

Measurement of metals in sediment of the Geum-River and their correlation

Jun-Bae Lee¹, Seoun-Hwa Hong¹, Dong-Ho Kim¹, In-Ae Huh², Yu-Jeong Huh², Jong-Beom Khan¹,
Da-Yeon Oh¹, Keon-Young Kim¹, Young-Joon Lee², Soo-Hyung Lee¹ and Ho-Sang Shin^{3, *}

¹Geum River Environment Research Center, Okcheon-eup, Chungbuk, Korea

²Water Environmental Research Department, Water Environmental Engineering Research Division,
National Institute of Environmental Research, Kyungseo-dong, Seo-gu, Incheon, Korea

³Department of Environmental Education, Kongju National University, Kongju, Chung-Nam, Korea

(Received December 6, 2013; Revised January 10, 2014, 0000; Accepted January 10, 2014)

금강수계 퇴적물 중 금속류 분석 및 상관성 조사

이준배¹ · 홍선화¹ · 김동호¹ · 허인애² · 허유정² · 간종범¹ · 오다연¹
· 김교영¹ · 이영준² · 이수형¹ · 신호상^{3, *}

¹국립환경과학원 금강물환경연구소, ²국립환경과학원, ³공주대학교
(2013. 12. 6. 접수, 2014. 1. 10. 수정, 2014. 1. 10. 승인)

Abstract: An investigation of grain size, organic compounds and metal distribution in 23 sediment samples of the Geum-River basin (Korea) was conducted in two seasons of 2012 (dry season and rainy season). The samples of sediment were collected from the basin and investigated for concentrations of some metal and general indexes containing grain size. Concentrations of Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, As, Cd, Hg, Al and Li have been determined by inductively coupled plasma spectrometer (ICP) and the sediments organic matter content was determined by the loss on ignition, and sediments were fractionated with three different nylon sieves. Correlation analysis was made for grain size, organic material and metal concentrations, and the Pearson correlation coefficients between their concentrations were determined. As a result, the higher metal concentrations were found in the period of the dry season than in another season. The metal concentrations showed high correlation with that of organic material (COD and TOC). Thereby, the high distribution of metal concentrations in sediment containing high organic compound is suggesting an interaction with organic matter.

요 약: 금강의 퇴적물 중에 입도, 유기물 그리고 금속류 분포를 2011년도 2계절에 걸쳐 조사하였다. 퇴적물 시료는 강어귀에서 채취하여 금속류와 입도 등 일반지표항목을 측정하였다. 금속류(Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, As, Cd, Hg, Al, Li)는 유도플라즈마 분광기로 측정하였고 유기물은 강열감량으로 그리고 입도는 다른 망 크기의 체를 사용하여 결정하였다. 서로간의 상관성 분석이 이루어졌고 피어슨 상관계수를 사용하여 상관성을 나타내었다. 분석결과 건기에 금속류가 보다높은 농도로 검출되었다. 금속류의 농도는 유기물의 함량과 상관성이 높았고 이는 금속류가 유기물에 용해되어 높아질 수 있음을 보여주는 결과이다.

Key words: sediment, geum river, metals, correlation

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)41-850-8811 Fax : +82-(0)41-850-8810

E-mail : hshin@kongju.ac.kr

1. 서 론

하천수 퇴적물은 하천수의 수질과 직접 관련되어 지속적인 오염원이 된다는 점에서 중요성을 갖게 되었고, 최근 들어 하천의 퇴적물에 오염현상에 대한 관심이 높아지면서 전 세계적으로 관련 연구들이 진행되어 왔다.¹⁻³ 이와 같은 관점에서 하천의 퇴적물 중에 금속류 오염물질의 분포 및 퇴적물의 물리화학적 특성과 유기물 함량 등에 대한 연구의 필요성이 강조되어 왔다. 특히 퇴적물에 함유된 오염물질 농도는 퇴적물의 조성 광물뿐만 아니라 입도 분포, 유기물 함량 등에 큰 영향을 받는다. 특히 퇴적물 내의 중금속 농도는 그 퇴적물이 가지는 입도 분포에 따라 큰 영향을 받으며, 퇴적물 입자의 크기 감소는 표면적을 크게 증가시키고 이에 따라 표면 전하를 증가시켜 퇴적물의 오염물질 함량 증가의 원인으로 이해되고 있다.^{4,7} 따라서 퇴적물 중에 오염물질의 분포, 입도분포 및 유기물 함량은 매우 밀접한 상관성을 갖고 있어 국내에서도 퇴적물 내의 중금속 농도, 입도 분포 및 유기물 함량에 대한 조사와 이들 파라미터들 간의 상관성에 대한 수많은 연구가 진행되어 왔다.⁸⁻²¹

하천수 퇴적물 중에 오염물질의 분포를 알기 위해서는 퇴적물의 신뢰성 있는 분석법을 토대로 이루어져야 하나 사용할 수 있는 시험법이 토양오염공정시험법 또는 저질시험법 등 통일되지 않은 분석법을 사용함으로써 자료의 일관성이 떨어질 수 있는 문제가 발생되었다. 그러나 최근 국내에서 수질환경에 관한 퇴적물 분석법이 하천호소 등 퇴적물 운영계획에 의해 만들어졌고 이에 따라 우리나라 각 수계별 하천의 퇴적물에 대한 조사연구가 한 가지 시험법으로 진행할 수 있게 되었다.^{22,23}

본 연구에는 금강 수계의 하천 23 개 지점 퇴적물을 2012년 두 계절별로(상반기와 하반기) 시료 채취하여 10 개 금속류와 유기물, 입도분석을 수행하여 측정 항목간의 상관성 조사를 통해 오염물질의 오염원을 규명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약 및 표준물질

Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, As, Cd, Hg, Al, Li는 1000 mg/L 표준용액(Fluka, Buchs, Switzerland)을 구입하여 사용하였고 염산, 질산, 아세트산 및 메탄올은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하여 사용하

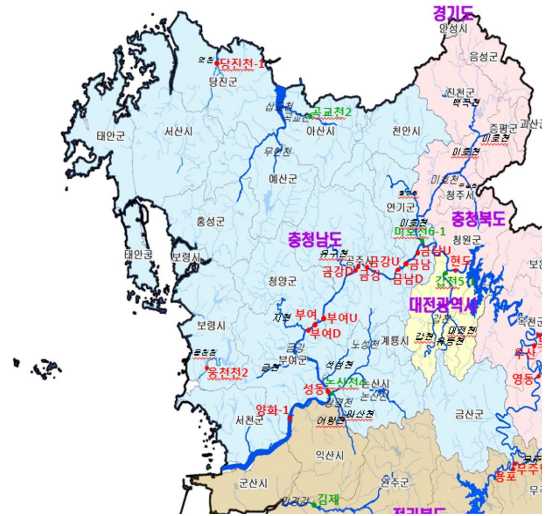


Fig. 1. Sediment sampling sites.

