

안동·임하호에 서식하는 붕어(*Carassius auratus*) 조직 내 중금속 함량

김정숙·신명자·이정은·서을원*

안동대학교 자연과학대학 생명과학과

Received June 30, 2009 / Accepted October 22, 2009

Heavy Metal Contents In Tissues of *Carassius auratus* In Andong and Imha Reservoir. Jeong Sook Kim, Myung Ja Shin, Jong Eun Lee and Eul Won Seo*. *Dept. of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea* - Heavy metal contamination levels in Andong reservoir and Imha reservoir were measured with heavy metal contents in both water and sediment, and analyzed with heavy metal accumulation level in inhabitant fish, *Carassius auratus*, using an inductively coupled plasma spectrometer and an atomic absorption spectrometer. High levels of heavy metal contents in water, sediment and the tissues of *C. auratus* were detected. Likewise, relatively high levels of As were detected in water and sediment from Andong reservoir. In addition, higher levels of Cr, Cu, Cd and As content were detected in muscle and bone tissues of fish from Andong reservoir than those from Imha reservoir. As a result, the heavy metal content of water, sediment and inhabitant fish, *C. auratus*, in Andong reservoir was higher than Imha reservoir. We proposed that heavy metal contamination in water and inhabitant fish is attributed to various metals derived from abandoned mines and farmlands that are upstream of Andong reservoir.

Key words : *Carassius auratus*, heavy metal, sediments, Andong reservoir

서 론

안동댐과 임하댐은 대형 인공호로서 경상도 지역에 식수, 농업용수 및 공업용수로서 주로 이용되고 있으며 전력을 공급하고 있다. 안동호의 경우 유역은 2개시 3개군으로 태백시, 안동시, 봉화군, 영양군 및 울진군에 걸쳐있다. 유역내의 주요 경제 활동은 농·축산업이며, 태백시의 경우 광산업이 주종을 이루었으나 석탄 산업합리화 정책으로 대부분 폐광되었다. 봉화군은 여러 개의 휴·폐광된 납, 아연, 금, 은, 동 광산이 존재하고 있다. 이로 인해 폐광산의 침출수 등이 하천으로 유입됨으로써 안동호는 총인, 총질소 및 엽록소 농도로 볼 때 중영양호에서 부영양호 사이에 있는 것으로 보고되었다[7]. 또한 임하호 유역은 1개시 2개군으로 안동시, 영양군, 청송군을 포함하여 1,361 km²의 유역면적을 차지하고 있다. 영양군의 경우 채굴이 중단되었던 금, 은, 동, 아연 폐광산이 있으며, 청송군 지역에도 폐광된 금, 은, 동, 아연 광산이 존재하고 있으나 안동호 유역에 비해서는 매우 미비한 숫자에 지나지 않고 있는 청정 수역에 해당한다. 그러나 지질학적 구조에 영양지역은 고화가 덜 된 동화치층과 도계동층의 적갈색과 적색의 셰일과 알코스 사암 등이 호층을 이루며 점토광물을 많이 포함하고 풍화가 쉽게 일어나 탁수의 발생이 빈번하게 일어나고 있다[8].

금속광산의 선광시설에서 배출되는 중금속 오염물질들은

널리 산재되어 있고 휴·폐광산에 방치된 광재는 토양을 산성화시킬 뿐만 아니라, 각종 유해 중금속의 이온화를 촉진시킨다[6]. 더불어 폐광산에서 유출되는 광산배수는 낮은 pH를 가지며, As, Cd, Cu, Zn, Pb와 같은 독성이 높은 중금속을 다량 함유하고 있다[3]. 이러한 광산배수는 하천에 유입되어 수생태계 전반에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 생물농축의 단계를 거쳐 최종적으로 인간의 건강을 해치게 된다. 또한 광산배수의 중금속은 공침 또는 침전되어 퇴적물로 쌓이거나[2], 유입 하천 퇴적물에 농축된 중금속은 수중 저서생물에 지속적인 독성을 미치고 있으며, 퇴적물의 중금속 용출로 인한 대형 수질오염 사고를 유발하기도 한다[13].

