

안동·임하호 저니토의 토양 성분과 중금속 용출 특성

Soil Components and Elution Characteristics of Heavy Metals in Sediments of Andong and Imha Reservoir

서을원¹⁾ · 김연정²⁾ · 백승철[†]

Seo, Eulwon · Kim, Younjung · Baek, Seungcheol

ABSTRACT : In this study, it was analyzed the soil components and elution characteristics of heavy metal ions in sediment samples to examine the effect of sediments embedded in Andong and Imha reservoirs on water quality. Major elements of sediments were shown to be Al, Si, K, and Fe by EDS analysis and major soil components of the collected 6 different sediments were illite (I), kaolinite (Ka), quartz (Q) and feldspar (F). And especially quartz took up a considerable part of sediments by XRD analysis. The total concentrations of Zn, As, Cr, Cu and Pb in sediments of Andong reservoir were relatively higher than those of Imha reservoir. The elution property of heavy metal from sediments had various aspects according to pH. Among the heavy metals in Andong reservoir sediments, As and Zn were significantly eluted at pH 6 compared with the other heavy metals. In the case of the adsorption tests using the sediments, the adsorptive capacities of Zn, Cd and Cu were very weak, on the while those of Pb and Cr were high.

Keywords : Imha reservoir, Andong reservoir, Heavy metal ion, Sediment

요 지 : 본 연구는 안동지역에 소재하는 안동 임하호 저니토가 호소수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 안동호와 임하호 6개 지역에서 채취한 저니토의 토양성분과 중금속 용출 특성을 분석하였다. 대부분의 저니토는 illite(I), kaolinite(Ka), quartz(Q) 및 feldspar(F)로 구성되어 있다. 저니토에 포함된 중금속 중 아연(Zn), 비소(As), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb)의 농도는 임하호에 비하여 안동호에서 상대적으로 높게 나타났다. 특히 안동호의 저니토에서는 다른 중금속들에 비해 비소(As)와 아연(Zn)의 용출이 크게 나타났다. 저니토를 이용한 흡착실험에서는 아연(Zn), 카드뮴(Cd) 및 구리(Cu)의 흡착은 적게 일어난 반면 납(Pb)과 크롬(Cr)은 높은 흡착력을 보여주었다.

주요어 : 임하호, 안동호, 중금속이온, 저니

1. 서 론

최근 우리나라는 댐 상류지역의 환경 기초시설의 부족으로 생활하수와 과다 농약 살포로 인한 유해 중금속이 충분히 처리되지 않은 상태로 방류됨으로써 수질이 악화되고 있는 실정이다. 이와 같은 오염물의 댐 내 유입은 침강성 고형물질이 퇴적되어 저니토를 형성하고 저니토 중에 함유된 오염물질은 수질의 환경 변화에 따라 재용출됨으로써 수질 오염의 원인이 되고 있다(권오역, 1994). 특히 퇴적된 저니토에 함유된 중금속과 인(P)은 다른 오염원과 달리 극히 분해가 어려우며, 안정한 착화합물로 생성되어 장기간 축적 될 뿐만 아니라 수중 생태계의 먹이 연쇄에 의하여 인체에까지 영향을 미친다(권오역, 1994; 김동운 등, 1992; 김진하 등, 2005).

저니토 내의 중금속은 점토질 등에 의한 미립자의 표면

에 흡착된 형태로 존재하기도 하며, 탄산염과 화학결합을 이루기도 한다. 또한 철과 같은 산화물 또는 수산화물 형태로도 존재하기도 한다. 그 외에 농약과 비료로부터 유출된 유기물과 결합된 형태(Miller 등, 2003; Xue 등, 2003)로 존재하는 등 다양한 형태로 존재하기 때문에 호소 내 수중의 pH 변화, 조류의 발생 및 계절에 따른 Turn over 현상 등에 의하여 다양한 형태로 용출된다(권오역, 1996). 산성비(Frei 등, 2000; Kjoller 등, 2004)로 인하여 이와 같은 중금속 용출이 심화되고 있으며, 현문식 등(1999)에 의하면 저니토 내의 중금속은 물리·화학적 요인에 따른 용출 외에 혐기성 호흡세균과의 상관관계와도 밀접한 관계가 있으므로 이와 관련된 선행 연구의 필요성이 있다.