였다. 초 순수는 Milli-Q 장치(Millipore Corp., Milford, MA, USA)를 사용하여 제조하여 사용하였다.

2.2. 시료채취

금강수계의 퇴적물은 2012년도 2회 채취하였으며 되도록 우기 전·후가 되도록 조절하였다. 1 차 시료는 2012년 5월부터 6월까지 시료채취하였고 2 차 시료는 2012년 9월부터 10월까지 시료 채취하였다.

시료채취는 Fig. 1과 같이 용담댐 상류와 대청댐 상류를 포함한 금강수계 상류지역과 금강수계 국가하천인 미호천과 논산천 지역을 포함한 대청댐 하류지역 등 중권역 대표지점을 포함한 23 개 지점에서 시료채취 하였다.

시료채취는 퇴적물측정망 운영계획의 시료채취 매뉴얼에 따라 채취하였다.²³ 채취지점의 하폭에 따라 구간을 결정하고 5 개소 이상에서 시료를 채취하여 골고루 혼합하였다. 8 메쉬(약 2 mm) 체를 이용하여 거른 다음 일정량을 시료용기에 담고, 남은 혼합시료를 100 메쉬(약 0.15 mm) 체로 거른 다음 시료용기에 담은 후 냉장 보관하였다.

2.3. 측정장비 및 측정방법

중금속은 ICP-MS (Perkin Elmer Elan DRC)와 수은 분석장비 Hydra II AF Gold (Teledyne leeman labs)를 이용하여 측정하였으며, 입도분석은 Microtra S3500 Extended wet를 이용하였다. 금속류(Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, As, Cd, Hg, Al, Li) 10 개 항목과 퇴적물 입도 분

석 및 유기물질 함량 분석은 2011년도 퇴적물 측정망 운영계획에 따른 매뉴얼을 사용하였다.²³

가능량)을 측정하였고 분석한 값 간의 상관성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

금강수계 중 시료채취가 가능한 23 개 지점에 대한 퇴적물 중 금속류 분포 및 영양염류에 대한 화학적 인자들(COD, 총유기탄소, 총질소, 총인, 수용성 인) 및 퇴적물에 대한 물리적 인자(입도, 함수율, 완전연소

3.1. 중금속류 측정 결과

남은 상반기에 8.9~22.4 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 15.1 mg/kg이었으며, 하반기에는 8.3~19.4 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 14.5 mg/kg이었다(Fig. 2). 시료채취 시기를 비교하였을 때 상반기와 하반기의 농도가 비슷하였고 특

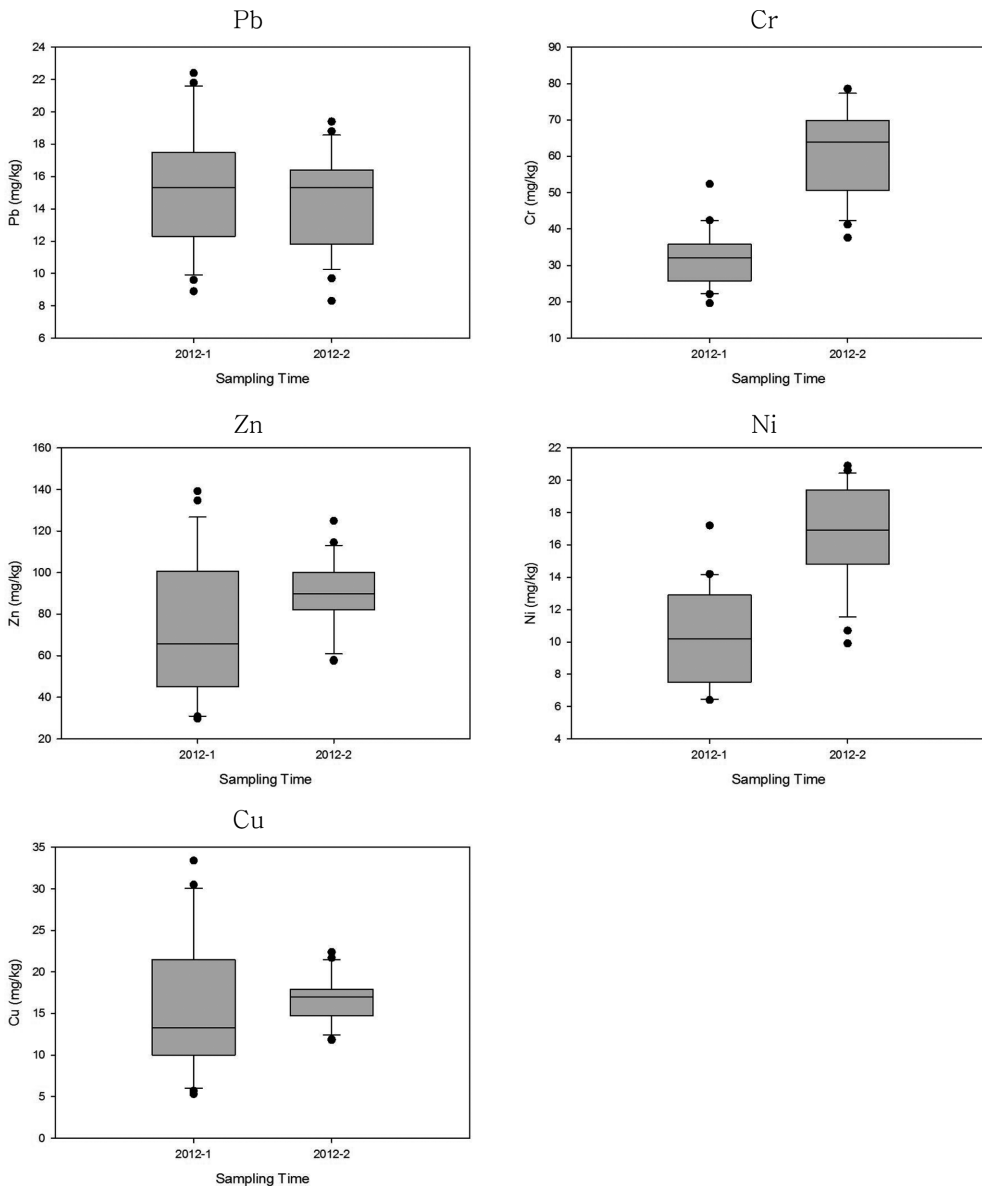


Fig. 2. The concentrations of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cr, Ni) in sediment.

