

## 안동댐과 임하댐 퇴적물 및 유입 부유물질의 중금속 특성 연구

### A Study on Heavy metal Characteristics of Sediments and inflow Suspended Solid of Andong and Imha-Dam

서정민(Jeong Min Seo)<sup>1</sup> · 김영훈(Young Hun Kim)<sup>2</sup> ·  
권혁진(Hyuk Jin Kwon)<sup>3</sup> · 김정진(Jeong Jin Kim)<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 36729, Korea)

<sup>2</sup>안동대학교 환경공학과

(Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea)

<sup>3</sup>환경부 대구지방환경청

(Daegu Regional Environmental Office, Ministry of Environment, Daegu 42768, Korea)

**요약** : 본 연구에서는 안동댐과 임하댐의 퇴적물과 유입되는 부유물의 특성을 색도분석, X-선회절분석 및 유도플라즈마/질량분석법을 이용하여 분석하였다. 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물 및 댐 퇴적물의 광물조성은 석영, 사장석, 녹니석, 일라이트이며 소량의 몬모릴로나이트와 캐올리나이트를 포함하고 있다. 안동댐 퇴적물과 다르게 임하댐 퇴적물에는 다량의 방해석을 포함하고 있다. 색도는 시료에 따라 약간의 차이가 있지만 회갈색에서 어두운 주황색 정도이다. 퇴적물의 중금속 농도는 안동댐이 임하댐보다 더 높다. 안동댐과 임하댐 퇴적물과 유입 부유물질의 주요 중금속 농도는 미국의 국립해양대기관리청의 기준을 적용할 경우 높은 오염도를 나타낸다. 안동댐 퇴적물의 중금속 농도가 임하댐보다 높은 것은 안동댐으로 유입되는 부유물질의 중금속 농도가 임하댐으로 유입되는 부유물질의 중금속 농도보다 높기 때문이다.

**주요어** : 안동댐, 임하댐, 퇴적물, 부유물질, 중금속

**ABSTRACT** : In this study, characteristics of sediments and suspended solids flowing into Andong and Imha Dam was analyzed by color, X-ray diffraction and ICP/MS analysis. The minerals of sediments and suspended solid consist mainly of quartz, albite, chlorite, illite and small amounts of montmorillonite and kaolinite. Unlike the Andong Dam, the Imha Dam sediments contain large amounts of calcite. Color of sediments and suspended solids varies from grayish brown to dark orange. The concentrations of major heavy metals of sediments and suspended solids in the Andong and the Imha Dam are higher than the US National Oceanic and Atmospheric Administration standard values. The concentration of heavy metals in sediments of Andong is higher than that of Imha Dam because concentration of heavy metals in the suspended solid flowing into Andong is higher than that of Imha Dam.

**Key words** : Andong Dam, Imha Dam, sediments, suspended solid, heavy metal

\*Corresponding author: +82-54-820-5038, E-mail: jjkim@andong.ac.kr

## 서 언

부유물질이란 다양한 사전적 의미가 있지만 광물자원용어사전에 의하면 “물속에 부유하고 있는 미생물, 실트, 모래 등의 입자 크기가 0.1  $\mu\text{m}$  이상의 유기 및 무기 물질을 말한다. 크기가 5  $\mu\text{m}$  이상인 것은 잘 가라앉으므로 침전가능(settleable) 부유물질이라고 하며, 0.1~5  $\mu\text{m}$  범위의 것은 분산(dispersed) 상태를 유지하므로 응집에 의해 침전시킬 수 있다”라고 정의하고 있다. 하천에서의 부유물질은 집중 강우 시 상류의 토양이 유실되어 하천수를 통하여 이동되어 호수로 유입되는 주로 무기물질로 지칭한다.

호수로 유입되는 부유물질의 양은 주로 강우 강도, 암석의 풍화 정도, 경작지의 분포 등에 따라 달라지며 부유물질의 물리화학적 특성은 지질 및 토양의 특성에 의해 결정된다(Kim *et al.*, 2007, Choo *et al.*, 2006). 안동댐 상류에는 고생대의 변성퇴적암류, 중생대의 화강암, 퇴적암 등 복잡한 지질 분포를 보이며 오염원으로 작용할 수 있는 연화광산, 삼룡광산, 분천광산, 장군광산, 삼동광산, 쌍전광산 등 수십 개의 폐금속광산이 존재한다. 임하호 상류에는 호상편마암, 미그마타이트 등을 포함하는 선캄브리아기 변성암류, 화강섬록암, 흑운모화강암, 각섬석화강암 등의 쥬라기 화성암류, 적색이암, 적색세일, 알코즈사암, 역암 등의 백악기 하양층군과 유천층군 등으로 백악기 퇴적암층이 가장 넓게 분포한다(Hwang and Jeong, 2006). 오염원으로 작용할 수 있는 폐금속광산은 가곡리광산, 영양동광, 일월광산 등이 분포한다. 상류 지역의 지질과 오염원인 폐광산 등의 분포가 다른 안동댐과 임하댐의 유입 부유물질 및 부유물질에 의해 퇴적된 댐 퇴적물의 특성이 다를 것으로 예측된다.

