesses was appeared that Cu, Cr, Fe, Mn lacked and Pb, Zn were high. The correlation analysis between heavy metals and organic matters was found high positive relationship ($r=0.424\sim0.839$), especially correlation coefficient between ignition loss and oxide Al, Fe, Mn showed high positive relationship above 0.7. The correlation analysis between grain size and heavy metals was found that as grain size was small, heavy metals contents were increased. Correlation coefficient between silt and heavy metals except for Cu, Pb showed high positive relationship as 0.552~0.732.

Key words: Saemankeum area, Tidal flat sediment, Heavy metal, Enrichment factor, Metal excess

서론

새만금 간척 매립사업은 만경강과 동진강 하구의 공유수면을 매립·간척하여 종합개발 및 배후지 관개개선, 도농간 균형발전, 대규모 담수자원 조성 등을 목적으로 실시되었으나, 내부개발계획의 문제 및 사업자체에 의한 환경적 악영향을 주장하는 환경단체의 반발로 인하여 현재 농지로 이용한다는 목적으로 실시되고 있다.

국내에서 이루어진 많은 간척사업 중에서 환경에 가장 악영향을 미친 실패한 사업의 하나인 시화호 간척사업이 발생한 이래 간척사업으로 인한 환경적 문제점에 대한 인식이 대두되었고, 1992년 이후 현재까지 진행중인 국내최대의 간척사업인 전북 군산시에서 신시도를 거쳐 부안군을 연결하는 새만금 간척사업에 대하여 환경단체들이 자연 갯벌생태계의 훼손 및 파괴에 대한 많은 문제점을 제기하였다.

간척사업으로 인한 환경오염 중에서도 부영양화나 중금속오염 문제가 중요한 요인으로 제기되었고, 대부분의 중금속은 환경중에서 지속성을 가지며 수계로 유입된 중금속은 퇴적물에 축적되거나 여러 과정을 거쳐 수중에 재용해 되기도 한다. 또한 먹이사슬을 거쳐 사람에게 다량 축적될 경우 독성을 일으키는 물질로써 세계 각국에서 일부 중금속에 대해서는 유해물질로 규정하여 규제하고 있으며, 우리나라에서도 일부 중금속 항목은 환경기준에 지정되어 있다.

중금속이 환경중에서 가지는 중요성을 반영하여 하구 및 연안 환경에서 중금속 오염 및 거동 특성을 파악하기 위하여 많은 연

구가 수행되어 왔는데, 하구, 해양의 여러 수계 환경에서의 중금속 거동에 대한 연구 (Yoon and Kim, 1998; 2000)가 있고, 하구 퇴적물 내 중금속의 분포 및 거동 특성에 관한 국내·외 연구 (Goldberg et al., 1979; Zhang et al., 1988; Hoshika et al., 1991; Service et al., 1966; Shim et al., 1998; Hyun et al., 1999; Choi et al., 2000; Shim et al., 1999)가 있다.

특히 연안 간척사업으로 인한 환경변화에 따른 중금속 특성을 조사하기 위하여 시화호를 대상으로 육상오염부하에 의한 중금속 오염 및 호 내 중금속의 거동 특성에 대한 많은 연구 (Lee et al., 1985; Ahn et al., 1995, Kim, 2000; Shim et al., 1998; Hyun et al., 1999; Choi et al., 2000; Shim et al., 1999)가 수행되었다.

본 연구에서는 현재 간척사업이 진행되고 있는 새만금 지역의 만경강과 동진강 하구 표층 퇴적물을 대상으로 중금속 분포특성을 조사하고 시화호 퇴적물의 중금속 오염도와 비교 평가하였으며, 입도특성 및 유기오염에 따른 중금속의 거동을 평가하였다.

재료 및 방법

조사위치

새만금 지역 만경, 동진강 하구퇴적물의 중금속 분포특성을 파악하기 위해 1999년 8월과 9월 2회에 걸쳐 Fig. 1에 나타난 91개 지점에서 표층 갯벌을 차량 (St. 1~St. 67)과 선박 (St. 68~St. 91)을 이용해 채취하였다. 화학적 분석은 해양환경공정시험방법 (1998)에 따라 분석하였다. 조사항목 및 분석방법은 다음과 같다.

실험방법

갯벌의 입도특성 및 유기물질농도에 따른 중금속 거동특성을

*Corresponding author: kjg466@kunsan.ac.kr

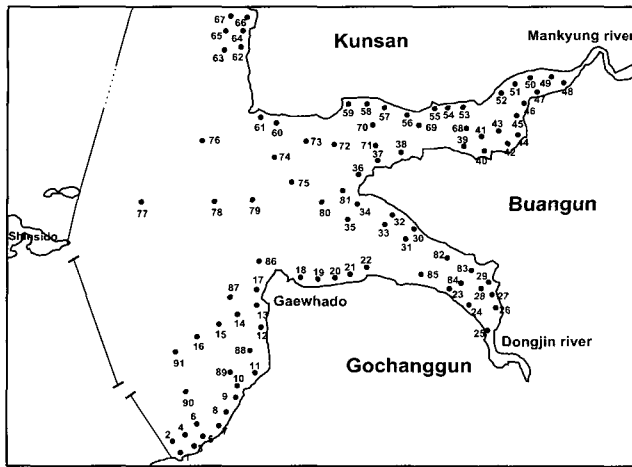


Fig. 1. Map of the sampling station.