또한 저니토의 유해성을 인식하여 저니토의 복원방안이 다양하게 연구되고 있다. 이창수(2000)은 퇴적 저니토 일부를 제거한 후 표면 피복을 하는 방안과 생석회나 시멘트

1) 비회원, 안동대학교 생명과학과 교수

2) 비회원, 안동대학교 응용화학과 대학원

† 정회원, 안동대학교 토목공학과 교수(E-mail : civilb@andong.ac.kr)

등으로 안정화 후 표면 피복을 하는 방법 등을 연구하였다. 국내에서는 준설에 의한 방법이 가장 많이 이용되고 있으나, 준설 중의 탁도가 증가할 뿐만 아니라 오염물질의 재용출에 따른 2차 오염으로 인한 또 다른 문제점들도 발생하고 있다(김건하 등, 2006). 효과적인 저니토의 복원 방법은 저니토가 발생된 지역 오염원의 유입 경로 파악과 저니토 형성 시기 및 중금속 오염 실태 등을 정확히 파악하고 이를 제어하기 위한 모델 연구(Van Der Grift 등, 2008)와 복원 방법을 계획할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 저니토를 활용할 수 있는 기초연구를 위하여 안동호와 임하호의 호소 상류지역과 댐 축을 기점으로 저니토의 특성을 파악하고, 중금속 함량 및 용출 특성을 규명하였다. 또한 계절에 따라 호소의 pH 변화가 수반되므로 pH 별 중금속 용출실험을 모델링 하였으며, 저니토에 의한 중금속 흡착 정도를 분석하였다.

2. 시료 및 분석방법

2.1 시료 채취 방법

본 연구의 저니토 채취는 2006년 8월, 9월, 10월 총 3회에 걸쳐 안동호에서는 댐축(Andong Damchug, AD)과 서부리(Seobu-ri, AS) 2개 지점에서 조사를 실시하였다. 또한 임하호는 댐축(Imha Damchug, ID), 중평리(Jungpyeong-ri, IJ), 도수로(Dosuro, IS), 지레리(Jirye-ri, IZ) 4개 지점에서 조사를 실시하여 안동호와 임하호에서 총 6개 지점을 선정하여 저니토를 채취하였다(그림 1).

채취 방법으로는 배로 각 지점 호소의 중앙으로 이동하여 Ponar Grab(Wildco/USA 196-B12)에 의해 3 지점에서 채취한 후, 균일하게 혼합하여 사용하였다. 저니토 채취

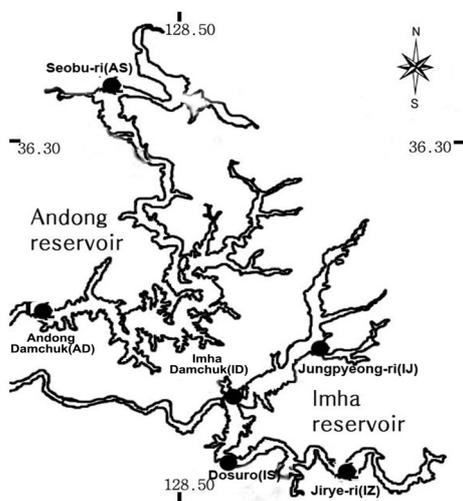


그림 1. 안동과 임하호의 시료채취 지점

지점은 각각의 댐 상류 지역과 하류 지역을 구분하여 선정하였다. 또 저니토를 채취할 때 같은 지역에서 1ℓ 무균 채수병을 이용하여 호소수 바닥의 표면층으로부터 채수하였으며, 채수 후 분석까지의 운반과 저장은 아이스박스와 차량용 냉장고를 이용하여 저온상태를 유지하였다.

2.2 저니토의 토양분석과 총 금속함량 분석

채취한 저니토의 전처리에는 이물질을 제거한 후 각각 유리접시 위에 균일한 두께로 하여 건조기에서 $110\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 8시간 건조하여 완전히 수분을 제거하여 건조시켰다. 건조된 시료는 막자사발로 실험에 필요한 일정한 양을 1차 분쇄하여 2mm 표준망체(No. 8)에 통과시킨 후 통과된 시료를 다시 막자사발과 막자를 이용하여 2차 분쇄하였다. 분쇄한 시료는 눈금간격 0.16mm 표준망체(No. 100)를 통과시켜 균일하고 부드럽게 만들어 시료로 사용하였다.