집중 강우 시 댐 내로 유입되는 부유물질은 대부분 댐 내에 퇴적되어 저수량을 줄이는 역할을 하고 오염된 부유물질이 유입될 경우 오염물질이 용출되어 수질 특성을 변화시킬 수 있다. 퇴적물에 존재하는 중금속 같은 오염 물질은 퇴적물의 표면에 흡착, 이온 교환, 침전, 가수분해 및 미생물 활동과 같은 기작에 의해 축적되어 오염원이 될 수 있으며 물리·화학적 환경 변화에 따라서 수중으로 재용출되거나 침전될 수 있다(Pekey *et al.*, 2004; Alloway *et al.*, 1988; Thornton, 1983). 퇴적물에 침전되거나 용출되는 중금속은 수중이나 저서 생태계에 서식하는 동식물에 흡수되어 생태계의 평형을 파괴하

거나 나아가 인간에게까지 위해를 야기할 수 있다(Hong and Kim, 1996). 최근 들어 하천 및 호소 퇴적물에 대한 오염 현상에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 퇴적물 오염과 관련된 연구는 대부분 퇴적물의 광물조성, 입도분포, 유기물 함량 등과 연관된 연구들이 진행되었다(Lee *et al.*, 2018; Hwang *et al.*, 2011; Maria *et al.*, 2009; Oh *et al.*, 2010).

부유물질의 특성은 부유물질의 발생원의 특성에 따라 차이가 나기 때문에 상류 지역의 지질과 폐금속광산의 분포가 다른 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질의 특성이 다르게 나타난다. 본 연구의 목적은 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질의 특성에 따른 호소 퇴적물의 특성 변화를 밝히고 그 결과를 기초로 향후 부유물에 의한 호소 내 퇴적물의 중금속 오염 변화를 추정하고 오염물질 유입 저감 방안 마련을 위한 기초자료를 제공하는 데 있다.

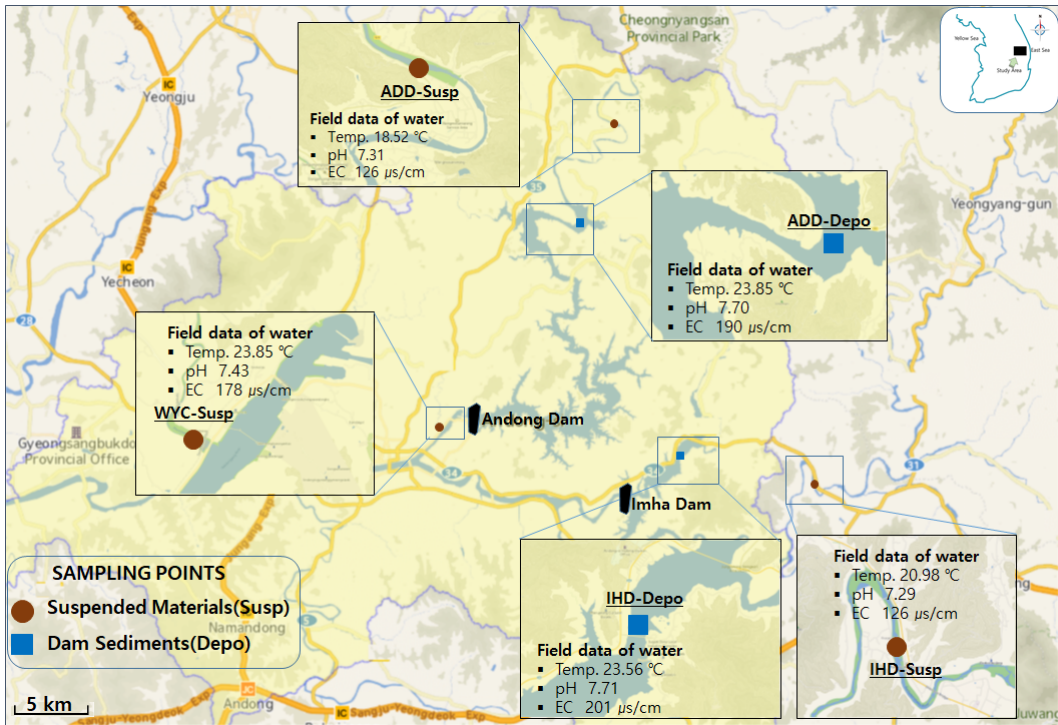
## 연구 방법

### 시료 채취

Fig. 1은 안동댐과 임하댐 내 퇴적물과 댐으로 유입되는 부유물질의 시료 채취 지점과 시료 채취 지점의 수질의 야외 측정값을 나타낸 것이다. 부유물질 시료는 집중 강우 시 안동댐으로 유입되는 낙동강 상류의 단천교(시료번호 ADD-Susp), 임하댐으로 유입되는 반변천 상류인 합천교(시료번호 IHD-Susp), 그리고 대조군인 와야천의 상야교(시료번호 WYC-Susp)의 세 지점에서 채취하였다. 낙동강 지류인 와야천의 상야교에서 부유물질 시료는 상류에 오염원으로 판단되는 폐광산 및 오염 배출 시설이 없기 때문에 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질의 특성을 비교하기 위하여 채취하였다. 부유물질은 집중 강우 후 탁도가 높을 때 약 20 L 정도를 채취하여 침전 및 원심분리 방법을 이용하여 시료를 준비하였다. 퇴적물 시료는 안동댐(시료번호 ADD-Depo)과 임하댐(시료번호 IHD-Deop) 저수 구역에서 각각 1점씩 그랩 샘플러를 이용하여 채취하였다.

