

금호강 하상 퇴적물의 광물성분 및 중금속 분포

Mineralogical Composition and Heavy Metal Concentrations in the Sediments of the Kumho River

김 병 기(Byoung Ki Kim) · 김 영 규(Yeongkyoo Kim)* · 남 은 경(Eun-Kyoung Nam) · 정 도 환(Do-Hwan Jung) · 이 지 은(Ji Eun Lee)

경북대학교 지질학과

(Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

요약: 본 연구는 낙동강의 주요 지류인 금호강에 대하여 하상퇴적물의 광물학적 성분을 밝히고 이와 더불어 퇴적물에 포함된 중금속의 농도를 파악하여 이에 미치는 영향 등을 알아보고자 수행되었다. 금호강의 경우 유하거리가 짧지만 유하하는 동안 암상 및 산업지대의 변화가 뚜렷하여 퇴적물내 중금속의 농도에 영향을 미치는 지질학적 및 산업활동에 의한 요인들을 알아보기에는 좋은 연구대상이다. 하천퇴적물을 이루고 있는 광물로는 석영, 알바이트 사장석 등이 주요 조암광물을 이루고 있었으며 이외 정장석, 미사장석, 각석섬 등이 소량으로 동정되었다. 점토광물로는 일라이트, 녹니석, 카올리나이트 등이 같이 산출되었다. 상류에서 하류로 가면서 화산암에서 퇴적암으로 암상이 변하지만 전체적인 광물의 종이나 양에 있어서는 뚜렷한 변화를 보이지 않고 있어 모암의 영향은 거의 없는 것으로 보인다. 중금속의 경우 함유량에 있어서 $Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Cd$ 의 순서로 나타났다. 상류에서 하류로 가면서 시료채취지점별로 농도의 증감을 보이며 Pb를 제외하고는 전체적으로 증가하는 것으로 나타났다. 부분적인 농도의 증가는 오염원으로부터 유출된 중금속을 포함하는 지천의 영향을 주로 받는 것으로 나타났으며 광물의 성분의 변화가 없음에도 이러한 변화를 보이는 것은 대체로 광물의 영향보다는 오염원의 영향이 더 큰 것으로 보인다. Pb와 Ni의 경우를 제외하고는 과거의 오염원에 의하여 현재까지 퇴적물에 부화되어 있는 것으로 판단된다.

주요어: 금호강, 퇴적물, 중금속, 하천수, 점토광물

ABSTRACT: This study has been carried out to reveal the mineralogical compositions, the concentrations of heavy metals, and related factors in the sediments of the Kumho River which is the main tributary of the Nakdong River. Even though this river flows in a short distance, it runs through different geology and industrial areas and can be a good candidate to study different geological and anthropogenic factors affecting the concentrations of heavy metals in the sediment. The major rock-forming minerals were quartz and albite. Minor amount of orthoclase, microcline, and amphybole were also identified. Clay minerals including illite, chlorite, kaolinite were associated with those minerals. In the downstream, no noticeable changes in species and amount of minerals were observed, indicating there is almost no influence on the mineralogical compositions from rock types. The concentrations of heavy metals in the sediments are in the order of $Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Cd$. Following the downstream, the concentrations of heavy metals generally increase, except Pb. The regional

*교신저자: ygkim@knu.ac.kr

increase of the heavy metal content is well correlated with the location of the tributary. Without changes in mineral compositions, the main factors controlling the heavy metal contents are the locations of pollutant sources. Except Pb and Ni, most of the concentrations of heavy metals were thought to be enriched by the past pollutant sources.

Key words : Kumho River, heavy metal, sediment, river water, clay mineral

서 론

풍화와 같은 자연적인 원소의 이동과 더불어 인위적인 오염원들로부터 유래되는 원소들은 지표환경에 유출된 후 여러 과정을 통하여 재분배되고 고정된다. 이러한 원소의 이동에 여러 가지 요인들이 영향을 주게 되는데 중요한 역할을 하는 것이 지질매체와의 반응이다. 지질매체 중 특히 점토광물이나 산화철과 같은 2차 광물은 일반적으로 높은 양이온 교환능력을 보이며 따라서 토양이나 하천 등의 퇴적물에서 이러한 물질들을 고정시키는 중요한 물질중의 하나이다. 점토 및 산화철 광물의 경우 모암의 풍화에 의하여 형성되기 때문에 특히 퇴적물이나 토양을 이루는 광물은 모암의 성분에도 많은 영향을 받고 있어 풍화과정의 이해가 원소의 분배를 이해하는데 있어서도 중요하다고 할 수 있다(Norra *et al.*, 2006).

이러한 특정 원소와 퇴적물 내의 특정 광물과의 연관성은 방사성 원소인 ¹³⁷Cs와 일라이트에서 아주 잘 나타난다(김영규 외, 2005; Francis and Brinkley, 1976; Kim *et al.*, 1996). 일라이트의 경우는 닳아진 모서리(frayed edge) 자리라는 깨진 자리에 Cs이 선택적으로 흡착하여 이러한 경향을 보인다(Sawhney, 1972; Francis and Brinkley, 1976; Evans *et al.*, 1983; Cremers *et al.*, 1988). 중금속의 경우 이러한 영향에 대하여는 체계적으로 연구된 바가 없다.