토양성분 분석을 위한 저니토는 위에서 제시한 전처리 방법을 이용하여 $160\mu\text{m}$ 이하 입자들로 분석 시편을 만든 후 에너지 분산형 X-선 측정기(JSM-6300, Jeol)를 이용하여 시료에 함유되어 있는 원소를 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 저니토의 성분은 X-선 회절기(D/MAX RAPID-S, Rigaku)를 이용하여 분석하였다.

저니토의 중금속 총 함량을 분석하기 위해서는 저니토를 전처리한 시료를 이용하여 균일하게 혼합 후 0.1g을 취하여 혼합산(HCl : HNO₃ = 9 : 3, Merck) 4ml에 넣고 초음파 용해장치(microwave digestion system, Prolabo Microdigestion 3)에서 120°C 에서 20분간 분해하였다. 분해된 시료는 50ml 정량병에 희석하여 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 아연(Zn)을 유도결합 플라즈마 방출분광기(Flame Modula S, Spectro)로 분석하였다. 또한 납(Pb), 비소(As)의 분석은 원자 흡수 분광계(Spectra A-220FS, Varian)를 이용하였으며, 호소수의 중금속 함량 분석도 호소수를 GF/C 유리섬유여지로 여과하여 유도결합 플라즈마 방출분광기와 원자 흡수 분광계로 측정하였다.

2.3 저니토의 pH별 중금속 용출 및 흡착분석

각 pH별 중금속 용출 실험은 위에서 제시한 전처리 과정을 거친 후 500ml 삼각플라스크에 저니토를 각각 10g 넣고 pH 완충용액 pH 6, pH 7, pH 8, pH 9, pH 10을 각각 200ml를 채워서 진탕기를 이용하여 분당 100회, 진폭 5cm에서 24 시간 동안 반응시켰다. 반응시킨 시료는 GF/C 유리섬유여지로 여과하여, 유도결합 플라즈마 질량분광기를 이용하여 용출된 중금속을 분석하였다.

저니토의 중금속 흡착 정도 실험은 위와 같은 방법으로

전처리 과정을 거친 후 구리, 아연, 납, 크롬 및 카드뮴을 5mg/l 혼합액 200ml에 저니토 10g을 넣고 진탕기를 이용하여 분당 100회, 진폭 5cm, 온도 30°C에서 24 시간 동안 흡착시켰다. 흡착 과정을 거친 후 GF/C 유리섬유로 여과하여, 구리, 카드뮴, 크롬, 아연은 유도결합 플라즈마 방출 분광기로 분석하였으며, 납은 원자 흡수 분광계를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 저니토의 중금속 함량

안동호와 임하호 지역의 저니토 중금속 함량을 분석한 결과 대부분의 지역에서 다양한 중금속이 검출되었다. 저니토 중금속 함량 분석 결과는 그림 2와 같다. 그림 2를 보면 지역별로 임하호 보다 안동호 지역의 저니토에서 다소 높은 중금속 함량을 보였다. 특히 아연과 납의 함량이 약 1.5배 정도 안동호 지역의 저니토에서 높게 나타났으며, 크롬, 구리 및 비소의 함량 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다. 안동호와 임하호의 전반적인 저니토의 중금속 함량은 아연과 납이 47~100mg/kg 및 22~89mg/kg으로 분포가 크게 나타났으며, 크롬 3.5~10mg/kg, 구리 1.6~4.3mg/kg, 비소 1.5~9.1mg/kg으로 다소 낮게 나타났다.

이와 같이 아연과 납의 함량이 높게 나타난 것은 댐 상류 수계 지역으로부터 유입되어 저니토에 흡착 및 농축된 것으로 판단된다.