### 분석 방법

퇴적물 및 부유물 시료 채취 시 현장에서 수질에 대한 수온, pH, 전기전도도를 측정하였으며, 원심분리기를 이용하여 분리한 탁도 유발 물질인 부유물(SS: suspended solid)과 안동댐과 임하댐에서 채취한 퇴적물에 대해 건조 후 필요한 실험을 수행



**Fig. 1.** Sampling sites of sediments and suspended solid and field measurement data of water in Andong and Imha Dam area (ADD-Susp: Suspended solid flowing in Andong Dam, IHD-Susp: Suspended solid flowing in Imha Dam, WYC-Susp: Suspended solid collected from Wayachen, ADD-Depo: Sediments collected from Andong Dam, IHD-Depo: Sediments collected from Imha Dam).

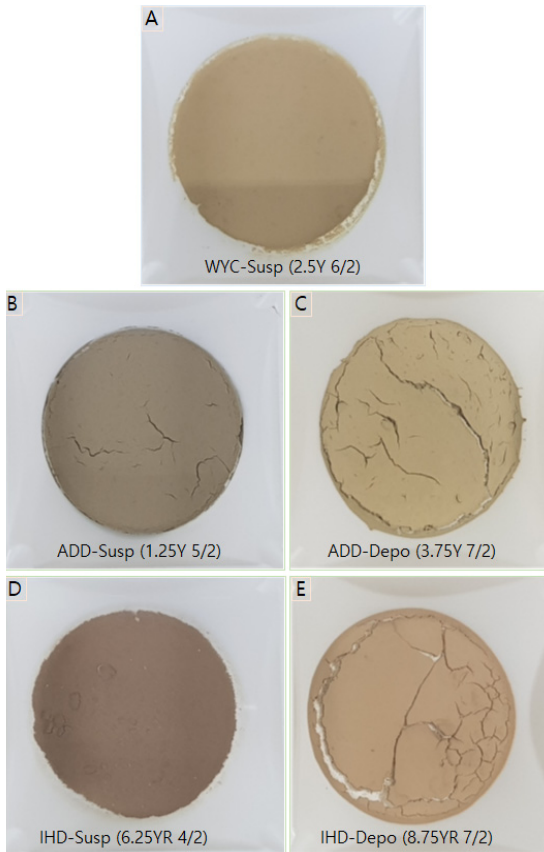
하였다. 부유물질과 퇴적물의 색깔을 알아보기 위하여 색도측정을 하였으며, 구성광물을 감정하기 위하여 X-선회절분석, 구성광물의 함량을 측정하기 위하여 광물 정량 분석 및 중금속의 농도를 알아보기 위하여 중금속 함량분석을 수행하였다. 시료의 색깔은 색도 분석 프로그램을 이용하여 먼셀 표색계(Munsell's color system)의 색상(hue), value (명도), 채도(chroma) 표기법으로 표시하였다. 구성광물 분석은 모델명 Rigaku, D/max-2000의 X-선 회절분석기로 분석 조건 CuKα, 40 kV, 35 mA, 주사속도 1° 2 θ/min로 분석하였다. X-선회절분석 결과를 기초로 X-선광물정량분석 프로그램인 SIROQUANT Version 3.0을 이용하여 구성 광물의 정량 분석을 수행하였다. 부유물질과 퇴적물에 대한 중금속 분석은 퇴적물이 완전히 분해되도록 질산, 과염소산, 불산을 가하고 가열한 후 불산을 완전히 제거한 다음 질산용액(2%)으로 적절히 희석하여 분석하는 수질오염공정시험기준의 퇴적물 분석법에 따라 유도결합플라즈마/질량분석기(ICP-

MS; Agilent 7800)로 분석하였다. 분석항목 납, 비소, 셀레늄, 수은, 카드뮴, 아연, 망간, 구리, 니켈, 철과 크롬의 총 11개 원소이다.

## 결과 및 토의

부유물질과 퇴적물 시료 채취 지점 현장 측정 결과 부유물질을 채취할 당시 채취 지점의 pH는 와야천 하천수 7.43, 안동댐 유입수 7.31, 임하댐 유입수 7.29로 큰 차이가 없지만 전기전도도는 와야천 178, 안동댐 104, 임하댐 126 μS/cm으로 와야천이 약간 높은 값을 나타낸다. 안동댐과 임하댐에서 퇴적물 채취 지점에서 측정한 pH와 전기전도도값은 각각 7.70, 7.71 및 190, 201 μS/cm로 두 지점의 측정값은 큰 차이를 나타내지 않는다(Fig. 1).

안동댐과 임하댐 모두 댐 퇴적물 채취 지점의 pH 값이 유입 부유물질 채취 지점보다 약간 높으며 전기전도도는 부유물 유입 지점이 낮은 값을 나타낸다. 우리나라에서 내리는 빗물의 경우 전기전도