평가하기 위하여 입도분석 및 유기물농도와 중금속농도를 측정하였다.

입도분석은 HCl 및 H₂O₂로 탄산염 및 유기물 분해 후 표준체로 습식체분석을 실시하고, 200 mesh (74 μm) 이하의 입자시료는 미립도 측정기 (He-Ne laser, CILAS granulometer 715)를 이용하여 측정하였다. 유기물함량을 나타내는 강열감량 (Ignition Loss)은 전기로에서 600 ± 25°C로 회화한 후 중량 감소분을 백분율로 나타내었다. Carbon과 Sulfur는 시료 1g을 세라믹도가니에 넣어 고주파 유도장치로 연소시켜 발생하는 CO, CO₂, SO₂를 검출하는 탄소/유황분석기 (CS-300 (LECO))로 분석하였다. 퇴적물의 중금속은 질산-염산-불화수소를 이용하여 마이크로웨이브 시료 전처리 장치에서 분해 후 ICP (Perkin-Elmer Optima 3000 DX) 및 원자흡광광도계 (Varian SpectrAA 880)로서 정량 분석하였다.

퇴적환경에서의 중금속 거동

환경중에서 각종 시료에 대한 중금속의 기원, 거동형태, 축적정도를 파악하기 위하여 농축계수, 중금속 과잉량을 구하여 해석하고 있다.

농축계수 (Enrichment factor, EF)는 퇴적물, 수계내의 부유물질 및 대기분진등 여러 환경 시료 중에 들어있는 원소들의 농축 정도와 기원을 파악하는 방법으로 농축계수를 이용한다. 농축계수는 가능한 기원에 대한 보존성 기준원소를 정하고 다른 원소들의 상대적인 농축정도를 파악하는데, 지각기원일 경우 Al, Fe, Sc, 해염입자의 경우에는 Na 등을 기준원소로 이용한다 (Qu et al., 1993; Choi et al., 1989). Al을 기준원소로 택하여 구하는 농축계수는 식 (1)과 같이 표현되며, 이 값이 1이 넘으면 일반적으로 인위적인 영향이 작용하는 것으로 판단한다.

$$EF = \frac{M_s/Al_s}{M_d/Al_d} \quad (1)$$

식 (1)에서의 EF는 원소 M의 농축계수, M_s와 Al_s는 시료 중의 대상원소와 Al함량, M_d와 Al_d는 지각중의 대상원소와 Al의 함량을 의미한다. 지각중의 원소함량은 Taylor (1964)가 제시한 값을 이

용하였다.

중금속 과잉량 (Metal excess)은 중금속이 환경내에서 여러 과정을 거치면서 퇴적물이나 부유물질에 축적되거나 용출되는데 기준원소를 정하여 자연환경에 비해 축적된 양을 추정할 수 있다. 이 계산에는 농축계수와 같이 Al을 기준원소로 이용하며, 시료내에 각 중금속의 과잉량 (M_{excess})을 식 (2)와 같이 계산한다 (Brugmann et al., 1992; Paulson et al., 1993).

$$M_{s,excess} = M_s - Al_s \frac{M_c}{Al_c} \quad (2)$$

여기서 M_{s,excess}는 시료중의 중금속 과잉량, M_s와 Al_s는 시료내 원소와 Al 함량, M_c와 Al_c는 Taylor가 제시한 지각의 원소 및 Al의 평균함량을 나타낸다. 계산결과와 부호가 양이면 과잉으로 존재하고, 음이면 부족함을 의미한다.

결과 및 고찰

새만금지구 갯벌의 입도, 유기물 및 중금속 분포특성
새만금지구 하구 표층 퇴적물에 대한 입도조성, 유기물함량 및 중금속의 함량범위와 평균을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Range and mean values of grain size, I.L. and heavy metal for tidal flat sediment in study area

Constituent	Unit	Range		Average
		MIN	MAX	
Sand	%	7.77	98.44	
Silt	%	1.46	84.32	
Clay	%	0.07	20.32	
Ignition Loss	%	0.47	5.79	2.17
C	μg/g	1,019	10,750	3,471
S	μg/g	100.4	1,561.0	747.5
oxide Al	%	4.600	9.970	7.102
oxide Fe	%	1.406	5.851	2.729
oxide Mn	%	0.028	0.214	0.061
Cu	μg/g	8.9	75.3	21.5
Zn	μg/g	37.9	199.0	84.7
Pb	μg/g	14.3	62.9	26.1
Cr	μg/g	11.2	86.6	47.2
Cd	μg/g	ND	ND	ND

새만금 갯벌의 입도 특성을 보면 전체적으로 사질이 우세하였고, 세립한 제 이차 혼합물인 실트질이 추가된 반면 Clay 함량은 매우 낮게 나타났다.