3.2 저니토 시료의 성분 분석

저니토의 성분은 알루미늄(Al), 규소(Si), 칼륨(K), 철(Fe) 원소로 이루어 졌으며, 규소(Si)가 전체 50% 이상으로 가장 크게 나타났다(표 1). 저니토의 XRD 분석 결과

illite(I), kaolinite(Ka), quartz(Q), feldspar(F)로 이루어져 있으며, 모든 지역에서 quartz와 feldspar는 저니토 시료에서 공통적으로 나타났으며, 그 중 quartz가 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

그림 3은 안동호와 임하호 저니토의 XRD 분석 결과이다. 분석결과 안동 서부리(AS) 저니토는 다른 지역 저니토에 비해 illite의 함량이 비교적 높게 나타났다. illite는 다른 광물질에 비하여 중금속 흡착능이 크기 때문에 호소 상류로부터 유입된 중금속을 다량 함유할 것으로 판단되며, 이는 중금속 용출 실험과 흡착실험에서도 유사한 결과가 나타났다.

안동 댐측(AD) 저니토에서는 feldspar의 함량이 상대적으로 적게 나타났다. 그러나 안동호에 비하여 임하호의 저니토에서는 feldspar의 함량이 상대적으로 높게 나타남으로서 호소의 탁도 유발에 요인으로 작용하는 광물질이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 임하댐 측 저니토 시료에서는 kaolinite(Ka)가 다른 지역의 저니토에 비하여 상대적으로 높게 나타났으며, 이 또한 탁도의 원인 물질로 판단된다. 이와 같은 결과는 임하호 탁도 현상과도 관계가 있을 것으로 판단된다.

시료 채취 지역의 주변 토양의 광물질 성분과 그 지역 저니토의 광물질을 비교해 보면 저니토에서 vermiculite가 나타나지 않는 점과 feldspar가 상대적으로 적게 나타나는 특성을 보이고 있다. 이 같은 현상은 퇴적층에 의해 생성된 vermiculite와 feldspar의 경우 quartz에 비하여 입자들이

표 1. 안동과 임하호의 저니토 성분

Element	AD	AS	IS	ID	IJ	IZ
Al ₂ O ₃ (%)	21.0	20.8	19.0	18.9	20.4	18.7
SiO ₂ (%)	55.6	59.1	62.6	60.3	63.0	62.4
K ₂ O (%)	4.3	5.3	5.0	4.6	4.6	4.5
Fe ₂ O ₃ (%)	19.2	14.8	13.4	16.2	12.0	14.4

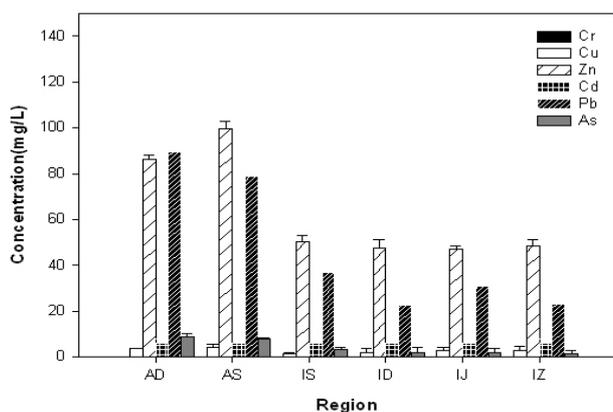


그림 2. 안동과 임하호 저니토의 중금속 함량 비교

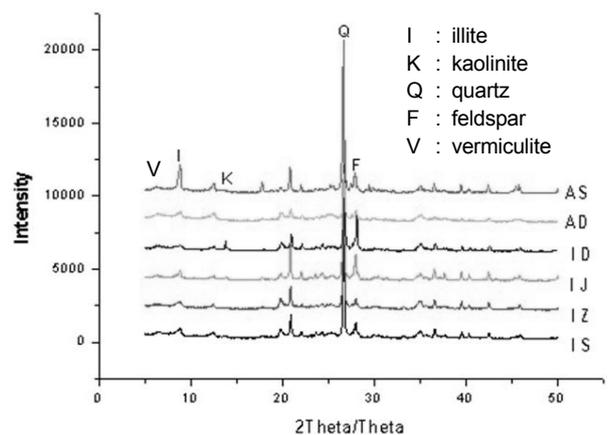


그림 3. XRD 분석 결과

상대적으로 작고, 비중이 낮아 저니토로 침전되기 보다는 호소 유출에 의한 유실에 기인하는 것으로 생각된다.