이점으로는 상반기에 금남U 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 당진천1 지점의 농도가 높았다.

아연은 상반기에 29.7~139.2 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 72.4 mg/kg이었으며, 하반기에는 57.5~124.9 mg/kg의 농도범위로 검출되었고 평균농도는 90.3 mg/kg이었다(*Fig. 2*). 시료채취 시기를 비교하였을 때 하반기의 농도가 상반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 금남U 지점의 농도가 높

았으며, 하반기에는 미호천6-1 지점의 농도가 높았다.

구리는 상반기에 5.3~33.4 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 15.6 mg/kg이었고, 하반기에는 11.8~22.4 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 16.7 mg/kg이었다(*Fig. 2*). 시료채취 시기를 비교하였을 때 하반기의 농도가 상반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 금남U 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 곡교천2 지점의 농도가 높았다.

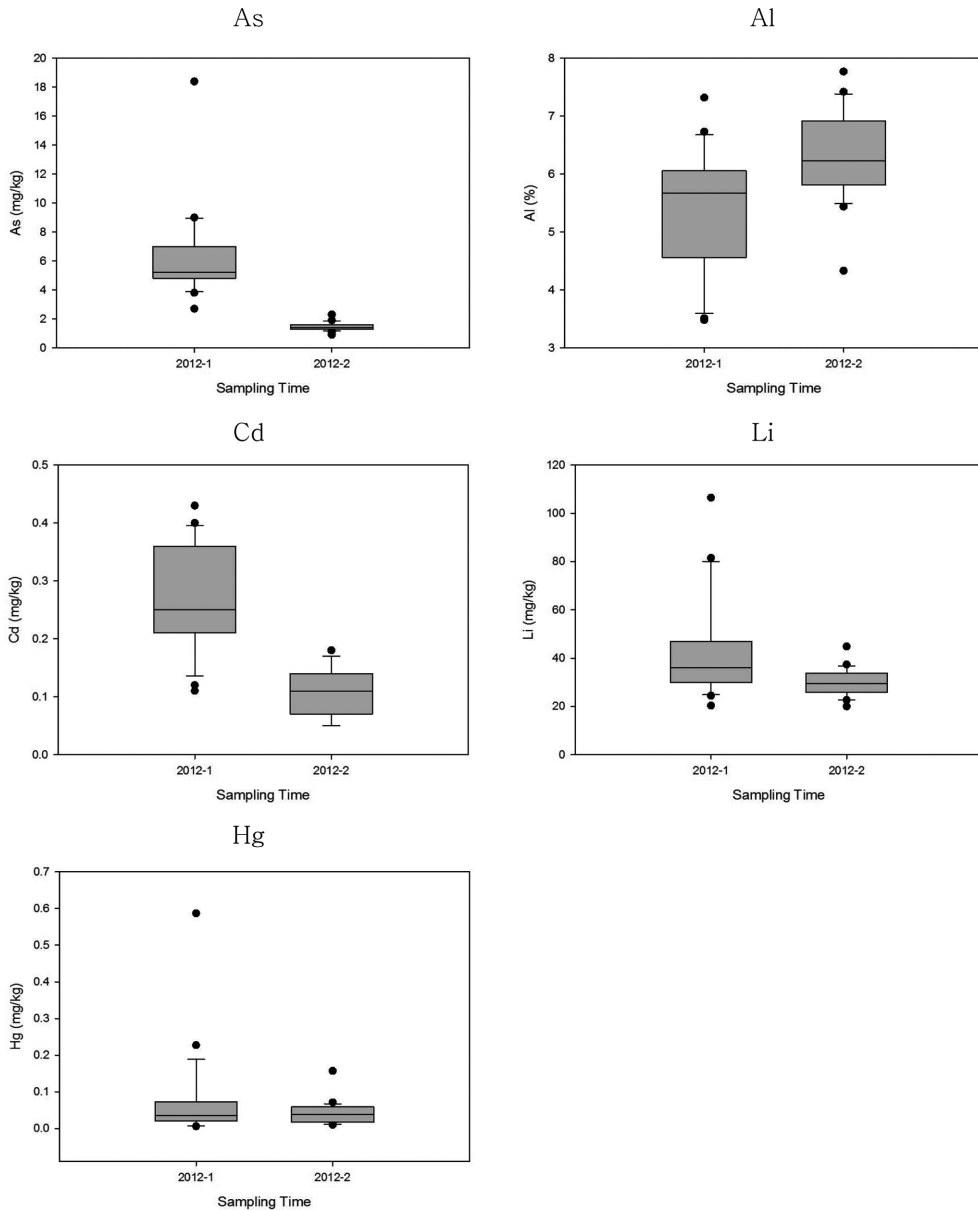


Fig. 3. The concentrations of heavy metals (As, Cd, Hg, Al, Li) in sediment.

크롬은 상반기에 19.6~52.4 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 31.9 mg/kg이었고, 하반기에는 37.6~78.6 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 60.8 mg/kg이었다(Fig. 2). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 하반기의 농도가 상반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 금남U 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 미호천6-1 지점의 농도가 높았다.

니켈은 상반기에 6.4~17.2 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 10.5 mg/kg이었으며, 하반기에는 9.9~20.9 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 16.7 mg/kg이었다(Fig. 2). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 하반기의 농도가 상반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 금남U 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 금강D 지점의 농도가 높았다.

비스는 상반기에 2.7~18.4 mg/kg의 농도범위로 검출되었고 평균농도는 6.1 mg/kg이었으며, 하반기에는 0.9~2.3 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 1.5 mg/kg이었다(Fig. 3). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 갑천5-1 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 당진천1 지점의 농도가 높았다.