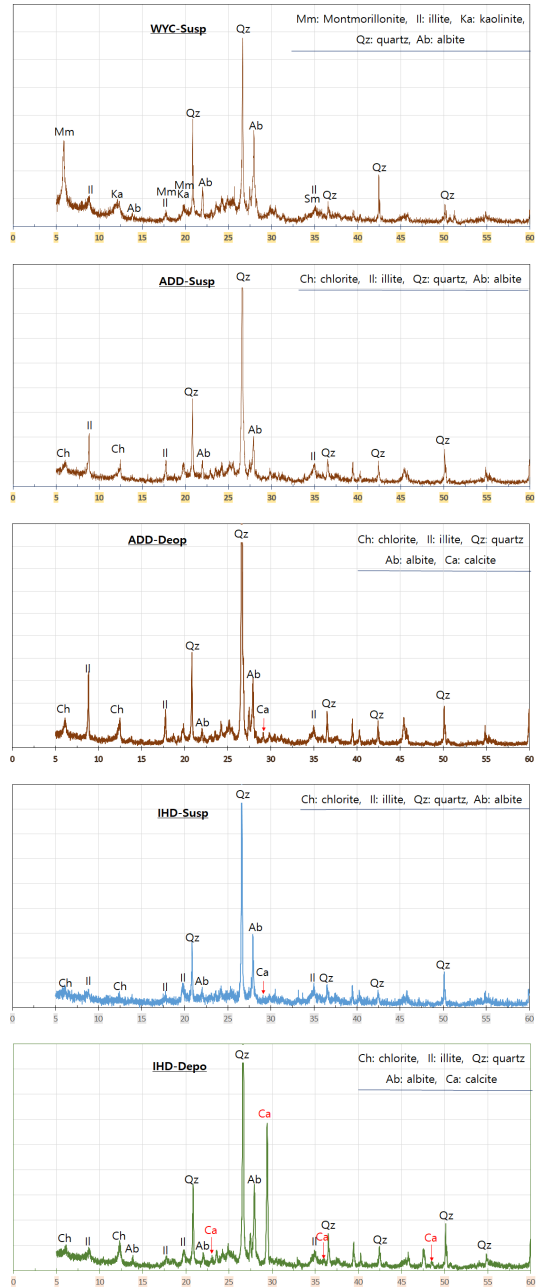


**Fig. 2.** Color of sediments and suspended solid collected from Andong and Imha Dam area.

도는 서울 3~50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 수원 19~42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 안성 11~26  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도로 하천수보다 낮은 값을 나타낸다(Han *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 1999). 따라서 부유물 채취 지점이 퇴적물 채취 지점의 전기전도도보다 낮은 것은 유입수 채취 시 내린 집중 강우의 영향인 것으로 사료된다.

#### 부유물 및 퇴적물 색도 측정

채취한 부유물과 퇴적물의 색도를 측정한 결과 와야천 유입수 부유물 회갈색(2.5Y 6/2), 안동댐 유입수 부유물질 어두운 회갈색(1.25Y 5/2), 안동댐 퇴적물 회황색(3.75Y 7/2), 임하댐 유입수 부유물 어두운 갈색(6.25YR 4/2), 임하댐 퇴적물 탁한주황색(8.75YR 7/2)을 나타낸다(Fig. 2). 건조 시 산화에 의해 퇴적물과 부유물의 색깔의 변화가 나타날 가능성도 있지만 유입되는 부유물질이 퇴적물보다 명도가 낮아 약간 어두운 색을 나타낸다.



**Fig. 3.** X-ray diffraction patterns of sediments and suspended solids.

#### X-선회절분석결과

Fig. 3은 안동댐과 임하댐 지역의 퇴적물과 유입 부유물질에 대한 X-선회절분석 결과이다. 안동댐으로 유입되는 부유물질에 대한 X-선회절분석 결과

**Table 1.** Results of mineral quantitative analysis using SIROQUANT XRD phase analysis software

Sample No.	Montmorillonite	Chlorite	Illite	Kaolinite	Quartz	Albite	Calcite
ADD-Susp	-	15.51	27.16	-	33.54	23.80	-
IHD-Susp	-	12.99	26.83	-	27.98	28.96	3.24
WYC-Susp	1.60	-	28.15	14.51	17.57	38.17	-
ADD-Depo	-	15.38	21.52	-	36.65	24.39	2.07
IHD-Depo	-	10.93	18.34	-	28.94	24.22	17.57

주 구성광물은 석영(quartz)과 약간의 사장석(albite) 그리고 소량의 방해석(calcite)이며, 점토광물로는 녹니석(chlorite)과 일라이트(illite)를 포함하고 있다. 임하댐으로 유입되는 부유물질의 주 구성광물은 석영과 사장석이며 소량의 녹니석과 일라이트를 포함하고 있다. 대조 지역인 와야천으로 유입되는 부유물질의 주 구성광물은 안동댐과 임하댐의 유입 부유물질과는 약간의 차이를 나타내며 석영과 사장석 그리고 점토광물로는 몬모릴로나이트와 캐올리나이트, 일라이트를 포함하고 있는 것이 특징이다. 임하댐과 안동댐 유입 하천의 탁도 유발물질에 대한 광물학적 특성 연구에 의하면 주 구성광물은 버미큘라이트, 일라이트, 캐올리나이트, 석영, 사장석 등이다(Kim *et al.*, 2007). X-선회절분석 결과에 의하면 기존의 연구와 유사한 광물조성을 보이지만 임하댐 부유물질에 약간의 방해석을 포함한 것과 버미큘라이트와 캐올리나이트의 회절선을 녹니석으로 감정한 것이 차이가 있다. 이는 약 14 Å와 7 Å의 회절선을 하나의 광물로 감정하면 녹니석이며 두 종류의 광물이면 버미큘라이트와 캐올리나이트로 감정할 수 있다. 본 연구에서는 14 Å의 회절선의 강도가 높지 않고 녹니석의 회절선과 일치하여 녹니석으로 판단하였다.