3.3 저니토 시료의 중금속 용출 결과

임하호와 안동호는 계절적인 요인에 의하여 수중의 pH의 폭이 크게 나타난다. 대부분 평균 수중의 pH는 7.1~8.1로서 일정하게 유지되지만 부분적으로는 6~7월 장마에 의한 수중의 pH가 6.0~6.5에 이르며, 8~9월에는 조류의 성장에 의한 수중의 pH가 10.0~10.5까지 이른다(공석기 등, 1997; 한국수자원공사, 2004; 박재충 등, 2005). 그러므로 본 연구에서는 임하호와 안동호의 저니토로부터 수중의 pH 변화에 따라 용출되는 중금속 함량을 분석하였다. pH 변화에 따른 중금속 용출 분석 결과는 그림 4에 제

시되어 있다.

그림 4에서와 같이 대부분의 중금속이 임하호 저니토에 비해 안동호 저니토로부터 용출되는 함량이 대체적으로 크게 나타났으며, 임하호의 경우 같은 호소 내에서도 댐의 상류지역에 비하여 댐측에서 채취한 저니토로부터 중금속 함량이 많이 발생되어진 것 또한 저니토들이 호소의 흐름에 따라 댐측으로 유입된 것으로 예측되어진다. 이와 같이 유입된 저니토들이 댐 외부로 유출되기도 하지만 상당량이 퇴적되어 농축된다는 김건하 등(2006)의 연구 결과와 일치하였다.

주요 용출 중금속으로는 비소, 아연, 구리가 크게 나타났으며, 부분적으로는 크롬, 카드뮴, 납도 용출되었다. 아연과 비소는 수중의 pH가 9 이상으로 증가함에 따라 최고