하천의 퇴적물은 하천에 유입된 중금속을 흡착 등의 반응으로 저장할 수 있는 중요한 저장고이며 경우에 따라서는 앞으로의 잠재적인 오염원이 되기도 한다. 국내 하천의 퇴적물에 대하여도 중금속 오염에 관한 연구가 수행되었다. 한강 지천 중의 하나인 탄천의 지표수와 하상 퇴적물을 연구(이성은 외, 2002) 및 안양천 바닥 퇴적물(문지원 외, 2000)은 퇴적물에 함유된 중금속의 농도를 인근의 오염시설 등과 연관시켜서 설명하였다. 그러나 이러한 하천퇴적물의

중금속 연구들은 단지 중금속의 과다여부에 대한 연구이고 실제 퇴적물의 중금속 함량에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 인자들에 대한 연구는 부족했다(Hochella *et al.*, 2005; Marengo *et al.*, 2006; Norra *et al.*, 2006). 실제 광물의 성분 및 지구화학적 특징과 토양 및 하천에서의 중금속 등과 같은 오염물질과의 연관성에 대한 연구는 별로 수행되어 오지 못했다.

본 연구지역인 금호강의 경우 공업단지에서 배출되는 산업폐수와 생활하수, 그리고 많은 농작물들이 경작되고 있어 이로 인해 화학비료와 농약의 과용으로 인한 하천 및 수역이 심하게 오염되어 있다. 금호강의 퇴적물에 대하여는 일부 퇴적물의 중금속 농도에 대한 기존의 연구가 있으나 중금속 농도에 영향을 주는 여러 인자들의 연구는 미진하였다(양경린 외, 1975; 이수남 1985; Lee, 1986; Ra, 1986; Kim, 1988; No, 1988). 따라서 본 연구는 낙동강의 가장 큰 지류인 금호강에 대하여 하상퇴적물을 이루고 있는 광물성분 및 퇴적물의 성격을 규명하고 이와 더불어 하천 퇴적물의 중금속 함량에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 연관지어 중금속 흡착양상을 규명하고자 한다. 본 연구는 장기적인 퇴적물 내의 오염물 집적의 체계적인 예측을 위한 기본 자료로서 제공될 수 있을 것이다.

위치 및 지질

금호강은 동경 128°28' ~ 129°23', 북위 35°42' ~ 36°17' 사이에 위치하고 있으며, 경북 포항시 죽장면 가사리에서 발원하여 남서류 하다 영천댐에 유입되고 다시 남서류 하여 대구 광역시를 지나고 달성군 다사읍에서 낙동강에 합류된다. 총연장은 약 114.6 km이며, 대구시를 비롯하여 포항시, 경주시, 영천시 및 칠곡군이 위치하고 있는 유역 면적은 2087.9 km²에 이른다. 대구를 중심으로 금호강 유역의 연간 강수량은 1020.6 mm로 전국 평균인 1267 mm보다

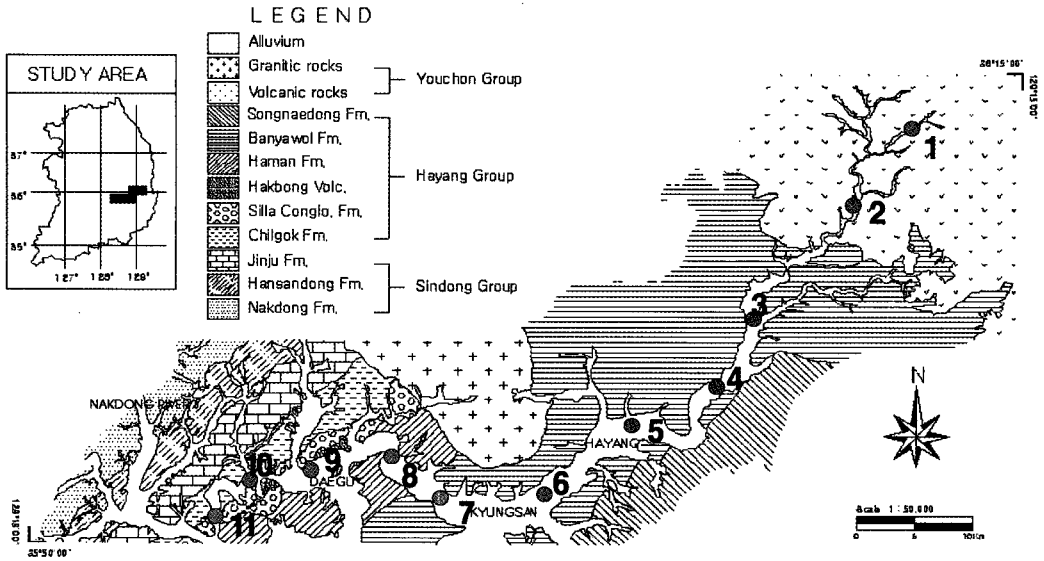


Fig. 1. Geologic map and sampling sites in the Kumho River.

약 246.4 mm가 적은 편이며, 이중 65%인 670 mm가 하절기인 6~9월 사이에 집중되어 풍수기와 갈수기의 유량 차이가 심한 편이다.

본 조사지역인 금호강은 경상누층군을 경유하는 하천이다. 발원지인 포항시 죽장면 일대는 유천층군 화산암층이 분포하며 자양호까지 유천층군으로 구성되어 있다. 자양호부터 낙동강 합류지점까지 하양층군으로 구성되어 있으며 이를 두 부분으로 분류하면 반야월층과 하양층군 하부층으로 분류할 수 있다(고인석 외, 1994). 즉 금호강의 상류는 화산암 그리고 하류는 퇴적암이 우세한 지역을 경유하여 유하한다. 하부층으로는 함안층, 학봉반암층, 신라역암층 등이다. 본 연구지역의 지질도는 그림 1에 나타나 있다.