안동댐의 호수 내에서 채취한 퇴적물에 대한 X-선회절분석 결과 주 구성광물은 석영(quartz)과 약간의 사장석(albite) 그리고 소량의 방해석(calcite)이며, 점토광물로는 녹니석(chlorite)과 일라이트를 포함하고 있다. 임하댐의 호수 내에서 채취한 퇴적물의 주 구성광물은 석영, 사장석, 방해석이며 점토광물로는 녹니석과 일라이트를 포함하고 있다.

안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질은 광물 조성은 유사하지만 각 광물의 함량의 차이를 나타낸다. 안동댐으로 유입되는 부유물질은 녹니석과 일라이트의 함량이 임하댐보다 높은 경향을 나타낸다. 대조 지역인 와야천의 부유물질은 몬모릴로나이트와 캐올리나이트를 포함하고 있어 안동댐과 임

하댐으로 유입되는 부유물질과는 상이한 광물조성을 나타낸다.

Table 1은 Siroquant 광물정량분석 프로그램을 이용하여 분석한 구성광물의 조성비를 나타낸 것으로 안동댐과 임하댐 유입 부유물질의 구성광물의 함량비는 녹니석은 15.51과 12.99, 일라이트는 27.16과 26.83으로 비슷한 함량을 나타낸다. 석영은 안동댐, 사장석은 임하댐 부유물에서 약간 더 높은 함량을 나타낸다. 임하댐 부유물에 방해석이 소량(3.24 %) 포함하고 있는 것이 안동댐 부유물과의 차이이다. 대조 지역인 와야천 부유물질에는 몬모릴리나이트 소량(1.60 %)과 캐올리나이트(14.51 %)가 포함되어 있고 석영(17.57 %)이 적고 사장석(38.17)이 다른 부유물질에 비해 많이 포함되어 있는 것이 특징이다.

안동댐과 임하댐 퇴적물의 광물 조성비는 안동댐의 퇴적물이 석영의 함량이 임하댐보다 높지만 임하댐에서는 방해석(17.57 %)의 함량이 매우 높은 것이 특징이다(Fig. 4). 임하댐에서 채취한 퇴적물에서 다량의 방해석을 포함하고 있어 안동댐 퇴적물과 상이한 결과를 나타낸다. 이는 석회질을 포함하고 있는 백악기 하양층군과 유천층군에 속하는 퇴적암류가 넓게 분포하고 있는 임하댐 상류 지역의 지질과 관련이 있는 것으로 판단된다(Hwang and Jeong, 2006).

#### 부유물질 및 퇴적물의 중금속 특성

Table 2는 안동댐과 임하댐 지역의 퇴적물과 부유물질에 대한 중금속 분석 결과이다. 안동댐으로 유입되는 부유물질의 비소 함량은 53.05 mg/kg으로 임하댐으로 유입되는 부유물질의 13.99 mg/kg보다 높은 값을 나타낸다. 대조군인 와야천에서 채취한 부유물질 시료는 6.68 mg/kg으로 안동댐과 임하댐 유입 두 지점보다 낮은 값을 나타낸다. Se는 와야천에서는 검출한계 이하이지만 안동댐과 임하댐 유입 부유물질은 각각 2.30 mg/kg과 2.50 mg/kg

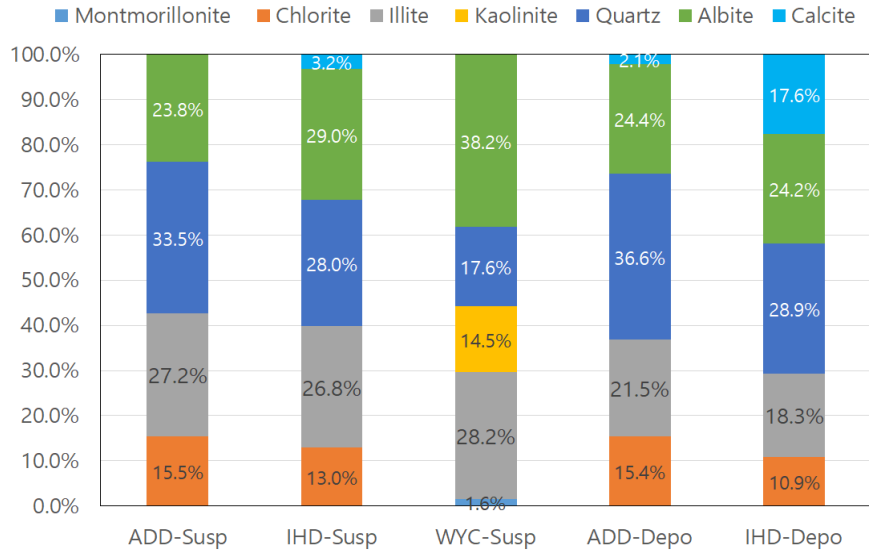
**Table 2.** Results of heavy metals content in sediments and suspended solids samples collected from Andong and Imha Dam area (단위 : mg/kg)

Sample No.	Hg	As	Se	Zn	Cd	Pb	Ni	Fe	Mn	Cr	Cu
ADD-Susp	0.55	53.05	2.30	700.78	9.52	75.32	58.80	35112.18	1828.43	46.58	53.17
IHD-Susp	0.08	13.99	2.50	247.65	1.19	45.65	42.23	36892.91	1550.20	84.09	48.26
WYC-Susp	0.04	6.68	ND	305.71	0.38	37.02	10.64	44602.66	1151.56	18.77	29.94
ADD-Depo	0.28	54.23	ND	675.03	14.39	53.67	28.77	35214.15	665.72	39.05	34.27
IHD-Depo	0.09	21.44	ND	106.71	0.24	20.80	27.67	35009.77	1225.94	46.69	20.13
*AS/IS ratio	6.88	3.79	0.92	2.83	8.00	1.65	1.39	0.95	1.18	0.55	1.10
**AD/ID ratio	3.11	2.53	0.00	6.33	59.96	2.58	1.04	1.01	0.54	0.84	1.70
***NOAA ERL	0.15	8.2	-	150	1.2	46.7	20.9	-	-	81	34