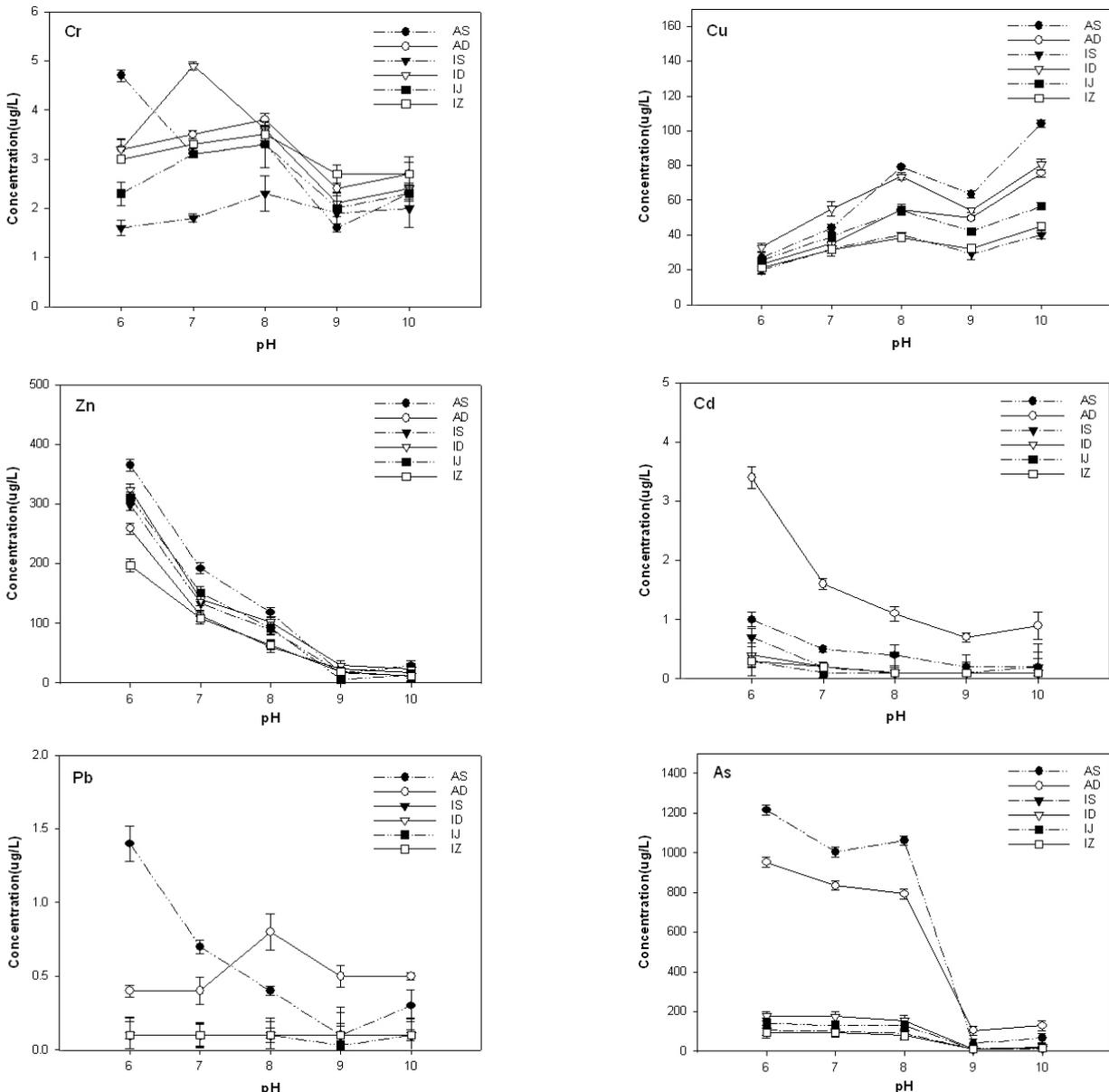


그림 4. 안동과 임하호의 pH 변화에 따른 용출 특성

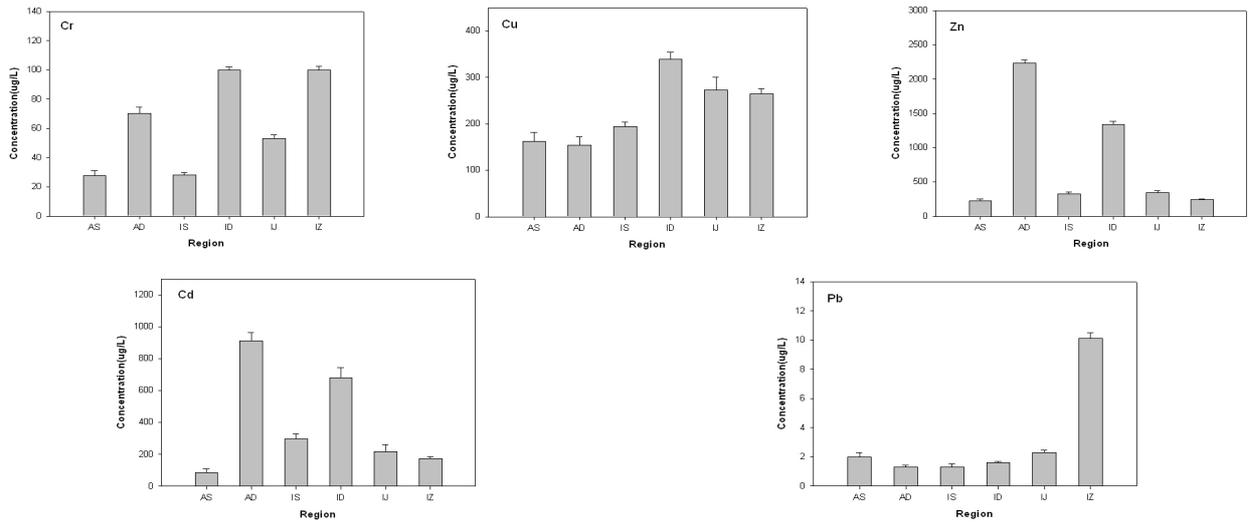


그림 5. 크롬, 구리, 납 및 카드뮴의 흡착실험 결과

90% 이상 용출 함량이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 낮은 pH에서는 용출량이 크게 증가하고 있다. pH가 증가함에 따른 용출된 중금속이 수산화물로 재침전되기 때문에 판단되며 송수옥 등(2004)의 연구결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 구리는 수중의 pH가 증가함에 따라 수중에 용출되어지는 함량이 다소 높아지는 경향을 보이고 있으며, 이것은 구리의 수산화물의 용해도 상수(Ksp) 값이 100mg/l 이하의 농도에서는 pH의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 안동호 저니토들로부터 pH 6에서 비소 함량이 가장 크게 나타난 현상은 임하호 일대에 비하여 안동호 인근 및 상류 지점에 다량의 경작지 분포를 의미하고 있다고 판단된다. 특히 과도한 농약 살포로 인한 홍수기 때 호소내로 유입되어 저니토에 농축된 것으로 사료된다.

3.4 저니 시료의 중금속 흡착 결과

각 지역의 저니토를 이용한 중금속 흡착 정도 실험은 구리, 아연, 납, 크롬 및 카드뮴에 대하여 실험하였다. 납과 크롬은 5ppm에서 0.1ppm 이하로 제거 되어 98% 이상 제거 효과를 보였다. 안동호와 임하호의 댐 축에서 채취한 저니토의 경우, 구리, 카드뮴 및 아연이 다른 지역의 저니토에 비해 중금속 흡착 제거능력이 떨어지는 경향을 보였다. 이것은 상대적으로 이미 흡착되어진 중금속의 함량이 크기 때문에 사료된다. 호소의 상류지역 저니토에 비해 상대적으로 하류지역인 댐축에 위치한 저니토의 경우 상대적으로 중금속 함량이 많아 흡착작용이 저하되는 것으로 판단된다. 이와 같은 경향은 중금속 용출 실험 결과에서 보는 바와 같이 각 호소의 상류지역의 저니토에 비하여 댐축 저니토에서 중금속 용출이 더 크게 나타나는 결과와 관계가 있다고 사료된다.