카드뮴은 상반기에 0.11~0.43 mg/kg의 농도범위로 검출되었고 평균농도는 0.27 mg/kg이었으며, 하반기에는 0.05~0.18 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 0.11 mg/kg이었다(Fig. 3). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 김제 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 갑천5-1 지점의 농도가 높았다.

수은은 상반기에 0.006~0.587 mg/kg의 농도범위로 검출되었고 평균농도는 0.073 mg/kg이었으며, 하반기에는 0.010~0.157 mg/kg의 농도범위로 검출되었으며 평균농도는 0.042 mg/kg이었다(Fig. 3). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기와 하반기 모두 갑천 5-1지점의 농도가 높았다.

알루미늄은 상반기에 3.48~7.32 mg/kg의 농도범위로 검출되었고 평균농도는 5.5 mg/kg이었으며, 하반기에는 4.33~7.77 mg/kg의 농도범위로 검출되었으며 평균농도는 6.3 mg/kg이었다(Fig. 3). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 시료채취 시기를 비교하였을 때에 하반기의 농도가 상반기에 비해 다소 높게 검출되었다.

Table 1. Korean standards of sediments

Compound		Standard
Organics	Combustibility	
	TP	13%
	TN	1,600 mg/kg
Heavy metals		5,600 mg/kg
	As	93 mg/kg
	Cd	6.7 mg/kg
	Cr	270 mg/kg
	Cu	390 mg/kg
	Pb	530 mg/kg
	Zn	960 mg/kg
Hg	2 mg/kg	

상반기에는 미호천6-1 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 금남 지점의 농도가 높았다.

리튬은 상반기에 20.3~106.5 mg/kg의 농도 범위로 검출되었고 평균농도는 42.4 mg/kg이었으며, 하반기에는 20.0~44.8 mg/kg의 농도 범위로 검출되었으며 평균농도는 30.1 mg/kg이었다(Fig. 3). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 동진강3 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 곡교천2 지점의 농도가 높았다.

모든 항목들이 하천호소 퇴적물 오염평가기준 미만이었다(Table 1).

3.2. 유기물 및 영양염류 측정결과

COD는 상반기에 0.15~0.32%의 농도범위로 측정되었고 평균농도는 0.2%이었으며, 하반기에는 0.02~0.28%의 농도범위로 측정되었으며 평균농도는 0.1%이었다(Fig. 4). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기에는 논산천4 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 갑천5-1 지점의 농도가 높았다.

TOC는 상반기에 0.21~0.9%의 농도범위로 측정되었고 평균농도는 0.5%이었으며, 하반기에는 0.06~0.56%의 농도범위로 평균농도는 0.2%이었다(Fig. 4). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높게 검출되었다. 상반기와 하반기 모두 갑천5-1 지점이 높게 나타났다.

총질소는 상반기에 220~1070 mg/kg의 농도범위로 측정되었고 평균농도는 650 mg/kg이었으며, 하반기에는 500~1,000 mg/kg의 농도범위로 측정되었으며 평균농도는 630.4 mg/kg이었다(Fig. 4). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 높

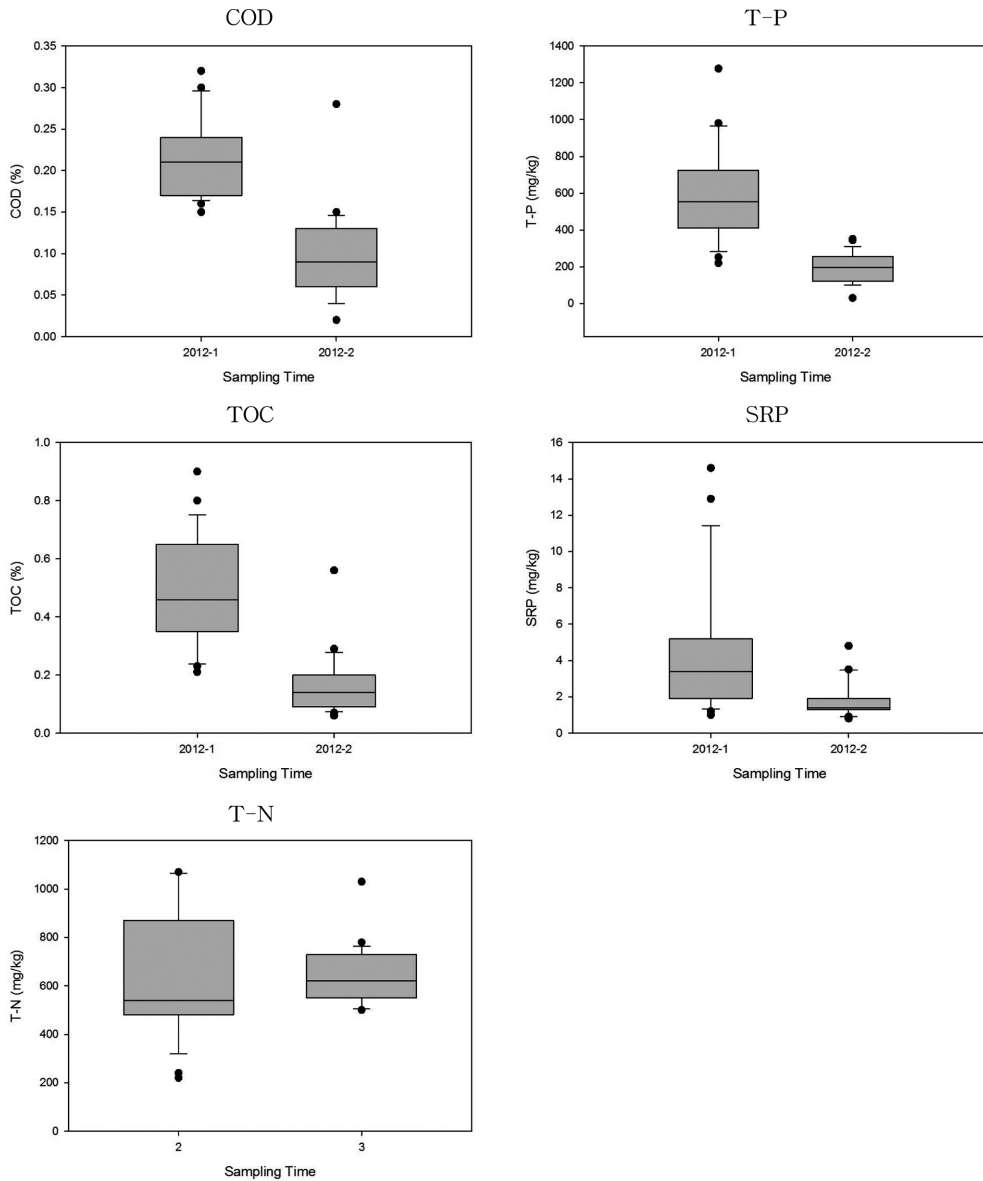


Fig. 4. Chemical factor concentrations (COD, TOC, T-N, T-P, SRP).