\*AS: Andong Dam suspended materials, IS: Imha dam suspended materials

\*\*AD: Andong Dan sediments, ID: Imha Dan sediments

\*\*\*Burton, G.A. Jr. (2002)



**Fig. 4.** Mineral contents of sediments and suspended solid collected from Andong and Imha Dam area.

으로 비슷한 농도값을 나타내었다. Zn은 안동댐 700.78 mg/kg으로 가장 높고 대조군인 와야천이 305.71 mg/kg으로 임하댐의 247.65 mg/kg보다 높은 값을 나타낸다. Cd는 안동댐이 9.52 mg/kg으로 임하댐 1.19 mg/kg, 와야천 0.38 mg/kg보다 높은 값을 나타내었다. Pb, Ni의 농도는 안동댐, 임하댐, 대조군인 와야천 순으로 75.32, 45.65, 37.02 mg/kg과 58.80, 42.23, 10.64 mg/kg이며 Mn, Cu의 농도는 1,828.43, 1,550.20, 1,151.56 mg/kg과 53.17, 48.26, 29.94 mg/kg이다. 대부분 금속의 농도는 안동댐이 높지만 Cr은 임하댐이 84.09 mg/kg으로 안

동댐 46.58 mg/kg보다 높은 값을 나타낸다. 부유물질의 중금속 농도는 대체로 안동댐이 높으며 임하댐은 안동댐보다 낮지만 와야천의 부유물질보다 높게 나타난다.

안동댐(시료번호 ADD-Depo)과 임하댐(시료번호 IHD-Depo)에의 호소 내에서 채취한 퇴적물의 금속분석 항목은 수은, 비소, 셀레늄, 아연, 카드뮴, 납, 니켈, 철, 망간, 크롬, 구리이다. 안동댐 퇴적물의 비소 함량은 54.23 mg/kg으로 호소퇴적물 오염평가 기준 3등급이며 임하댐은 21.44 mg/kg으로 안동댐보다 낮은 결과를 나타내었다. Zn은 안동댐