유기오염 지표인 강열감량의 경우 0.47~5.79%로 평균 2.17%를 나타내었으며, 만경강과 동진강 하구를 제외하고는 1.5% 이하의 강열감량을 나타내었다. 탄소는 1,019~10,750 mg/kg의 농도범위로 평균 3,471 mg/kg을 나타내었고, 부안 방조제 쪽과 만경강 하구에서 5,000 mg/kg 이상의 높은 농도를 보였다. 황의 농도범위는 100.4~1,561.0 mg/kg으로 평균 747.5 mg/kg이었고 만경강 하류에서 높고 계화방조제 부근에서 낮은 농도를 보였다. 그리고 만경강

하류인 지점 48~60에서 1,000 mg/kg 이상의 높은 값을 보여 만경강에서 유입되는 하천수의 영향을 받은 것으로 사료되었다.

퇴적물 구성 성분중 금속 결합에 영향을 끼치는 주요인자는 Clay입자와 금속 산화물 및 유기물 함량인 것으로 알려져 있다 (Hart 1982). 이 중 금속 산화물의 대표적인 산화 Al, Fe, Mn의 등농도 분포도를 Fig. 2에 나타내었다.

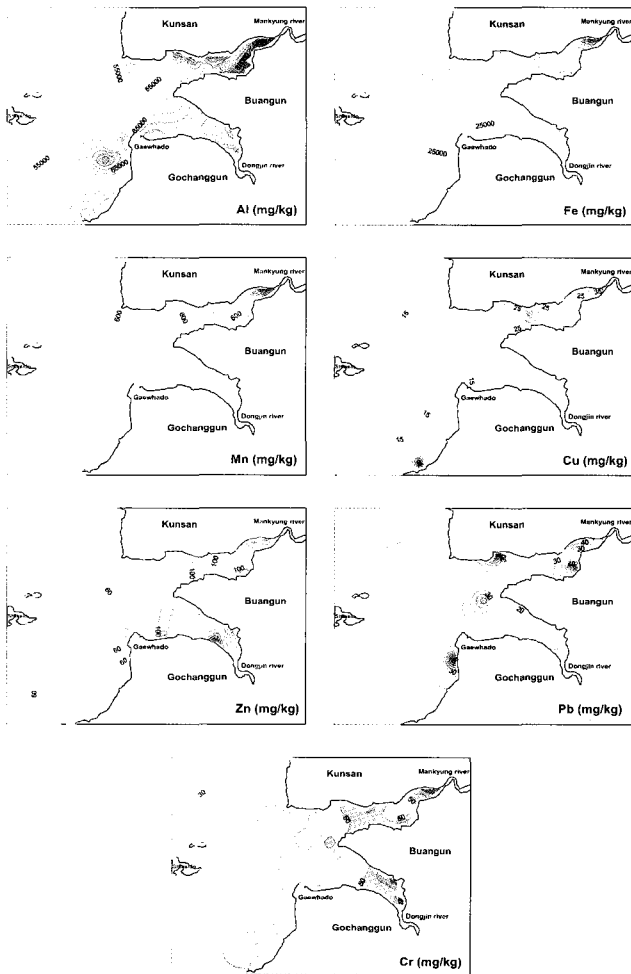


Fig. 2. Distribution of heavy metals for tidal flat sediment in study area.

Al은 퇴적물 중의 중금속 농축계수 및 과잉량을 결정하는 기준 원소로 사용되는 보존성 기준원소이다. 본 조사에서 산화 Al은 농도 범위가 4.60~9.97% (평균 7.10%)로 만경강 하류인 지점 40~58에서 6% 이상 높은 함량을 그리고 방조제 수문 입구부인 지점 76~77에서 가장 낮은 농도를 보였다. 이들 값은 Lee et al. (1996)이 미국 델라웨어주 토양에서 보고한 0.052~1.321% 보다 훨씬 높았고, Kim (2001)이 시화호에서 조사한 5.40~8.33% (6.98%)와 비슷한 농도수준을 보였다. 산화 Fe의 농도 범위는 1.41~5.85% (평균 2.73%)로 산화 알루미늄과 마찬가지로 만경강하류에서 높은 농도를, 새만금 방조제 공사가 완료된 군산 비행정 부근의 갯

벌에서 낮은 농도를 나타냈다. 이들 값 또한 Lee et al. (1996)의 0.076~1.563% 보다 약간 높고, Kim (2001)의 시화호 자료인 2.09~5.51% (3.64%) 보다는 약간 낮은 농도를 나타내었다. 산화 Mn의 농도 범위는 0.028~0.214% (평균 0.061%)로 만경강과 동진강 하류에서 높은 농도를 나타냈다. 이들 값은 Lee et al. (1996)의 0.003~0.065% 보다 10배 이상 높았지만, 시화호 표층 퇴적물에 대해서 Shim et al. (1998)이 조사한 0.0476~ 0.0998% 및 Kim (2001)이 조사한 0.033~0.149%와 비슷한 농도를 보였다.

만경, 동진강 하구 갯벌에서의 중금속 (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr) 등농도 분포도를 Fig. 3에 나타냈다.