하양층군의 제일 하부층인 칠곡층은 두께가 600 m 내외이며, 역암, 역질 사암, 사암(수두께)과 자색의 이암과 실트암이 교호한다. 유천층군은 주로 안산암, 유문암, 응회암 및 용결응회암으로 구성되며, 응회질의 사암과 역암, 그리고 흑색 셰일의 퇴적층 렌즈들이 협재되기도 한다.

연구방법

시료채취 및 분류

본 조사지역의 수계는 포항시 죽장면에서 발원하여 달성군 강창에서 낙동강과 합류하는 하천으로 2003년 5월에 시료 채취를 실시하였다. 약 10 km 간격으로 11개 지점을 선정하여 시료를 채취하였으며 각 지점은 다리를 포함하고 있어 접근이 용이한 지점을 선정하였다(그림 1). 시료는 하천이 흐르고 있는 곳에서 체를 이용하여 1 mm 이하 크기로 걸러서 채취하였고 채취시 퇴적물과 하천수가 섞여있는 상태로 비닐 주머니에 넣어 보관하였다. 퇴적물 채취 장소에서 하천수 시료도 함께 채수하였다. 하천수 시료는 수동 펌프를 이용하여 0.45 μm 필터로 여과하여 부유 물질을 제거시킨 후, 양이온과 음이온 분석용으로 구분하여 100 mL 폴리에틸렌 통에 담아 아이스박스를 이용하여 실험실까지 운반하고, 분석 전까지 냉장고에 보관하였다. 양이온 분석용 시료는 농질산(HNO₃)을 떨어뜨려 pH가 2 이하가 되도록 조정하여 양이온이 용기 벽면에 흡착 및 침전하는 것을 방지하였다.

XRD 분석과 중금속 분석을 위해서 실내 실험실에서 실트 이하 입자크기(64 μm 이하)를

Table 1. Mineral compositions of river sediments in the Kumho River (wt.%).

Minerals	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Quartz	47.3	45.4	48.4	58.8	51.7	41.2	52.1	51.4	39.7	40.3	49.8
Microcline	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
Albite	33.5	34.2	21.6	22.7	26.3	33.7	26	31.9	33.3	34.7	23.4
Kaolin	1.1	0.4	2.7	2	2.1	1.4	1.3	0.6	0.7	1.7	1.7
Orthoclase	11.1	11.8	11.7	1.8	8.3	9.3	4	6.2	12	8.7	9
Hornblende	0.5	0	5.5	5	6.7	4.3	6.2	2.4	4	4.8	4.1
Chlorite	4.9	4.4	6.4	4.1	3.3	5.5	5.9	5.6	5.6	5.1	5.1
Illite	1.7	2.7	3.7	5.5	1.5	4.7	4.4	1.6	4.7	4.7	6.8

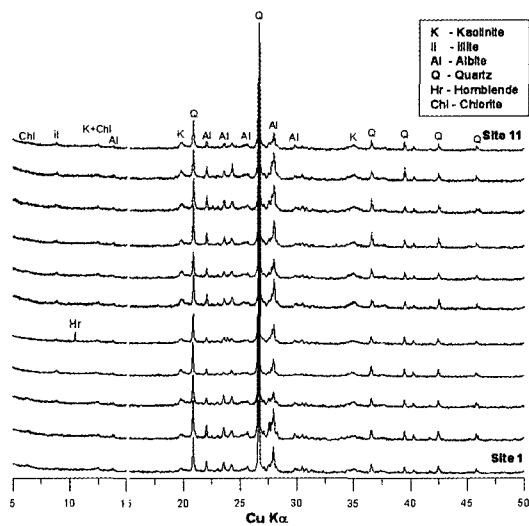


Fig. 2. XRD patterns of the sediments collected from the Kumho River.

추가로 체를 이용하여 분리하였다. 분리된 시료는 90°C에서 24시간 동안 오븐에서 건조시킨 후 건조기에 보관하였다.

광물 분석

퇴적물을 이루고 있는 광물 중 흡착광물로 알려진 스테카이트, 일라이트 등의 함량 및 조암광물의 조성을 알아보기 위해서 XRD 분석을 실시하였다. XRD 분석기기는 기초과학지원연구소 대기센터에서 Phillips X'pert APD를 이용하여 Cu 타겟을 이용하여 5°에서 50°까지 분석하였다. 광물 정량분석을 위하여 Sietronics사

의 SIROQUANT 프로그램을 이용하여 각 광물의 함량을 정량 분석하였다.