계 검출되었다. 갑천5-1 지점의 농도가 상반기와 하반기 모두 높게 나타났다.

총인은 상반기에 220~1277 mg/kg의 농도범위로 측정되었고 평균농도는 598.6 mg/kg이었으며, 하반기에는 30~351 mg/kg의 농도범위로 측정되었으며 평균농도는 191.6 mg/kg이었다(Fig. 4). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 꽤 높게 검출되었다. 상반기에는 당진천1 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 갑천5-1 지점의 농도가 높았다.

총연소량은 상반기에 1.0~14.6 mg/kg의 농도범위로 측정되었고 평균농도는 4.4 mg/kg이었으며, 하반기에는 0.8~4.8 mg/kg의 농도범위로 측정되었으며 평균농도는 1.8 mg/kg이었다(Fig. 4). 시료채취 시기를 비교하였을 때에 상반기의 농도가 하반기에 비해 꽤 높게 검출되었다. 상반기에는 김제 지점의 농도가 높았으며, 하반기에는 웅천천2 지점의 농도가 높았다.

화학적 인자들은 상반기가 하반기에 비해서 높은 농도를 나타냈고 장마시기의 강우량으로 인한 유량

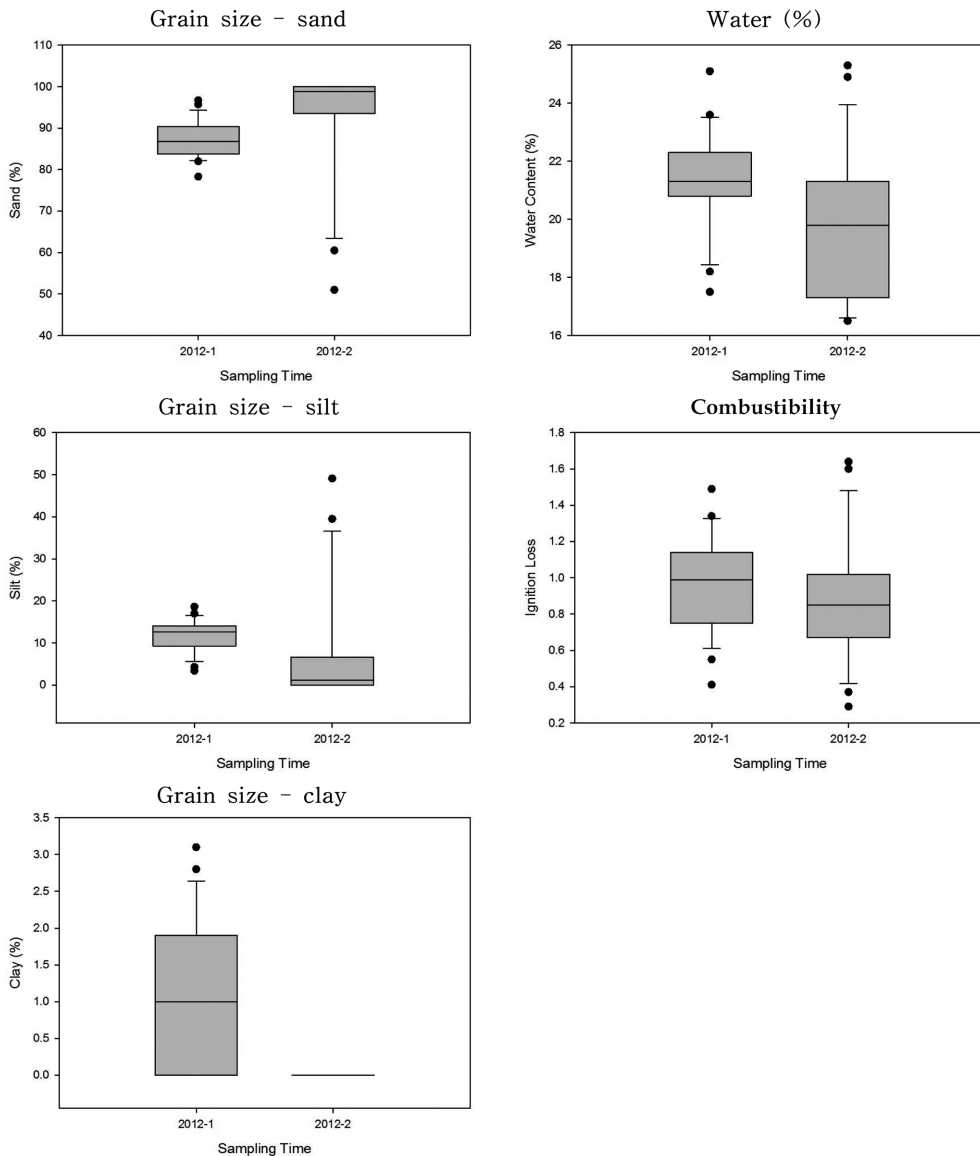


Fig. 5. Physical factors (sand, silt, clay, water content, ignition loss) in sediment.

증가가 원인인 것으로 판단된다.

3.3. 물리적 인자 측정값

상반기에 시료 채취한 퇴적물의 입도분포를 조사한 결과 모래가 87%, 실트가 12% 그리고 점토가 1%의 분포를 보였고, 하반기에서는 모래가 92%, 실트 8% 그리고 점토는 없었다(Fig. 5). 상반기와 하반기의 입도분포의 변화는 모래부분이 증가하고 실트와 점토 부분이 감소하였는데 특히 하반기에 점토가 없는 것

은 Fig. 6에서와 같이 8월에 강우가 집중되어 장마기간 중에 이동되어 소실된 것으로 판단된다. 그러나 하류지역에 위치한 성동, 논산천4, 동진강3 지점은 상반기에 비하여 하반기에 모래가 감소하였고 실트가 2 배 이상 증가하여 장마로 인해 이동하여 축적된 것으로 판단된다.