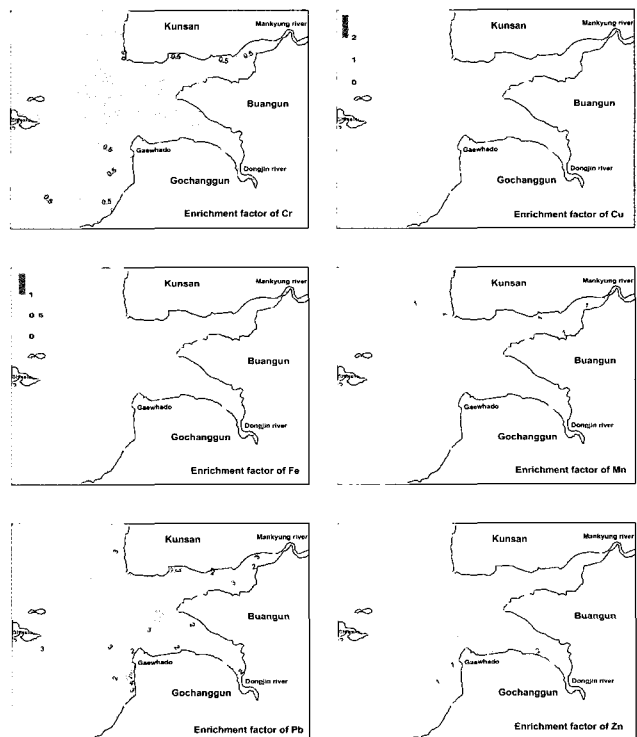


Fig. 3. Spatial distribution of enrichment factors for heavy metals in the surface sediments.

Cu의 농도 범위는 8.88~75.30 $\mu\text{g/g}$ (평균 21.48 $\mu\text{g/g}$)으로 지점 4에서 가장 높았고, 만경강 하류에서는 25 $\mu\text{g/g}$ 이상이었다. 이들 값은 1994년 새만금 조사시에 보고된 0.5~0.87 $\mu\text{g/g}$ (평균 0.65 $\mu\text{g/g}$)보다 20배 이상 높지만 이는 분석 방법상의 차이 때문인 것으로 판단된다. 그러나 Kim (2001)이 시화호에 대해서 조사한 자료인 12.5~318 $\mu\text{g/g}$ (76.2 $\mu\text{g/g}$) 보다는 1/3 이하의 낮은 농도를 나타 내었는데, 이는 시화호의 경우 인근 반월공단을 통한 산업폐수의 유입으로 인한 영향 때문으로 판단된다. Zn의 농도 범위는 37.90~199.00 $\mu\text{g/g}$ (평균 84.67 $\mu\text{g/g}$)으로 만경강과 동진강 하류에서 100 $\mu\text{g/g}$ 이상으로 높았고, 나머지 지점에서는 60 $\mu\text{g/g}$ 정도의 낮은 값이었다. 이들 값은 시화호에 대해서 Shim et al. (1998)의 조사 결과인 243 $\mu\text{g/g}$ 및 Kim (2001)의 56.7~523 $\mu\text{g/g}$ (186 $\mu\text{g/g}$) 보다 훨씬 낮은 농도를 보였다. 납의 농도 범위는 14.30~62.90 $\mu\text{g/g}$ (평균 26.12 $\mu\text{g/g}$)

으로 만경강 하류에서 평균값 보다 높은 30 µg/g 이상의 값을 나타냈다. 이들 값은 시화호에 대해서 Shim et al. (1998)이 조사한 42.9 µg/g 및 Kim (2001)이 조사한 15.0~68.2 µg/g (30.0 µg/g)과 비슷한 농도 수준이었다. Cr의 농도 범위는 11.2~86.6 µg/g (평균 47.2 µg/g)으로 만경강과 동진강 하류에서 평균값 보다 높은 50 µg/g을 나타냈다. 이들 농도는 Shim et al. (1998)의 103 µg/g 및 Kim (2001)의 37.9~176 µg/g (81.9 µg/g) 보다는 1/2 정도 낮은 값이었다. Cd은 본 조사에서 검출되지 않았으나, 시화호 조사에서는 Kim (2001)의 자료에서 0.09~1.40 µg/g (0.42 µg/g)로 나타났다. 따라서 본 조사결과는 산업폐수의 영향을 받는 시화호와 달리 상대적으로 낮은 중금속농도를 나타내고 있었다.

표층 퇴적물에서 중금속 함량과 입도의 영향을 배제한 분포를 파악하기 위하여 식 (1)과 Taylor (1964)의 지각 평균 금속함량을 이용하여 구한 농축계수와 중금속 과잉량을 Table 2~3에 나타내었고, 공간적 분포도를 Fig. 3~4에 나타내었다. 이때 기준원소로 사용된 Al은 입도의 특성을 잘 반영하는 중금속 함량의 normalizer에 가장 적합한 원소이다 (Schropp et al., 1990).