중금속 분석

분리된 시료를 HF, HClO₄, HNO₃를 혼합한 용액에 완전 용해시킨후 Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd의 원소에 대하여 기초과학지원연구원 대구센터에서 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 토의

퇴적물내의 광물성분

금호강의 최상류에 해당하는 1번 시료채취 지점부터 11번까지 각 지점에서 채취된 시료의 XRD 분석 결과를 그림 2에 도시하여 보았다. 분석 결과 석영, 알바이트 사장석, 정장석 등의 주요 조암광물과 일부 녹니석, 카올리나이트, 일라이트 등의 점토광물이 혼재하여 나타나는 것으로 나타났다(표 1, 그림 3). 일부 시료에서는 약간의 각섬석도 동정되었다. 하천의 퇴적물을 이루고 있는 광물의 정량분석 결과 전체적으로는 석영이 약 42~53%로서 가장 많은 양으로 존재하는 것으로 동정되었으며, 다음으로는 약 22~34%의 알바이트 사장석, 그리고 일부 정장석 등이 주요 장석광물로 나타났다. 점토광물의 양은 녹니석, 일라이트, 카올리나이트의 순서로 동정되었다. 전체적으로 점토광

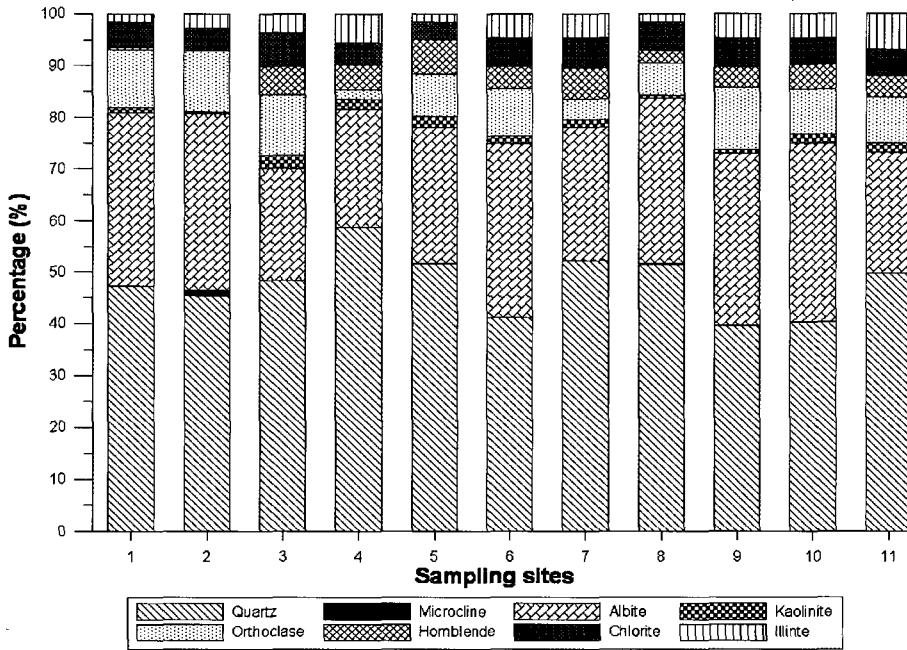


Fig. 3. Percentage of composing minerals in the collected sediment samples in the Kumho River.

Table 2. Heavy metal concentrations of the river sediments in the Kumho River (ppm).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pb	208.5	290.7	248.7	166.9	293.9	591.6	157.1	138.6	216.9	180.8	179.5
Cr	48.2	37.5	64.3	48.7	75.6	149.3	64.8	45.1	73.4	135.8	96.9
Co	12.3	12.2	13.3	16.3	19.1	14.2	19.2	17.0	22.9	33.5	28.0
Ni	47.9	27.5	32.4	33.2	69.5	39.7	62.5	39.5	168.1	527.9	192.7
Cu	175.6	191.0	136.5	114.9	314.4	79.8	211.3	102.1	220.1	293.2	177.7
Zn	297.6	238.5	190.0	276.2	424.3	208.0	374.1	209.9	488.3	820.4	496.6
Cd	3.1	3.9	4.1	3.7	5.2	3.1	3.1	3.7	4.3	4.0	6.0

물의 양은 석영, 장석 등에 비하여 적은 양으로 나타났다. 이들의 함량은 시료 채취 지점에 따라서 약간의 차이를 보이는 하지만 특정 지점에서 뚜렷한 차이는 인지되지 않는다. 특히 시료 채취 지점 1, 2의 경우 화산암 지대에 위치하고 있어서 하류의 지역과는 암상이 다른 지역이지만 이러한 모암의 변화에 따른 하상퇴적물의 광물학적 차이는 보여 지지 않는다.

동정되어진 광물들 중 특히 중금속을 흡착할 수 있는 양이온교환능이 큰 일라이트나 카올리나이트 등은 일반적으로 하상퇴적물 중 중금속

과 반응하여 이를 흡착, 저장할 수 있는 광물로 알려져 있다(Kim *et al.*, 1996). 그러나 점토 광물의 양에 있어서 각 시료 채취 지점들 간에 뚜렷한 차이를 보여주지 않고 있다. 5번과 8번 시료 채취지점 일라이트의 경우 앞 뒤 구간에 비하여 비교적 적은 양을 보이고 있고 하류로 갈수록 카올리나이트의 경향과 비교할 때 함량의 증가가 일부 구간에서 관찰되나 그 경향이 명확하지는 않다. 즉 상류와 하류로 가면서 관찰되어지는 모암의 영향이나 풍화의 영향에 따른 광물 양상은 그리 크지 않다고 할 수 있다.