안동댐과 임하댐 퇴적물 및 유입 부유물질의 중금속 특성 연구

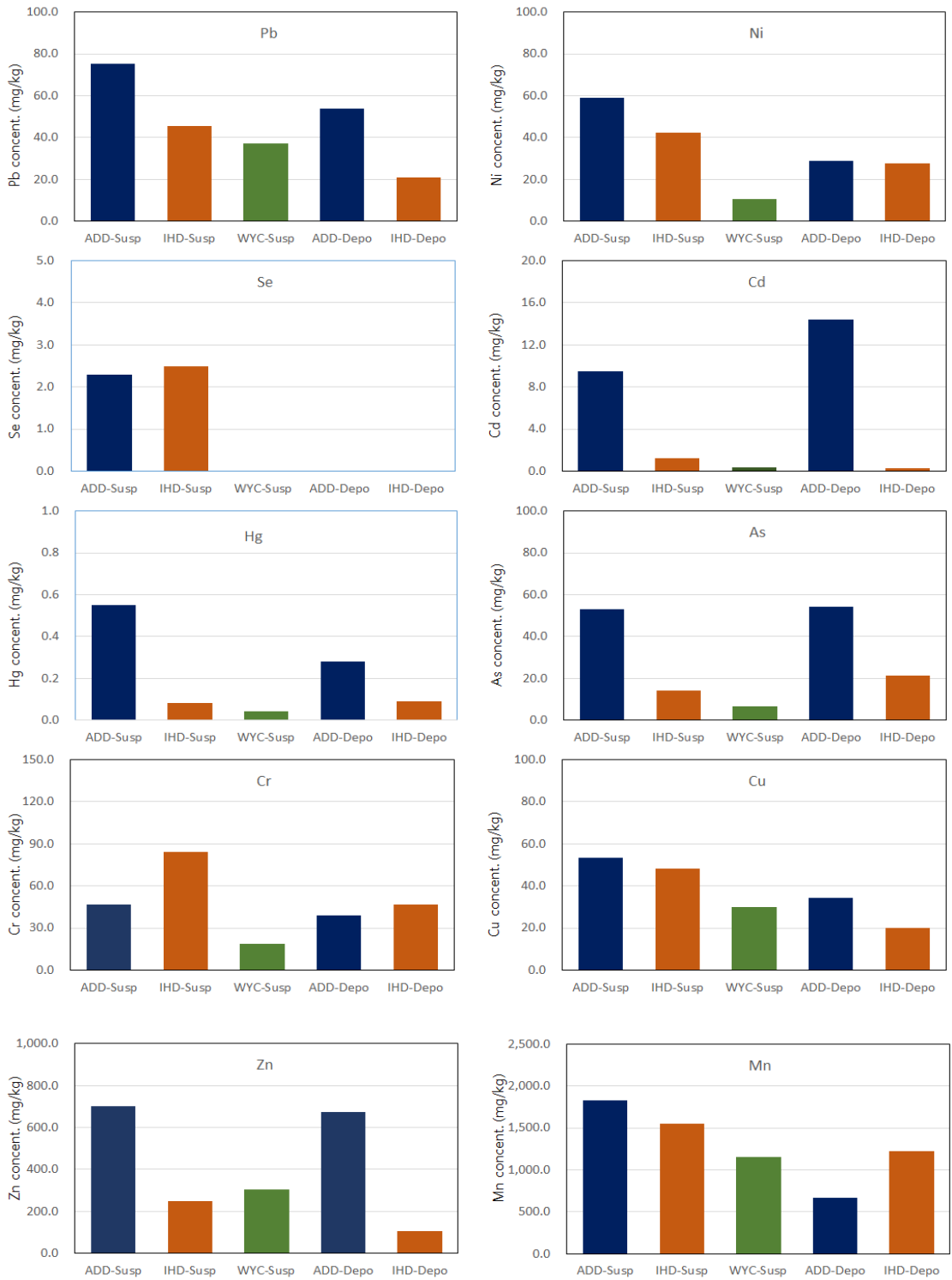


Fig. 5. Results of heavy metal concentration of sediments and suspended solids.

675.03 mg/kg, 임하댐 106.71 mg/kg으로 안동댐이 임하댐보다 6배 이상 높은 값을 나타내었다. Cd의 농도는 안동댐 14.39 mg/kg, 임하댐 0.24 mg/kg으로 50배 이상 높은 농도값을 나타내었다. Pb는 안동댐 53.67 mg/kg 임하댐 20.80 mg/kg으로 약 두 배, Cu는 34.27 mg/kg, 20.13 mg/kg으로 1.7배 높지만 Ni는 안동댐과 임하댐 각각 28.77, 27.67 mg/kg, Fe는 35,214.15, 35,009.77 mg/kg으로 두 지역 거의 비슷한 농도값을 나타내었다. 임하댐 퇴적물이 안동댐보다 높은 값을 나타내는 항목은 Mn과 Cr로 각각 1,225.94, 665.72 및 46.69, 39.05 mg/kg이다. 이상의 결과에서 퇴적물의 중금속 농도는 대체로 안동댐이 임하댐보다 높지만 특히 납, 카드뮴, 아연 및 비소가 높은 값을 나타낸다(Fig. 5).

안동호 퇴적물 중 수은 및 중금속의 분포특성 연구에 의하면 총 수은 농도는 우리나라 주요 하천의 퇴적물의 평균 농도보다 높았고 납, 아연, 카드뮴 등 주요 중금속의 농도는 미국국립해양대기관리청(US NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1999)의 기준보다 높게 나타났다(Park *et al.*, 2012). 낙동강 수계 표층 퇴적물을 대상으로 중금속 함량 분석 결과를 미국 퇴적물 분류 기준과 비교한 결과 Zn과 Ni이 기준치를 초과한 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2017). Lee *et al.* (2014)의 금강수계 퇴적물 중 금속류 분석결과와 비교하면 안동댐 퇴적물의 경우 분석항목 대부분 높은 값을 나타내며 임하댐 퇴적물의 경우는 비소가 약간 높은 것을 제외하고 거의 비슷한 값을 나타낸다. 안동댐 퇴적물 중 주요 중금속 농도는 미국의 국립해양대기관리청의 SQGs (Sediment Quality Guidelines)의 ERL (Effect Range Low, 최소 무영향 농도) 기준(비소 8.2 mg/kg, 카드뮴 1.2 mg/kg, 크롬 81 mg/kg, 구리 34 mg/kg, 납 46.7 mg/kg, 수은 0.15 mg/kg, 니켈 20.9 mg/kg, 아연 150 mg/kg)을 구리와 크롬을 제외하고 모두 초과하는 것으로 나타났으며, 임하댐의 경우 아연, 카드뮴, 납, 크롬, 구리가 초과하지 않는 것으로 나타났다. 부유물질에 대해 이 기준을 적용할 경우 초과하지 않는 항목은 안동댐 유입부유물질은 크롬이, 임하댐은 수은과 납이, 와야천의 경우 수은, 비소, 카드뮴, 납, 니켈, 크롬, 구리 등이다. 이 기준을 적용할 경우 안동댐과 임하댐의 퇴적물 및 유입 부유물질은 상당히 높은 오염도를 나타낸다.

## 결 론

지금까지의 안동댐의 퇴적물에 대한 연구결과에 의하면 안동댐 퇴적물은 호소 퇴적물 기준을 적용하면 매우 나쁨 수준이다. 부유물질에 대한 중금속 분석결과를 비교해 보면 안동댐이 임하댐보다 수는 6.9배, 비소 3.8배, 아연 2.8배, 카드뮴 8.0배이며 비슷한 값을 나타내는 원소는 납(1.6배), 니켈(1.4배), 철(1.0배), 망간(1.2배), 구리(1.1배)로 안동댐으로 유입되는 부유물질이 임하댐으로 유입되는 부유물질보다 중금속 농도가 매우 높다. 퇴적물의 중금속 농도도 안동댐이 임하댐보다 수는 3.1배, 비소 2.5배, 아연 6.3배, 카드뮴 60.0배 납 2.6배 높다. 따라서 안동댐 내 퇴적물의 중금속 농도가 높은 것은 안동댐으로 유입되는 부유물질의 중금속 농도가 높기 때문인 것으로 판단된다.