Table 2. Range and mean values of enrichment factor for heavy metals in the surface sediments

Element	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Min.	0.17	0.25	0.36	0.39	1.19	0.72
Max.	0.83	1.64	0.90	1.92	6.09	3.03
Mean	0.55	0.46	0.56	0.73	2.48	1.41

Table 3. Range and mean values of metal excesses in the surface sediments

Element	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Min.	-64.97	-41.80	-3.04	-0.05	2.27	-17.63
Max.	-11.29	29.37	-0.31	0.10	51.65	133.43
Mean	-39.09	-25.98	-2.13	-0.02	15.33	24.27

자연적인 중금속 농축에 대한 인위적 농축의 정도를 판단하는 농축계수의 경우, Fe과 Cr은 1 이하로써 인위적 영향이 거의 없었으며, Mn, Cu의 경우 일부지점에서만 1을 넘었으나, 대부분 1 이하의 값을 보였다. 그러나 Pb와 Zn의 경우 대부분 지점이 1 이상의 값을 보였다. 이는 Kim (2001)이 시화호에서 조사한 결과와 비교할 때 Cu가 다소 상이한 결과를 보였을 뿐 다른 금속의 경우 유사한 농축 계수를 나타내었다.

표층퇴적물의 중금속 과잉량 ($M_{s,excess}$)의 경우 Cu, Cr, Fe, Mn은 부족한 상태였으며, Pb, Zn은 농축되어 있는 것으로 나타났다.

퇴적물 입도와 중금속의 관계

퇴적물의 입도특성에 따른 중금속 함량과의 관계를 조사하여 Table 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

일반적으로 퇴적물의 중금속 함량은 퇴적물의 기반암 차이, 퇴적환경의 변화, 인위적 활동에 의하여 영향을 받고 있으며, 해양 환경하에서는 입도, 광물조성, 탄산염 및 유기물 함량의 영향이 크게 작용한다 (Calvert, 1976).

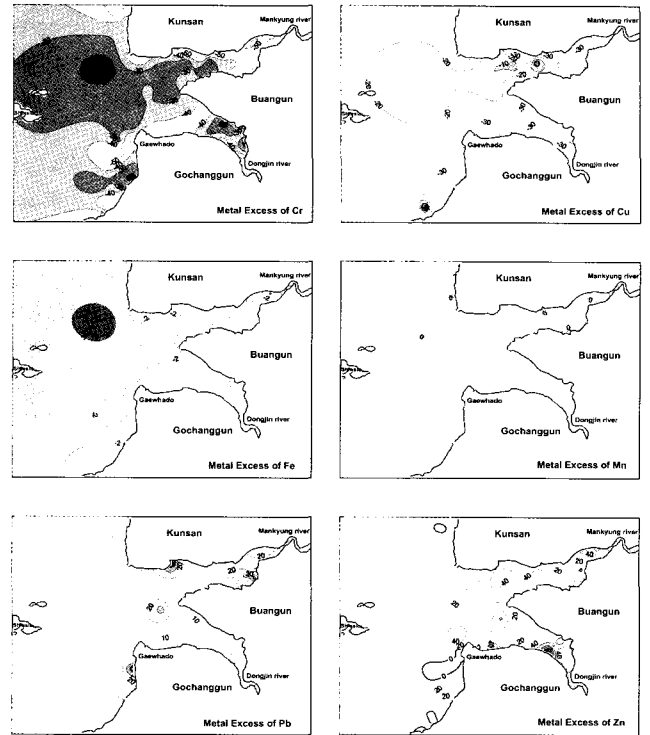


Fig. 4. Spatial distribution of metal excesses in the surface sediments.

Table 4. Correlation coefficients(R) between particle size and heavy metals in surface sediments of the Mankyung and Dongjin river estuary

Item	Al	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr
Clay	0.630	0.668	0.601	0.435	0.551	0.346	0.717
Silt	0.732	0.651	0.488	0.416	0.552	0.268	0.728
Sand	-0.734	-0.663	-0.505	-0.428	-0.563	-0.279	-0.734

입도 중의 Silt의 함량 (%)에 대한 상관분석에서 산화 Fe ($r=0.728$), Mn ($r=0.651$), Al ($r=0.732$)이 모두 정의 상관성을 나타내어 니질의 함량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. Cr과 Zn도 정의 상관성을 보여 입도조성과 실트와 점토로 갈수록 중금속의 함량이 증가하였다. 이는 퇴적물내의 중금속과 유기물 함량은 입도가 세립할수록 증가하는 경향이 있는데 이는 입도의 증가에 따른 넓은 표면적과 그에 따른 흡착 및 이온교환량의 증가 때문이다 (Cho et al., 1994; Horowitz, 1991)라는 보고와 일치하였다. 그러나 Cu와 Pb의 경우 상관성이 0.4 이하의 낮은 관계를 나타내었다.

전체적으로 중금속 항목과 실트, 점토와는 정의 상관성을 보인 반면 모래와는 모두 부의 상관관계를 나타내었다.

퇴적물내 유기물질과 중금속간의 상관관계

퇴적물에서 존재하는 유기물질과 중금속간의 상관관계를 분석하기 위하여 상관분석을 실시한 결과를 Table 5 및 Fig. 6~7에 나타내었다.