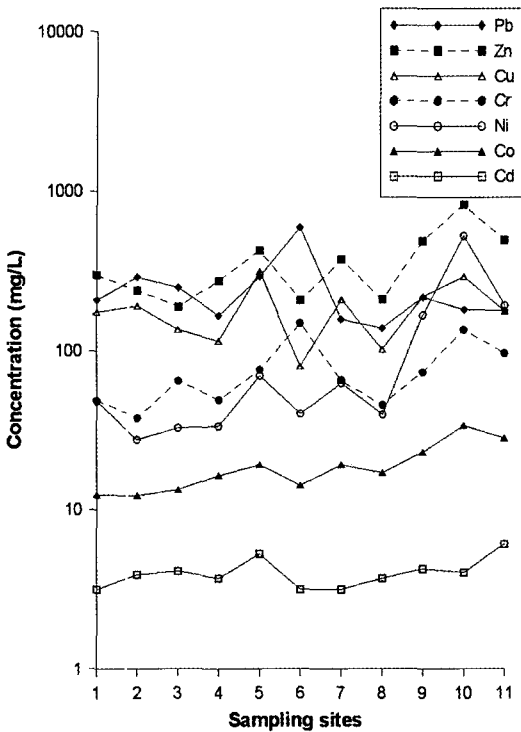


Fig. 4. Changes of the heavy metal contents in the sediments at different sampling sites in the Kumho River.

이것은 아마도 전체적인 유하길이가 약 100 km 정도에 이르는 소규모의 하천이기 때문으로 판단된다.

퇴적물내의 중금속 함량변화

각 퇴적물 시료에서 추출된 중금속 함량은 시료에 따라서 변화량이 크다(표 2, 그림 4). Zn의 경우 190~820 ppm (평균값 약 366 ppm)의 범위를 보여주며 다른 중금속과 비교하였을 때 가장 높은 농도를 보여주고 있다. Pb의 경우도 Zn과 더불어 비교적 높은 농도(138~592 ppm, 평균값 243 ppm)를 보여주며 전체적으로 퇴적물이 이러한 중금속에 의하여 많이 오염되어 있음을 보여준다. 이 두 금속 외에 상대적으로 높은 농도를 보여주는 것은 Cu와 Ni로서 80~293 ppm (평균 183 ppm)의 값과 28~528 ppm (평균 113 ppm)의 농도 범위를 각각 보인다. 이들 보다 농도가 낮은 Cr과 Co의 경우는 38~149 ppm (평균 76 ppm)

과 12~34 ppm (평균 19 ppm)의 범위를 각각 보인다. Cd의 경우 분석된 중금속 중 가장 농도가 낮으며 3.1~6.0 ppm (평균 4.0 ppm)의 농도를 보여준다. 전체적인 퇴적물에 중금속 농도는 $Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Cd$ 의 순서를 보여주고 있다. 금호강 퇴적물의 중금속 농도는 일반적으로 보고된 다른 강 유역의 중금속의 농도에 비하여 상당히 높은 농도를 보여주고 있다(Olivares- Rieumont *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2005). 이러한 값들은 Cr을 제외하고 전세계적인 평균 퇴적물의 값보다 3배 이상의 값을 보이며 남의 경우 약 11배 이상의 농도를 보여주고 있다(Olivares- Rieumont *et al.*, 2005). 또한 Cd를 제외한 이러한 값들은 미국 EPA의 심하게 오염된 퇴적물의 기준에 모두 포함된다(Filgueiras *et al.*, 2004). 비교적 공단 시설이 없는 상류의 경우에 있어서도 이러한 중금속에 의한 오염이 되어 있음을 보여주고 있다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 국지적인 증감은 있지만 하류로 내려올수록 각 중금속의 농도는 Pb를 제외하고 전체적으로 증가함을 보인다. 특히 일부 구간에 대해서만 증가하는 중금속의 농도는 흡착가능한 점토광물의 뚜렷한 증가가 없는 상황에서는 구성광물에 의한 것이라기보다는 국부적으로 존재하는 점 오염원에 의한 것으로 판단된다. 이러한 경향은 10번 시료 채취지점에서 특히 뚜렷한데 이 곳에서는 Pb와 Co를 제외한 나머지 원소가 급격히 증가한다. 이 곳은 대구에 위치한 염색공단, 3공단, 서대구공단 등의 폐수를 통합처리하여 금호강으로 방류하는 달서천 하수처리장에서 방류된 폐수들을 포함한 달서천이 합류하는 지점으로서 이러한 공단에 의한 오염에 의하여 퇴적물내의 중금속 농도가 급격하게 증가된 것으로 생각된다. 위의 공단은 반 이상이 섬유공장으로 이루어져 있지만 두 번째로 많은 업체가 금속업체로서 많은 중금속의 배출이 이러한 공장부터 유출되었을 것으로 판단된다. 10번 지점 이외의 지점에서 부분적인 부하를 보이고 10번 지점에서 뚜렷한 증가를 보이지 않는 금속은 Pb와 Cd인데 이로 미루어 보아 이 두 금속은 공단으로부터의 배출 중금속 중 상대적으로 작은 비중을 차지할 것으로 생각된다. Ni의 경우는 10번 지점전에는 크게 증가를 보이지 않으나

이 지점에서 다른 금속과 달리 퇴적물 내 가장 큰 증가를 보여주고 있다. Ni의 경우 금속 산업에서 사용되는 대표적인 원소로서 이러한 공단 폐수에서 야기 되었으리라 생각된다. 10번 지점 외에는 모든 원소들이 많은 기복을 보인다. 이 중에서 6번 시료채취지점의 경우 다른 원소들은 중금속의 농도가 감소하는 반면 Pb와 Cr은 이 지점에서 월등한 증가를 보여준다. 이 지점은 10번 시료채취지점과 같이 다른 지점이 합류하는 지점으로 지천 상류에 위치한 Pb와 Cr의 주요오염원들이 있을 것으로 판단된다.