안동댐으로 유입되는 부유물질과 댐 내 퇴적물의 중금속 농도를 비교해 보면 대체로 부유물질이 퇴적물보다 약간 높거나 비슷한 값을 나타낸다. 안동댐 내 퇴적물의 높은 중금속 농도는 현재에도 계속 유입되는 부유물질의 중금속 농도가 높기 때문에 현재 상태로 계속 유지될 것으로 판단된다.

임하댐의 경우 유입되는 부유물질이 댐 내 퇴적물의 중금속 농도가 대부분의 항목에서 높은 값을 나타내기 때문에 현재와 같은 부유물질이 계속 유입될 경우 퇴적물의 중금속 농도는 현재보다 높아질 가능성이 충분한 것으로 판단된다.

오염원이 없는 와야천의 부유물질의 중금속 농도가 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질에 비해 낮은 값을 나타낸다. 안동댐과 임하댐으로 유입되는 부유물질의 중금속 농도가 높은 것은 댐 상류 지역에 분포하는 폐금속 광산 및 그 외 오염원으로 작용할 수 있는 다양한 시설이 원인인 것으로 사료된다. 따라서 안동댐과 임하댐 퇴적물의 중금속 오염도를 감소시키기 위해서는 중금속 농도가 높은 부유물질의 발생원을 규명하고 이에 대한 관리 및 대책 방안을 마련하는 것이 필요하다.

## 사 사

이 논문은 환경부 대구지방환경청의 지원사업에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.



## REFERENCES

- Alloway, B.J., Thornton, I., Smart, G.A., Sherlock, J.C., and Quinn, M.J. (1988) Metal Availability. *Science of the Total Environment*, 75, 41-69.
- Burton, G.A. Jr. (2002). Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3, 65-76.
- Choo, C.O., Koh, E.Y., Oh, S.J., Lee, S.W., Kim, B.K., Lee, J.E., and Kim, Y.K. (2006) Environmental geological characteristics of suspended matter and turbidity water at Gachang Dam in 2004. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 19, 49-61 (in Korean with English abstract).
- Han, M.Y., Lee, I.R., Kim M.H., and Kim, Y.J. (2002) A study on pH and electrical conductivity of harvested rainwater in Seoul. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 16, 80-86 (in Korean with English abstract).
- Hwang, H.M., Yi, G.H., Kim, M.Y., Kim, D.J., and Kim, Y.K. (2011) Measures to improve water quality of Lake Euiam by controlling the incoming pollutants to the Lake. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 25, 783-790 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Jeong, G.Y. (2006) Geology in drainage field of the Imha Dam and origins of high turbid water in the Imha Lake, Andong. *Economic and environmental geology*, 39, 771-786 (in Korean with English abstract).
- Kim J.J., Jung, Y.S., Kim, J.G., Lee, S.W., and Kim, Y.H. (2007) Studies on variations of turbidity with strength of rainfall and mineralogy of turbidity-causing materials in Imha and Andong-Dam. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 20, 3, 213-222 (in Korean with English abstract).
- Kim, S., Ahn, J.M., Jung, K.Y., Lee, K.C., Kwon, H.G., Shin, D.S., and Yang, D.S. (2017) Contamination assessment of heavy metals in river sediments (For the surface sediments from Nakdong River). *Journal of Korean Society on Water Environment*, 33, 460-473 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.B., Hong, S.H., Kim, D.H., Huh, I.A., Huh, Y.J., Khan, J.B., Oh, D.Y., Kim, K.Y., Lee, Y.J., Lee, S.H., and Shin, H.S. (2014) Measurement of metals in sediment of the Geum-River and their correlation. *Analytical Science & Technology*, 27, 11-21 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.S., Kim, B.Y., Kim, J.H., and Hong, S.G. (1999) Chemical composition of rainwater in Suwon and Ansong area. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 18, 169-173 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Min, H.I., Son, S.C., Kim, G.S., and Lee, J.C. (2008) Estimation of pollution status of heavy metals in industrial complex drainageway sediment. *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, 18, 69-78 (in Korean with English abstract).
- Maria, C.S. Minello, A.L., Marco, A.U. Martines, L.C., Ademir, D.S., Pedro, M.P., and Gustavo, R.C. (2009) Sediment grain size distribution and heavy metals determination in a dam on the Paraná River at Ilha Solteira, Brazil. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 44, 861-865.
- Oh, H.S., Shin, W.S., Kim, J.H., Hwang, I.S., Hur, J., Shin, H.S., Oh, J.G., Huh, I.A., and Kim, Y.H. (2010) Comparison of particle size analysis and distribution of heavy metals in river and lake sediments. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, 11, 15-23 (in Korean with English abstract).
- Park, J.J., Kim, K.J., Yoo, S.M., Kim, E.H., Seok, K.S., Huh, I.A., and Kim, Y.H. (2012) Distribution of heavy metals and mercury in sediment from the lake An-dong. *Analytical Science & Technology*, 25, 441-446.
- Pekey, H., Karakas, D., Ayberk, S., Tolun, L., and Bakoglu, M. (2004) Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946-953.
- Thornton, I. (1983). *Applied environmental geochemistry*. Academic Press, London, 501p.
- US NOAA (1999) Sediment quality guidelines developed for the National Status and Trends Program.

---

Received May 24, 2019, Revised June 17, 2019, Accepted June 17, 2019, Associate Editor: Chul-Min Chon