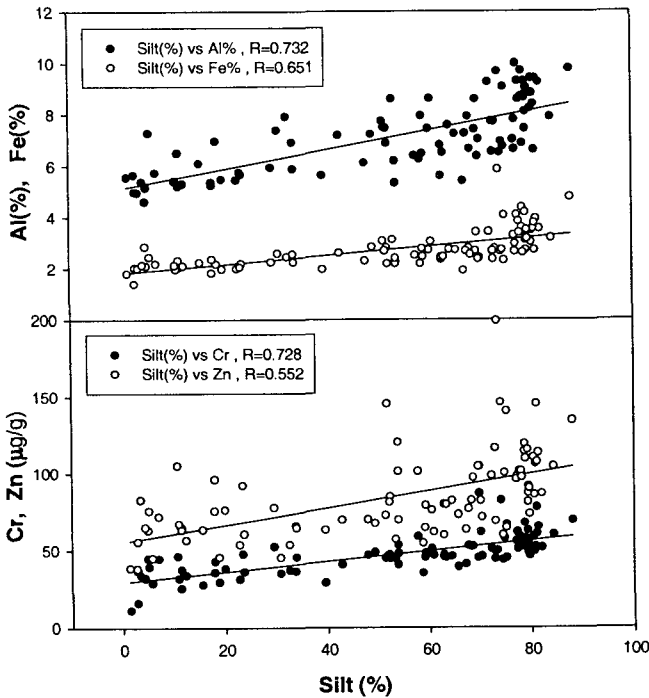


Fig. 5. Relationship between Silt and Al, Fe, Cr, Zn.

Table 5. Correlation coefficients(R) among I.L., C, S and metals in surface sediments of the Mankyung and Dongjin river estuary

Item	I.L.	Al	Fe	Mn	C	S	Cu	Zn	Pb	Cr
I.L.	1.000									
Al	0.728	1.000								
Fe	0.839	0.867	1.000							
Mn	0.754	0.683	0.882	1.000						
C	0.743	0.524	0.737	0.718	1.000					
S	0.614	0.660	0.674	0.596	0.626	1.000				
Cu	0.518	0.315	0.389	0.355	0.399	0.276	1.000			
Zn	0.590	0.487	0.598	0.569	0.576	0.532	0.413	1.000		
Pb	0.424	0.244	0.330	0.336	0.270	0.257	0.295	0.210	1.000	
Cr	0.734	0.602	0.751	0.647	0.722	0.614	0.503	0.700	0.252	1.000

일반적으로 토양에서 중금속의 흡착과 탈착반응은 순간적인 평형 과정이 아닌 시간 의존적이며 토양에서의 중금속은 화학적 반응과 확산에 의해 흡착되어진다. 이러한 흡·탈착과정에서는 여러 환경조건이 중요한 요소로 작용하지만, 그 중 최근의 연구에서 유기물이 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. You et al. (2000)는 갯벌과 황토를 대상으로 중금속 흡착기작을 연구하면서 유기물의 존재 정도에 따라 중금속 흡착능력이 크게 달라진다고 보고하였고, Yin et al. (2002)는 토양에서의 중금속 탈착에 있어 토양과 용액의 비율 및 유기물 농도에 따라 크게 변화 한다고 보고하였다.

퇴적물의 유기물 농도와 중금속 농도와의 단순상관분석에서 총 유기물질의 양을 의미하는 강열감량 (I.L.)에 대하여 산화 Al ($r=0.728$), 산화 Fe ($r=0.839$), 산화 Mn ($r=0.754$)이 높은 정의 상관성을 나타내었고, 탄소 (C)와 산화금속간에도 0.524~0.737 및

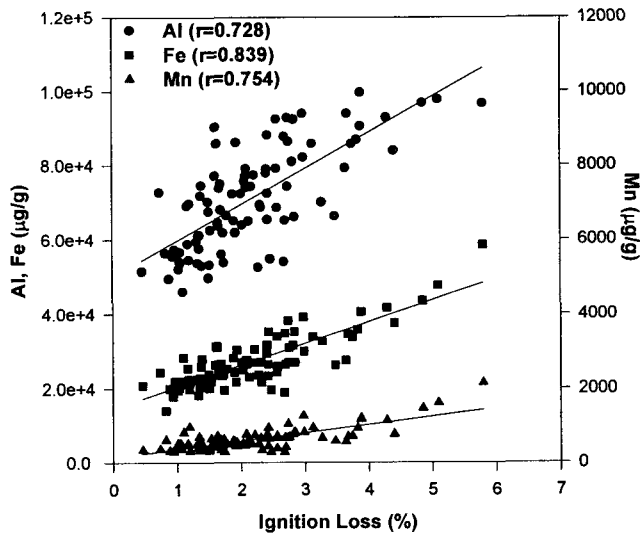


Fig. 6. Relationship between ignition loss and oxide Al, Fe, Mn.