함수율과 완전연소가능량은 각각 상반기 평균이 21.3%, 1.0%, 하반기 평균이 19.8%, 0.9%로 차이를 나타내지 않았다(Fig. 5).

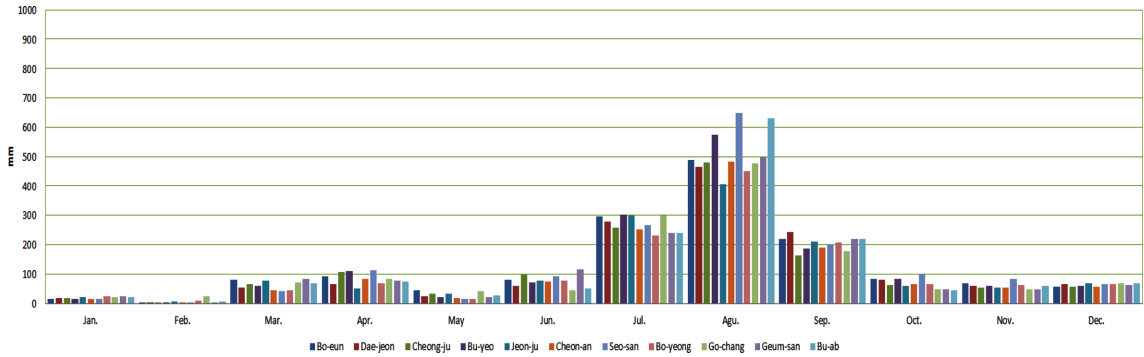


Fig. 6. Monthly Rainfall in Geum River (2012).

3.4. 항목별 상관성 비교

3.4.1. 금속류

금강수계 퇴적물 중 금속류 등의 상관성을 조사하여 Table 2와 3에 제시하였다. 납은 상반기에는 12 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 9 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 아연, 크롬, 니켈, 카드뮴, 수은, 알루미늄과 높은 상관성을 보였다.

아연은 상반기에 14 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 9 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 크롬, 니켈, 카드뮴, 알루미늄 항목과 유의성 있는 상관성을 보였다.

구리는 상반기 14 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 3 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 카드뮴, 수은 항목과 유의성 있는 상관성을 보였다. 상반기에는 8 개 금속류와 상관성을 보였지만 하반기에서는 3 개 항목과 음의 상관성을 보였다.

크롬은 상반기 12 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기 9 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 아연, 니켈, 알루미늄, 카드뮴과 유의성 있는 상관성을 보였다.

니켈은 상반기 12 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기 9 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 아연, 크롬, 알루미늄, 리튬과 유의성 있는 상관성을 보였다.

Table 2. Correlation coefficient between the measured parameters in sediment sampled during first period

2012-1 n=23	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Water content (%)	Ignition loss (%)	COD(t%)	TOC(%)	T-N(ng/kg)	T-P(ng/kg)	SRP(ng/kg)	Pb(ng/kg)	Zn(ng/kg)	Cu(ng/kg)	Cr(ng/kg)	Ni(ng/kg)	As(ng/kg)	Cd(ng/kg)	Hg(ng/kg)	Al(%)	Li(ng/kg)	
Sand	1.0000																				
Silt	0.9861	1.0000																			
Clay	0.7908	0.6661	1.0000																		
Water content	0.0435	0.0200	0.1220	1.0000																	
Ignition loss	0.3983	0.4601	0.0496	0.4976	1.0000																
COD	0.2206	0.2874	0.0952	0.5671	0.6589	1.0000															
TOC	0.5527	0.5379	0.4532	0.5420	0.6882	0.6665	1.0000														
T-N	0.6571	0.6510	0.4973	0.4863	0.7285	0.6757	0.9362	1.0000													
T-P	0.0591	0.0397	0.1111	0.2348	0.0752	0.3198	0.2790	0.2436	1.0000												
SRP	0.0791	0.1317	0.1542	0.2669	0.0380	0.1971	0.3066	0.2680	0.3103	1.0000											
Pb	0.2633	0.2040	0.4129	0.4630	0.3414	0.0140	0.5004	0.5077	0.0084	0.1295	1.0000										
Zn	0.4040	0.3266	0.5880	0.4033	0.1240	0.0624	0.4841	0.4776	0.0589	0.3521	0.7843	1.0000									
Cu	0.4524	0.3844	0.5963	0.3305	0.1275	0.0092	0.5190	0.5014	0.1961	0.5062	0.6427	0.8623	1.0000								
Cr	0.6790	0.6111	0.7594	0.1156	0.1404	0.0124	0.4800	0.5309	0.3161	0.1608	0.5677	0.7068	0.8024	1.0000							
Ni	0.9888	0.5073	0.7410	0.1983	0.1158	0.0065	0.5068	0.5284	0.2817	0.1975	0.5959	0.7429	0.8363	0.9670	1.0000						
As	0.0225	0.0195	0.0330	0.4459	0.3475	0.2573	0.4797	0.4519	0.1308	0.3795	0.6498	0.4400	0.3036	0.1059	0.0904	1.0000					
Cd	0.3538	0.2747	0.5684	0.3844	0.2631	0.0117	0.4863	0.5345	0.1148	0.3567	0.8260	0.8727	0.7868	0.6570	0.6957	0.4602	1.0000				
Hg	0.0448	0.0477	0.0215	0.5637	0.2642	0.3659	0.5848	0.4614	0.3666	0.5165	0.5590	0.4968	0.4596	0.2076	0.2233	0.8436	0.3825	1.0000			
Al	0.6189	0.5413	0.7468	0.0495	0.2339	0.0237	0.4896	0.5684	0.2796	0.1746	0.6216	0.6582	0.6679	0.8938	0.8644	0.1835	0.6523	0.1910	1.0000		
Li	0.9312	0.4238	0.7027	0.1209	0.2408	0.1034	0.5164	0.5837	0.0107	0.3303	0.2982	0.5651	0.5503	0.5864	0.6372	0.0087	0.5653	0.0561	0.5955	1.0000	

Spearman Correlation coefficient table, n=23		0.549 < x
α = .05	0.351	0.496 < x < 0.549
α = .025	0.418	0.418 < x < 0.496
α = .01	0.496	0.351 < x < 0.418
α = .005	0.549	