4. 결 론

안동호와 임하호의 저니토가 호소의 미치는 영향을 분석하기 위하여 저니토의 특성을 분석하고, 중금속 함량 및 용출특성을 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 임하호 보다 안동호의 저니토에서 아연과 납의 함량이 약 1.5배 정도 높게 나타났으며, 크롬, 구리 및 비소의 함량 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 안동호의 상류지역에 아연과 납을 포함하는 상대적 지반환경 특성에 의해 댐 상류 수계 지역으로부터 유입되어 저니토에 흡착 및 농축된 것으로 판단된다.
- (2) 안동호와 임하호 저니토의 XRD 분석 결과 안동 서부리 저니토는 다른 지역 저니토에 비해 illite의 함량이 비교적 높게 나타났다. 또한 안동호에 비하여 임하호의 저니토에서는 feldspar와 kaolinite의 함량이 상대적으로 높게 나타남으로 호소의 탁도 유발에 요인으로 작용하는 광물질이 상대적으로 높음을 알 수 있었다.
- (3) 대부분의 중금속이 임하호 저니토에 비해 안동호 저니토로부터 용출되는 함량이 크게 나타났으며, 주요 용출 중금속으로는 비소, 아연, 구리가 크게 나타났다. 또한 아연과 비소는 수중의 pH가 증가함에 따라 용출되어지는 함량이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 낮은 pH에서 용출량이 크게 나타나고 있다.
- (4) 다른 중금속과 달리 구리는 수중의 pH가 증가함에 따라 수중에 용출되어지는 함량이 다소 높아지는 경향을 보이고 있었다. 또한 안동호 저니토는 pH 6에서 비소 함량이 가장 크게 나타난 것은 임하호보다 안동호 지역에 다량의 경작지가 분포하고 있어 농약 살포로 홍

수기 때 호소내로 유입되어 저니토에 농축된 것으로 판단된다.