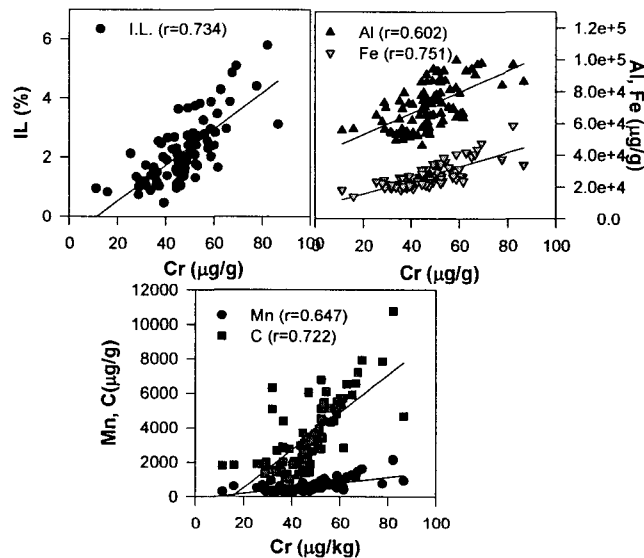


Fig. 7. Relationship between Cr and pH, I.L., Al, Fe, Mn, C.

황 (S)과 산화금속간에도 0.596~0.674의 좋은 정의 상관성을 나타내었다. 이는 Kim (2001)이 사회호의 표층퇴적물을 대상으로 저질 항목인자간의 상관분석에서 나타난 결과와 유사하였다.

그리고 전이중금속원소인 Cr에 대한 상관조사에서 산화금속인 Al ($r=0.602$), Fe ($r=0.751$), Mn ($r=0.647$)과 정의 좋은 상관성을 보였고, 유기물량을 나타내는 강열감량 ($r=0.734$) 및 C ($r=0.722$)와 높은 정의 상관성을 보였으며, 중금속 항목인 Cu ($r=0.503$)와 Zn ($r=0.700$)과도 좋은 정의 상관성을 보였다.

중금속 항목중에서도 Pb는 다른 인자에 비하여 현저히 낮은 상관성을 나타내고 있는데, 이는 Pb의 황화물에 대한 축적은 Cu, Zn에 비하여 상대적으로 낮다고 보고 (Choi et al., 1999)한 바 있으며, 공급기원의 기여도 및 거동형태의 차이에 의하여 상관성

이 낮은 것으로 판단되었다.

요 약

새만금 간척사업이 진행중인 만경, 동진강 하구의 조간대 갯벌에 대한 중금속 분포 및 거동 특성을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

표층퇴적물의 중금속 함량은 1994년 관측자료보다 전체적으로 높은 농도를 나타내었고, 시화호 퇴적물보다는 대체적으로 낮은 농도수준을 나타내었다. 퇴적물의 중금속 농도는 시화호 보다 Cu 1/4배, Zn 1/3배, Cr 1/2배 이하의 낮은 값이었다.

농축계수는 Pb와 Zn을 제외하고는 1 이하의 낮은 값을 나타내었고, 시화호에서 나타난 결과와 유사하였다. 중금속 과잉량에서는 Cu, Cr, Fe, Mn은 부족하였으며, Pb와 Zn은 농축되어 있는 것으로 나타났다.

중금속과 유기물량과의 관계에서 유기물 농도와 중금속간에는 높은 정의 상관성을 나타내고 있는데, 강열감량과의 상관분석에서 모든 중금속이 좋은 상관성 ($r=0.424\sim0.839$)을 보였고, 특히 산화 Fe, Mn, Al은 0.7 이상의 높은 정의 상관계수를 나타내었다.

중금속과 입도와의 상관조사에서 입도가 세립할수록 중금속의 함량이 증가하였으며, 실트와의 상관분석에서 Cu와 Pb를 제외하면 다른 중금속은 0.552~0.732의 정의 높은 상관계수를 나타내고 있었다.