Table 3. Correlation coefficient between the measured parameters in sediment sampled during second period

2012-1 n=23	Sand (%)	Silt (%)	Water content (%)	Ignition loss (%)	COD(%)	TOC(%)	T-N(ng/kg)	T-P(ng/kg)	SRP(ng/kg)	Pb(ng/kg)	Zn(ng/kg)	Cu(ng/kg)	Cr(ng/kg)	Ni(ng/kg)	As(ng/kg)	Cd(ng/kg)	Hg(ng/kg)	Al(%)	Li(ng/kg)	
Sand	1.0000																			
Silt	1.0000	1.0000																		
Water content	0.1046	0.1048	1.0000																	
Ignition loss	0.3474	0.3474	0.5976	1.0000																
COD	0.0053	0.0052	0.3678	0.5710	1.0000															
TOC	0.2139	0.2140	0.3967	0.7100	0.7676	1.0000														
T-N	0.1821	0.1823	0.4971	0.5634	0.6258	0.8930	1.0000													
T-P	0.3466	0.3468	0.3464	0.5663	0.4045	0.7138	0.6923	1.0000												
SRP	0.3140	0.5145	0.4170	0.4187	0.2699	0.5909	0.6471	0.7181	1.0000											
Pb	0.4644	0.4643	0.1028	0.2130	0.3195	0.1659	0.0478	0.2143	0.3286	1.0000										
Zn	0.3672	0.3669	0.5048	0.2969	0.1134	0.0478	0.0281	0.0171	0.1509	0.3210	1.0000									
Cu	0.2169	0.2172	0.2043	0.0638	0.1854	0.0923	0.0529	0.3465	0.3753	0.4845	0.2071	1.0000								
Cr	0.3504	0.3501	0.0211	0.0013	0.0722	0.2217	0.3370	0.1677	0.1684	0.2769	0.5378	0.3191	1.0000							
Ni	0.2923	0.2920	0.1933	0.1197	0.0007	0.0923	0.1889	0.1097	0.0099	0.1247	0.6069	0.5520	0.8751	1.0000						
As	0.2803	0.2802	0.3667	0.1144	0.0568	0.0042	0.0777	0.1728	0.1515	0.5800	0.3304	0.0450	0.0728	0.0430	1.0000					
Cd	0.4013	0.4033	0.3309	0.3170	0.1455	0.1622	0.1574	0.1888	0.3008	0.8259	0.5622	0.3887	0.1902	0.0722	0.6576	1.0000				
Hg	0.2385	0.2387	0.2523	0.2782	0.4894	0.4519	0.4465	0.0988	0.0871	0.4324	0.1516	0.4142	0.0534	0.0845	0.0178	0.3758	1.0000			
Al	0.2641	0.2633	0.1961	0.3223	0.2055	0.0845	0.0219	0.1789	0.0173	0.2708	0.4576	0.2046	0.5461	0.6628	0.0552	0.1044	0.2669	1.0000		
Li	0.1503	0.1502	0.3023	0.0574	0.0531	0.1181	0.2149	0.1151	0.2833	0.0866	0.1377	0.1373	0.0089	0.2498	0.0145	0.0235	0.2936	0.2695	1.0000	

Spearman Correlation coefficient table, n=23		0.549 < x
α = .05	0.351	0.496 < x < 0.549
α = .025	0.418	0.418 < x < 0.496
α = .01	0.496	0.351 < x < 0.418
α = .005	0.549	

비소는 상반기 8 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 4 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 카드뮴과 유의성 있는 상관성을 보였으며, 금속류 중 가장 적은 상관성을 나타내었다.

카드뮴은 상반기에는 15 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 10 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 아연, 구리, 크롬, 수은과 유의성 있는 상관성을 보였으며, 금속류 중 가장 많은 항목과 상관성을 나타내었다.

수은은 상반기에는 11 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 10 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 아연, 카드뮴과 유의성 있는 상관성을 보였으며, COD, TOC, 총질소, 합수율, 완전 연소 가능량과 상관성이 있었다.

알루미늄은 상반기에는 12 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 6 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 납, 아연, 크롬, 니켈과 유의성 있는 상관성을 보였다.

리튬은 상반기에는 11 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 4 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 니켈은 상하반기에 높은 상관성을 보였다.

상관관계는 다른 항목과의 관계를 나타내는 인자로 판단되어 조사하였는데 대부분의 중금속에서 다른 항목과 많은 상관을 보였으며, 하반기보다는 상반기에서 상관 항목이 많이 나타났다.

3.4.2. 유기물 및 영양염류

금강수계 퇴적물 중 유기물 및 영양염류와 다른 항목간의 상관성을 조사하여 었다.

COD는 상반기에는 6 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 5 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 수은, TOC, 총질소, 합수율 및 완전 연소 가능량과 높은 상관성을 보였다.

TOC 항목은 상반기 17 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에는 7 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 수은, COD, 총질소, 합수율 및 완전 연소 가능량과 높은 상관성을 보였다. 상반기에서는 모든 금속류와 상관성을 보였지만, 하반기에서는 수은만이 상관성을 나타냈다.

총질소는 상반기 17 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기 8 개 항목과 상관성이 있었다. 특히 COD, TOC, 합수율 및 완전 연소 가능량과 높은 상관성을 보였다. 상반기에서는 모든 중금속과 상관성이 있었으나, 하반기에는 수은과 크롬만이 상관성을 보였다.

총인은 상반기에는 수은 1 개 항목과 상관성이 있었으며, 하반기에서는 8 개 항목과 상관성이 있었다. 그러나 상하반기 공통된 항목과의 상관관계가 나타나지 않았다.

SRP 항목은 상반기 5 개 중금속 항목과 상관성을 보였고, 하반기에는 금속류 리튬과 높은 상관성을 보

었고 TOC, 총질소, 총인, 합수율, 완전 연소 가능량과 상관성이 있었다.

유기물 및 영양염류 상관관계에 있어서는 TOC, TN 항목이 대부분의 다른 항목과 많은 상관관계를 보였으며, TP는 거의 다른 항목과 상관성이 없었고, 중금속 항목과 마찬가지로 하반기보다는 상반기에서 상관 항목이 많이 나타났다.