퇴적물내 중금속의 농도에 영향을 미치는 요인

퇴적물내의 금속원소의 경우 점토광물 등과 강하게 결합할 수 있다(Kim *et al.*, 1996). 특히 몇몇 원소의 경우 특정광물과 높은 친화력을 보이는 경우가 많다. 예를 들면 Cs과 같은 특정 원소의 경우 토양을 구성하고 있는 점토광물 중 일라이트는 방사성 원소중 하나인 ¹³⁷Cs과 매우 친화적인 성질을 갖고 있다(김영규 외, 2005; Sawhney, 1972; Francis and Brinkley, 1976; Evans *et al.*, 1983; Cremers *et al.*, 1988). 특히 일라이트는 낮은 농도에서 원자반경이 작은 다른 알칼리 이온에 비해 Cs의 흡착능력이 강하다고 보고되어 왔으며 이는 일라이트에 존재하는 독특한 흡착 자리에 기인한다고 알려져 왔다(Sawhney, 1972; Kim *et al.*, 1996; Wendling *et al.*, 2004).

중금속의 경우도 불석이나 점토광물 같은 양이온교환능력이 높은 특정 광물에서 선택적 흡착이 일어나며 실험적으로도 이러한 선택성은 잘 알려져 있다(Blanchard *et al.*, 1984; Helios Rybicka *et al.*, 1995). 따라서 토양이나 퇴적물의 경우 특정 광물의 선택적 농집에 따른 특정 중금속의 부화는 어느 정도 예측될 수 있을 것이다. 그러나 본 연구지역의 하상퇴적물은 그림 2와 3에서 알 수 있듯이 일부 점토광물이 퇴적물에서 동정되나 전체적으로 뚜렷하게 눈에 띄는 경향은 보이지 않는다. 기존의 Cs의 연구와 광물과의 연관성의 경우 Cs의 오염원은 대기와 같은 넓은 범위에 걸쳐서 이루어져 균일한 오염원을 가지고 있으므로 오염원에 의하여 영향을 받기보다는 특정광물이나 특정 지

질학적 구성요소와의 선택성을 보였다(김영규 외, 2005; Francis and Brinkley, 1976). 그러나 금호강의 하상퇴적물의 경우 일정한 광물성분을 가지고 있음에도 불구하고 시료채취지점마다 많은 변화양상을 보이며 특히 지천의 영향을 많이 받고 있는 것을 보여준다. 이는 Cs의 일라이트 흡착에 비하여 중금속의 점토광물 흡착이 상대적으로 낮은 선택성을 가지고 있는 점도 있지만 오염원이 국부적으로 존재하여 국부적인 특정 중금속의 부화가 나타난 것으로 해석된다.

광물 외에 퇴적물내 중금속의 농도에 영향을 미치는 다른 요소를 알아보기 위하여 하천수의 중금속 농도와 비교하여 보았다. 그림 5에 같은 시간 같은 지점에서 채취한 하천수의 시료 중금속 농도 중 어느 정도 유의성이 있는 농도를 갖는 Pb, Cu, Zn, Ni의 농도를 비교하여 도시하였다. 하천수에 있어서도 지점마다 농도의 증감은 있지만 전체적으로는 중금속의 농도가 상류에서 하류로 갈수록 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 이 중 Pb와 Ni의 경우 현재 하천수의 농도 변화 경향과 퇴적물 내의 농도변화 경향이 많은 유사한 것으로 나타났다. Ni의 경우 10번 지점에서 퇴적물내의 농도가 갑자기 증가하는데 하천수의 경우에 있어서도 이의 농도가 갑자기 증가함을 보아 현재의 하천수에 포함되어 있는 Ni이 퇴적물 내의 주 Ni 기원임을 지시한다. Pb의 경우는 퇴적물의 농도는 오히려 하류로 갈수록 약간 감소하는 것으로 나타났지만 증감의 경향은 비슷하고 앞에서 언급 하였던 시료채취지점인 6번에서 갑자기 높게 나타나는데 하천수에서도 이 지점에서 상대적으로 높게 나타나고 있다. 역시 Pb의 경우도 현재 지천에서 유입되는 용존 Pb에 의한 오염이 많음을 보여주고 있다. 그러나 Cu와 Zn의 경우 이러한 뚜렷한 경향은 관찰되지 않는다.

하천수의 경우도 퇴적물과 같이 특정한 지점에서 부화되는 양상을 보이며, Pb은 모든 지점에서 다른 원소들에 비해 상대적으로 많은 양이 용존되어 있다. Zn의 경우 6번 지점에서 다른 지점에 비해 상대적으로 많은 양이 검출되었으나, 퇴적물에서 Zn 함량을 다른 지점과 비교하였을 때는 상대적으로 낮은 값을 보였다. Cr, Co, Cd과 같이 하천수에서도 극소량으로 존재하는 중금속들은 퇴적물 내에서도 상대적