새만금 하구퇴적물의 중금속 오염정도는 시화호 퇴적물과 비교하여 많이 낮았는데, 이는 시화호의 경우 연안에 위치한 공단으로부터 배출되는 폐수의 영향을 직접적으로 받고 있는 반면, 만경강과 동진강하구 주변에는 산업단지가 조성되어 있지 않으며, 또한 생활하수를 배출하는 전주와 익산도 하구와는 상대적으로 떨어진 곳에 위치하고 있기 때문으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Ahn, I.Y., Y.C. Kang and J.W. Choi. 1995. The influence of industrial effluents on intertidal benthic communities in Panweol, Kyeonggi bay (Yellow sea) on the west coast of Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, 30, 200~206.
- Brugmann, L., P.C. Bernard and R. van Grieken. 1992. Geochemistry of suspended matter from the Baltic sea 2. Results of bulk trace metal analysis by AAS. *Mar. Chem.*, 38, 303~323.
- Calvert, S.E. and T.F. Pedersen. 1993. Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: Implications for the geological record. *Mar. Geol.*, 113, 67~88.
- Cho, Y.G. 1994. Distribution and origin of metallic elements in marine sediments around Korean peninsula. Ph. D. Thesis, Seoul Nat. Univ. (in Korean).
- Cho, Y.G., C.B. Lee and M.S. Choi. 1994. Characteristics of heavy metal distribution in Surface sediments from the south sea of Korea. *J. Oceano. Soc. Korea*, 29, 338~356 (in Korean).
- Choi, M.S., S.R. Cho and D.S. Lee. 1989. Chemical composition and sources of atmospheric particulates collected on the West coast of Korea. *J. of KAPRA*, 5, 72~83 (in Korean).
- Choi, M.S., J.H. Chun, H.J. Woo and H.I. Yi. 1999. Change of heavy metals and sediment facies in surface sediments of the Shihwa lake. *J. of the Koe. Eviron. Sci. Soc.*, 8, 593~600 (in Korean).
- Choi, J.H., J.W. Kang, D.B. Hong and Y.A. Park. 2000. Distribution of organic carbon, organic nitrogen and heavy metals in lake Shihwa sediments. *「The Sea」 J. Korean Soc. Oceano.*, 5, 276~284 (in Korean).
- Goldberg, E.D., J.J. Griffin, V. Hodge, M. Koide and H. Windom. 1979. Pollution history of the Savannah river estuary. *Environ. Sci. Technol.*, 13, 588~594.
- Hart, B.T. 1982. Uptake of trace metals by sediments and suspended particulates. A review, *Hydrobiologia*, 91, 299~313.
- Hoshika, A., T. Shiozawa, K. Kawana and T. Taminoto. 1991. Heavy metal pollution in sediment from the Seto inland sea, *Jpn. Pollut. Bull.*, 23, 101~105.
- Horowitz, A.J. 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis pub., USA, 136pp.
- Hyun, S.M., J.H. Chun and H.I. Yi. 1999. Sedimentary environments and heavy metallic pollution at Shihwa lake. *「The Sea」 J. of the Korean Soc. Oceano.*, 4, 198~207 (in Korean).
- Kim, K.T. 2001. Behavior of heavy metals in the lake Shihwa constructed by reclamation of intertidal flat. Ph. D. Thesis, Pukyong Nat. Univ., 103~122 (in Korean).
- Lee, C.B., Y.A. Park and C.H. Koh. 1985. Sedimentology and geochemical properties of intertidal surface sediments of Banweol area in the southern part of Kyunggi bay, Korea. *J. Oceano. Soc. Korea*, 20, 20~29.
- Lee, S.Z., H.E. Allen, C.P. Huang, D.L. Sparks, P.F. Sanders and W.J. G.M. Peijnenburg. 1996. Prediction soil-water partition coefficients for cadmium. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 3418~3424.
- Paulson, A.J., H.C. Curl and R.A. Feely. 1993. The geochemistry of nutrients and trace metals in Hood Canal, a puget sound fjord. *Mar. Chem.*, 43, 157~173.
- Qu, C.H., C.Z. Chen, J.R. Yang, L.Z. Wang and Y.L. Lu. 1993. Geochemistry of dissolved and particulate elements in the major rivers of China (The Huanghe, Changjiang, and Zhunjiang Rivers). *Estuaries*, 16, 475~487.
- Schropp, S.J., F.G. Lewis, H.L. Windom, J.D. Ryan, F.D. Calder and L.C. Burney. 1990. Interpretation of metals concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, 13, 227~235.
- Service, M., S.H. Mitchell and W.T. Oliver. 1966. Heavy metals in the superficial sediments of the N-W Irish sea. *Pollut. Bull.*, 32, 828~830.
- Shim, M.J., E.S. Kim, K.T. Kim and K.W. Lee. 2000. Pyritization of heavy metals in lake Shihwa sediments, Korea. *J. Oceano. Soc. Korea*, 35, 89~97.
- Shim, M.J., E.S. Kim, K.T. Kim, G.B. Lee, H.S. Kang and K.W. Lee. 1998. Distribution of organic carbon, sulfur and heavy metals in Shihwa lake sediments. *J. KSWQ*, 14, 469~482 (in Korean).
- Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 28, 1273~1285.
- Yang, J.W. 1990. Sedimentation and release characteristics of phosphorus in Nakdong estuary barrage. M.D. Thesis, Nat'l Fish. Univ. of Busan, 11~14.
- Yin, Y., C.A. Impellitteri, S.J. You and H.E. Allen. 2002. The impor-

- tance of organic matter distribution and extract soil:solution ratio on the desorption of heavy metal from soils. *The Sci. of the Total Environ.*, 287, 107~119.
- Yoon, Y.Y. and K.T. Kim. 1998. Level and fate of trace metals in the Namdae stream. *J. KSEE*, 20, 1039~1049 (in Korean).
- Yoon, Y.Y. and K.T. Kim. 2000. Level and fate of Arsenic (As) in the Namdae stream. *J. KSEE*, 22, 149~157 (in Korean).
- You, S.J., J.G. Kim and J.B. Kim. 2000. Adsorption kinetics of metals (Cu, Cd, Pb) in tidal flat sediments and Yellow losses. *J. Korean Fish. Soc.*, 3, 250~256 (in Korean).
- Zhang, J., W.W. Huang and J.M. Martin. 1988. Trace metals distribution in Huanghe (Yellow river) estuarine sediments. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 26, 499~516.
- 농어촌진흥공사. 1996. 한국의 간척, 45pp.
- 전라북도·농림수산부. 1994. 새만금 종합개발 사업 어업피해 보상조사 연구 제III편 화학해양학적 조사, pp. 33~70.
- 해양수산부. 1988. 해양환경공정시험방법.

2002년 9월 25일 접수

2003년 2월 11일 수리