3.4.3. 입도

입도모래 항목은 상반기에서는 중금속 7개 항목과 유기물 및 영양염류 2개 항목, 실트, 점토, 완전연소 가능량 모든 항목에서 음의 상관성을 나타내었고, 실트, 점토, TOC, T-N, Cr, Ni, Al과는 0.5%의 높은 유의성을 나타냈다. 하반기에는 10개 항목에서 상관성이 있는 것으로 나타났고, 실트, 점토 항목은 상반기와 같이 음의 상관성을 나타내었다. 상하반기 걸쳐 중금속 5개 항목이 공통된 상관성을 보였지만 하반기에는 양의 상관성을 나타내었다.

입도 실트는 상반기에는 10개 항목에서 상관성을 나타냈으며 그 중 상반기에서는 중금속 4개 항목(Cr, Ni, Al, Cu)이 양의 상관성을 나타내었지만 하반기에서는 6개 중금속(Pb, Zn, Cr, Ni, Cd, Al)이 음의 상관성을 나타냈다.

입도 점토항목은 상반기 12개 항목에서 상관성을 나타냈으며 그 중 상반기 중금속 8개 항목(Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Al, Li, Pb)에서 높은 상관성을 나타내었지만 강수량이 많아 점토가 씻겨 내려간 하반기에는 모든 중금속들과 상관성이 높지 않았다.

합수율 항목은 상하반기 8개 항목에서 상관성을 보였으며, COD, TOC, T-N 항목에서 유의성 있는 상관성을 보였다.

완전연소가능량 항목도 합수율 항목에서와 같이 COD, TOC, T-N 항목에서 유의성 있는 상관성을 보였다.

4. 결 론

본 연구는 금강수계의 하천에서 시료채취가 가능한 23개 지점의 퇴적물을 2012년 상·하반기 2회 시료채취하여 금속류 및 영양염류 및 입도 등 18개 항목을 분석하였다.

대부분 항목에서 상반기 퇴적물이 하반기 퇴적물보다 농도가 높았으며, 상하반기에는 모든 금속류에서 서로 간에 상관성이 높은 것으로 나타났다. 입도 분석 결과 점토와 같이 입자의 크기가 작을수록 Pb, Zn,

Cu, Cr, Ni, Cd, Al, Li의 농도가 높은 것으로 나타났으며 이는 입도가 작아지면서 비표면적이 증가하여 흡착력이 증가하기 때문으로 판단된다.⁴ 한편 총 유기탄소 양과 총 질소양이 높을수록 8개 모든 중금속의 농도가 높아지는 현상이 나타났으며 이는 유기물의 농도가 높아지면서 중금속의 용해도가 증가하게 되어 높은 상관성을 보이는 것으로 판단이 된다. 이와 같은 현상들은 우기 후보다 우기 전에 뚜렷하였으며 이는 상류에 있던 점토와 유기물이 우기를 통해 하류로 이동되고 평형이 깨지게 되어 발생된 것으로 판단이 된다.

위의 결과로부터 퇴적물에 존재하는 오염물질을 분석할 때에는 계절적인 영향이 크고 특히 우기 전 후의 차이가 크므로 이를 고려한 시료채취 시기를 결정해야 할 것으로 판단이 된다.

참고문헌

1. M. M. Clara *J. Environ. Sci. Health.*, **44**(9), 861-865 (2009).
2. T. Vitchayut, P. Preeda and W. Piyajit, *J. Environ. Sci. Health*, **42**(8), 1029-1041 (2007).
3. N. Greece, K. Fytianos and A. Lourantou, *Environ. Int.*, **30**(1), 11-17 (2004).
4. K. Shin and S. Jun, *J. Environ. Health Sci.*, **38**(5), 424-430 (2012).
5. U. Frstner, W. Calmano, J. Schoer, *Thalassia Jugosi.* **12**, 30-8 (1982).
6. H. Sakai, Y. Kojima and K. Saito, *Wat. Res.*, **20**, 559-67 (1986).
7. J. Bubbb, M. T. Rudd and J. N. Lester, *Sci. Total Environ.*, **102**, 189-208 (1990).
8. J. E. Park, S. C. Lee, J. K. Hong and J. G. Kim, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, **34**(5), 335-344 (2012).
9. T. W. Ahn, J. H. Jung, T. H. Kim, S. W. Kim, I. S. Choi and J. M. Oh, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, **34**(7), 495-503 (2012).
10. J. K. Lee, S. K. Kim, J. H. Song and T. Y. Lee, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, **31**(11), 975-982 (2009).
11. K. H. Oh, M. N. Yu and Y. C. Cho, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, **33**(12), 975-982 (2011).
12. J. K. Kim, S. J. You and W. S. Ahn, *J. Mar. Environ. Safety*, **14**(4), 247-256 (2008).
13. D. Y. Oh, K. K. Choi, I. A. Huh, I. S. Hwang, Y. H. Kim, J. Hur, H. S. Shin, J. E. Oh, W. S. Shin and J. H.

- Park, *Kor. Soc. Environ. Anal.*, **33**(1), 32-38 (2011).
14. H. S. Oh, W. S. Shin, J. H. Kim, I. S. Hwang, J. Hur, H. S. Shin, J. G. Oh, I. A. Hur and Y. H. Kim, *Kor. Geo-Environ. Soc.*, **11**(5), 15-23 (2010).
 15. T. S. Kim, S. K. Shin, J. K. Oh and J. E. Park, *Anal. Sci. & Technol.*, **25**(4), 242-249 (2012).
 16. S. K. Park, S. S. Kim and O. S. Go, *Anal. Sci. & Technol.*, **14**(2), 140-146 (2001).
 17. S. K. Park and Y. M. Yang, *Anal. Sci. & Technol.*, **14**(3), 238-243 (2001).
 18. S. K. Park, K. B. Song and K. H. Jo, *Anal. Sci. & Technol.*, **14**(2), 173-179 (2001).
 19. J. K. Lee, S. K. Kim, J. H. Song and T. Y. Lee, *Kor. Geo-Environ. Soc.*, **11**(1), 35-43 (2010).
 20. J. K. Lee, T. Y. Ahn and J. M. Oho, *Kor. Soc. Environ. Eng.*, **32**(9), 840-850 (2010).
 21. D. C. Jo, Y. M. Lee, B. K. Park and S. H. Keoun, *Kor. Environ. Sci. Soc.*, **20**(7), 845-855 (2011).
 22. Korean ministry of environment, Sediment Monitoring Plan (2011).
 23. Korean ministry of environment Water Monitoring Plan (2012).