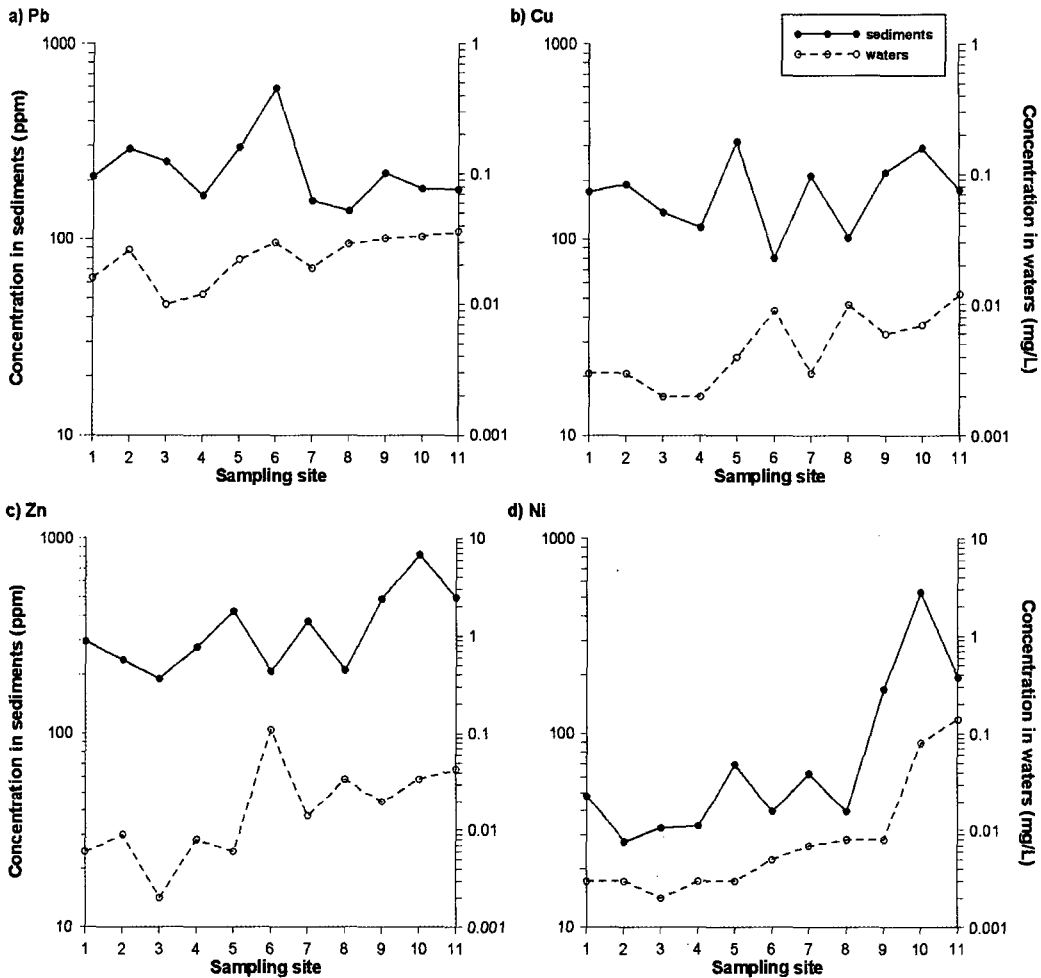


Fig. 5. Comparisons of heavy metal contents (Pb, Cu, Zn, Ni) from river waters and sediments collected from the Kumho River.

으로 낮은 농도로 존재하는 것으로 나타났다. 하천수와 퇴적물은 많은 경우에 있어서 큰 상관관계를 보여주지 않는다고 알려져 있다(Demirak *et al.*, 2006). 이러한 기존의 연구에 비하여 본 연구지역의 Pb와 Ni은 비교적 비슷한 경향을 보여주고 있고 특히 Pb은 그 경향이 더욱 명확하다. 이것은 아마도 퇴적물이 현재 계속 유입되고 있는 Pb의 영향을 받고 있는 것으로 생각된다. 다만 퇴적물 내의 Pb은 상류에서 하류로 가면서 전체적인 농도가 감소하는 것은 지천 외에 상류에 Pb의 오염원이 추가적으로 있었음을 지시한다. 현재 별다른 뚜렷한 산업 시설 등이 없는 것을 고려할 때 폐광산 등에

의한 영향도 있으리라 생각된다. Pb와 Ni을 제외한 다른 중금속들은 하천의 중금속 농도 경향과 많이 다른 것으로 볼 때 현재는 활발하지 않은 과거의 오염원에 의하여 부화된 중금속이 흡착, 침전 등의 형태로 현재까지 계속 남아있는 것으로 생각된다.

결론

금호강 퇴적물에 대하여 광물성분 및 중금속 농도를 측정하여 금호강 퇴적물의 오염정도 및 퇴적물 내의 중금속 농도에 미치는 영향에 대하여 파악해 보았다. 금호강 하천퇴적물은 석