- (5) 각 지역의 저니토를 이용한 중금속 흡착 정도 실험 결과 납과 크롬은 5ppm에서 0.1ppm 이하로 제거 되어 98% 이상 제거 효과를 나타냈다. 그러나 안동호와 임하호의 댐 축에서 채취한 저니토의 경우 중금속 흡착 제거능력이 떨어지는 경향을 보였다. 이것은 호소의 상류지역 저니토가 하류지역인 댐축에 위치한 저니토 보다 상대적 중금속 함량이 많아 흡착작용이 저하되는 것으로 판단된다.
- (6) 안동호와 임하호 저니토의 경우 부분적으로는 중금속 흡착능력이 우수하지만 수중의 pH가 7 이하인 경우 안동호는 비소가 최고 800ppb 이상이며, 아연은 안동호와 임하호 대부분 지역에서 200ppb 이상까지 용출됨으로써 향후 지속적인 이에 대한 대책연구가 이루어질 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 안동대학교 특성화추진지원사업비로 지원받았으며, 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 공석기, 안승구(1997), 호기성 고을 안정조에서 빛의 조사기간과 pH가 조류의 영양물질 제거에 미치는 영향, *한국환경과학회지*, Vol. 6, No. 2, pp. 141~151.
2. 권오역(1994), 금호강하류의 저니중 중금속 함량분포, *한국환경위생학회지*, Vol. 20, No. 4, pp. 45~52.
3. 권오역(1996), 오염된 하천 저니에 함유된 중금속 존재형태, *한국환경위생학회지*, Vol. 22, No. 2, pp. 25~31.
4. 김건하, 정우혁, 최승희(2005), 호수의 물 순환이 저니의 인 용출율에 미치는 영향, *한국물환경학회지*, Vol. 21, No. 6, pp. 595~601.
5. 김건하, 정우혁, 최승희(2006), 호수 저니의 인 용출 제어를 위한 모래 캡핑, *대한토목학회논문집B, 대한토목학회*, Vol. 26, No. 1B, pp. 125~130.
6. 김동윤, 이상봉, 황덕홍(1992), 부산, 경남 지역의 댐 저니로부터 인 용출에 관한 연구, *J. KSWPRC*, pp. 59~66.
7. 박재충, 박정원, 김대현, 신제기(2005), 안동호에서 환경요인과 식물플랑크톤의 시공간적 변동, *한국조류학회지*, Vol. 20, No. 4, pp. 333~343.
8. 송수옥, 정호진(2004), pH변화에 따른 중금속 수용액의 반응 메커니즘, *한국수처리학회지*, Vol. 12, No. 1, pp. 21~30.
9. 이창수(2000), 유형 중금속으로 오염된 저니의 복원방안, 2000년도 가을 학술발표회 초록집, *한국환경과학회*, Vol. 9, No. 2, pp. 180~181.
10. 한국수자원공사(2004), *임하다목적댐 관리연보 2003*, pp. 190.
11. 현문식, 장인섭, 박형수, 김병홍, 김형주, 이홍근, 권계경(1999), 시화호 저니(sediment)에서의 유기물 및 중금속 농도와 혐기성호흡세균과의 상관관계, *산업미생물학회지*, Vol. 27, No. 3, pp. 252~259.
12. Frei, M., Bielert, U. and Heinrichs, H.(2000), Effects of pH, Alkalinity and Bedrock Chemistry on Metal Concentrations of Springs in an Acidified Catchment (Ecker Dam, Harz Mountains, FRG). *Chem. Geol.* Vol. 170, pp. 221~242.
13. Kjeller, C., Postma, D. and Larsen, F.(2004), Groundwater Acidification and the Mobilization of Trace Metals in a Sandy Aquifer. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 38, pp. 2829~2835.
14. Miller, C. W., Foster, G. D. and Majedi, B. F.(2003), Baseflow and Stormflow Metal Fluxes from Two Small Agricultural Catchments in the Coastal Plain of the Chesapeake Bay Basin, United States. *Appl. Geochem.* Vol. 18, pp. 483~501.
15. Van Der Grift, B. and Griffioen, J.(2008), Modelling Assessment of Regional Groundwater Contamination due to Historic Smelter Emissions of Heavy Metals. *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 96, pp. 48~68.
16. Xue, H., Nhat, P. H., Gächter, R. and Hooda, P. S.(2003), The Transport of Cu and Zn from Agricultural Soils to Surface Water in a Small Catchment. *Adv. Environ. Res.* Vol. 8, pp. 69~76.

(접수일: 2008. 2. 28 심사일: 2008. 2. 29 심사완료일: 2008. 4. 7)