영, 알바이트 사장석이 주 광물 성분을 이루고 있었고 이외에도 정장석, 미사장석, 각섬석과 점토광물로는 일라이트, 녹니석, 카올리나이트 등이 동정되었다. 연구지역의 경우 상류지역은 화산암이 하류 지역은 퇴적암으로 이루어져 있어서 암상의 변화가 뚜렷하지만 퇴적물을 이루고 있는 광물에 있어서 전체적인 광물의 종이나 양에 있어서는 뚜렷한 변화를 보이지 않고 있다. 이는 아마도 유하거리가 짧기 때문인 것으로 생각되며 퇴적물을 이루는 광물성분에 있어서 모암의 영향은 거의 없는 것으로 보인다. 퇴적물내의 중금속은 $Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co > Cd$ 의 농도 순서를 보이고 있다. 그러나 부분적으로 시료채취지점별 농도는 많은 변화를 보인다. 상류에서 하류로 가면서 Pb를 제외하고는 전체적으로 증가하는 것으로 나타났다. 부분적인 농도의 증가는 오염원으로부터 유출된 중금속을 포함하는 지천의 영향을 주로 받는 것으로 나타났으며 특히 하류의 시료채취 지점 10번에서는 공단의 영향으로 Pb와 Cd를 제외하고는 대부분 중금속이 급격한 농도 증가를 보인다. 광물의 성분의 변화가 없음에도 이러한 변화를 보이는 것은 대체로 광물의 영향보다는 오염원의 영향이 더 큰 것으로 보인다. 일부 현재의 하천의 중금속 농도 경향과 퇴적물내 중금속 농도 변화 경향은 Pb와 Ni을 제외하고는 거의 일치하지 않는데 이는 과거의 오염원에 의하여 흡착, 침전된 중금속들이 현재까지 퇴적물에 부화되어 있는 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-015-C00571)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 고인석, 이용태, 김종근 (1994) 경상분지 백악기 상부경상누층군 사암의 퇴적변질. 석유지질학회, 2, 19-31.
- 김영규, 김경미, 정희진, 강희동, 김완, 도시홍, 김도성 (2005) 울진원전 근해 해저 퇴적물의 구성성분 및 방사성 Cs 흡착 특성. 자원환경지질, 38, 689-697.
- 문지원, 이상훈, 문희수 (2000) 안양천 바닥 퇴적물의 지구화학적 특성에 따른 하천수 오염영향. 자원환경지질, 33, 205-215.
- 양경린, 이철, 박찬목, 서기림, 김탁배, 이인중, 정혜순 (1975) 낙동강 중류 수계의 화학적 수질조사 연구. 한국육수학회지, 8, 23-35.
- 이수남 (1985) 대구시 주요 하천수의 중금속 오염조사 연구. 영남대학교 이학석사학위논문, 28p.
- 이성은, 김규환, 이진수, 전효택 (2002) 탄천의 하상 퇴적물과 하천수내 주요 용존이온과 중금속의 수리지구화학적 특성과 오염. 자원환경지질, 35, 25-41.
- Blanchard, G. Maunaye, M. and Martin, G. (1984) Removal of heavy metals from waters by means of natural zeolites. Water Res., 18, 1501-1507.
- Cremers, A., Elsen, A., de Peters, P. and Maes A. (1988) Quantitative analysis of radiocesium retention in soils. Nature. 335, 247-249.
- Demirak, A., Yilmaz, F., Levent Tuna, A. and Ozdemir, N. (2006) Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere, 63, 1451-1458.
- Evans, D.W., Alberts, J.J. and Clark, R.A. III (1983) Reversible ion-exchange fixation of cesium-137 leading to mobilization from reservoir sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 1041-1049.
- Filgueiras A.V., Lavilla, I. and Bendicho, C. (2004) Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. Sci. Total Environ., 330, 115-129.
- Francis, C.W. and Brinkley, F.S. (1976) Preferential adsorption of ^{137}Cs to micaceous minerals in contaminated freshwater sediment. Nature. 260, 511-513.
- Helios Rybicka, E., Calmano, W., and Breeger, A. (1995) Heavy Metals sorption/desorption on competing clay minerals; an experimental study. App. Clay Sci. 9, 369-381.
- Hochella Jr., M., Moore, J.N., Putnis, C.V., Putnis, A., Kasama, T. and Eberl, D.D. (2005) Direct observation of heavy metal-mineral association from the Clark Fork River Superfund Complex: Implications for metal transport and bioavailability. Geochim. Cosmochim. Acta, 69, 1651-1663.
- Kim, J.W. (1988) A study on the heavy metal concentration in sediments of stream in Incheon. Soongsil University MS thesis, 36p.
- Kim, Y., Kirkpatrick, R.J. and Cygan, R.T. (1996) ^{133}Cs NMR study of cesium on the surfaces of

- kaolinite and illite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4059-4074.
- Lee, J.H. (1986) Studies on the heavy metal from soil and radish around the Geumo river basin. Yeungnam University MS thesis, 19p.
- Merengo, E., Gennaro, M.C., Robotti, E., Rossanigo, P., Rinaudo, C. and Roz-Gastaldi, M. (2006) Investigation of anthropic effects connected with metal ions concentration, organic matter and grain size in Eormida river sediments. *Anal. Chim. Acta*, 560, 172-183.
- No, J.S. (1988) The distribution of heavy metal in soils and in native plants of the Gumho river. Yeungnam University MS thesis, 28p.
- Norra, S., Lanka-Panditha, M., Kramar, U. and Stüben, D. (2006) Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany. *Appl. Geochem.*, 21, 2064-2081.
- Olivares-Rieumont, S., de laRosa, D., Limo, L., Graham, D.W., Alessadro, K.D., Borroto, J., Martínez, F. and Sánchez, J. (2005) Assessment of heavy metal levels in Almendares River sediments-Hawana City, Cuba. *Water Res.*, 39, 3945-3953.
- Ra J.K. (1986) Pollution of heavy metals on the sediments of the lower Nac-dong river. Yeungnam University MS thesis, 36p.
- Sawhney B.L. (1972) Selectivity sorption and fixation of cations by clay minerals : A Review. *Clays Clay Miner.*, 20, 93-100.
- Singh, K.P., Mohan, D., Singh, V.K. and Malik, A. (2005) Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments-tributary of the Ganes, Inida. *J. Hydrol.*, 312, 14-27.
- Wendling L.A, Harsh, J.B., Palmer, C.D., Hamilton, M.A. and Flury, M. (2004) Cesium sorption to illite as affected by oxalate. *Clays Clay Miner.*, 52, 375-381.

2006년 12월 4일 원고접수, 2006년 12월 18일 게재승인.