Kim과 Han [10]은 서해안 지역의 오염 현황을 분석하기 위해 전북지역의 강과 저수지에 서식하고 있는 붕어에서 뼈, 근육, 어피를 이용하여 Pb, Cd, Cu, Zn 등의 중금속을 측정할 결과 Zn이 가장 높은 함량을 보이고 Cd가 가장 낮은 함량을 나타내어 90년도에 비하여 오염도가 매우 증가하여 이에 대한 대책이 필요하다고 하였다. 또한 Kim 등[11]은 입도와 유기물의 상관관계에서 유기물 함량이 높은 지역에서 영양염류와 중금속 역시 높은 분포를 나타냈다고 하였다. 수생태계로 유입된 중금속의 독성적 영향을 평가하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있지만, 수질에 대한 이화학적 분석만으로는 여러 가지 한계가 있다고 하였다. 이는 다양한 물질이 용존되어 있는 수질의 정확한 분석이 쉬운 일이 아니며 이들 물질의 혼합에 따른 상호작용 측면을 고려해야 하기 때문이다[4]. 그래서 생물체들을 대상으로 한 오염평가 기법들은 생물에 대한 독성 기전 및 과거 오염에 대한 유용한 정보를 제공해줄 수 있다는

*Corresponding author

Tel : +82-54-820-5462, Fax : +82-54-820-7705

E-mail : ewseo@andong.ac.kr

상대적인 장점들을 갖고 있으며 이와 같은 유용성을 인식하고 최근에는 다양한 생물체들을 대상으로 효율적 수계오염평가를 위한 지표생물 및 지표생체물질의 개발을 위한 연구노력이 지속적으로 이루어지고 있다[1,5].

따라서 본 연구에서는 광산배수에 의해 비교적 영향을 많이 받고 있는 안동호와 이에 비해 영향을 덜 받고 있는 임하호의 수질, 저니 및 서식어종인 붕어(*Carassius auratus*)에 축적된 중금속의 함량을 측정하여 광산배수가 생물에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 어류 및 시료 채취

실험에 사용된 붕어(*C. auratus*)는 안동호 2개의 지점과 임하호 2개의 지점을 선정하여 5월, 7월, 9월(2005년 3회)와 8월, 9월, 10월(2006년 3회)에 걸쳐 2년간 채집하였다(Fig. 1). 채집은 3중자망(망목 10×10 mm, 25×25 mm)을 사용하여 설치 48시간 정치 후 수거하였다. 채집된 어류 중 붕어는 현장에서 Kim과 Park [9]을 참고하여 동정하였다. 동정 후, 즉시 실험실로 운반하여 외부 형태적 손상이 나타나지 않은 약 5년생 붕어(전장 272±20.22 mm, 체중 466.33±13.30 g) 30마리씩을 실험에 사용하였다.

저니는 어류의 채집 장소와 시기가 동일하며 저니의 채취는 보트를 이용하여 각 지점 호소의 중앙으로 이동하여 Ponar Grab (196-B12, Wildco, USA)을 이용하여 지점 내 3곳을 취한 후, 균일하게 혼합하여 사용하였다. 또한 저니 채취 시 같은 지역에서 1 l 무균 채수병을 이용하여 호소수를 채수하였고

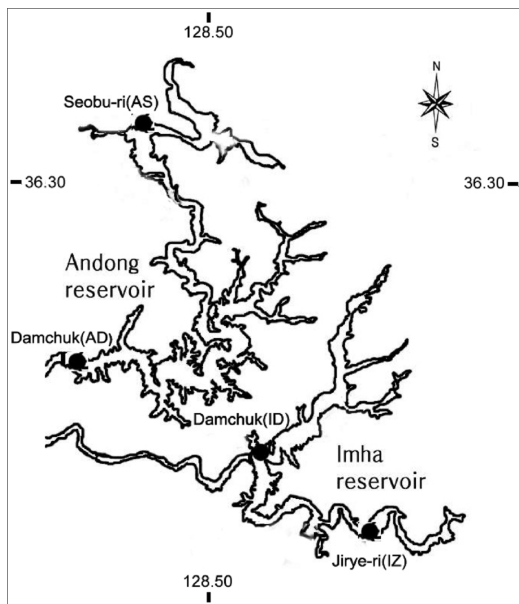


Fig. 1. Map showing the sampling sites in Andong and Imha reservoir.

채수 후 분석까지의 운반과 저장은 아이스박스과 차량용 냉장고를 이용하여 저온상태를 유지하였다.

분석 방법

수질 분석

호소수의 중금속 함량 분석은 GF/C 유리섬유여과지로 필터 후 Cu (구리), Cd (카드뮴), Cr⁶⁺ (크롬) 및 Zn (아연)은 유도결합 플라즈마 방출분광기(Flame Modula S, Spectro, Germany)에서 분석하였으며, Pb (납)과 As (비소)의 함량은 원자 흡수 분광계(SpectrAA-220FS, Varian, Australia)를 이용하여 측정하였다.

저니 분석

채취한 저니의 전처리는 이물질을 제거한 후 각각 유리접시 위에 균일한 두께로 펼쳐 110°C의 오븐에서 8시간 건조하여 완전히 수분을 제거 하였다. 수분을 제거한 후 건조된 시료는 막자사발로 실험에 필요한 일정한 양을 1차 분쇄하여 2 mm 표준망체(#8)에 통과시킨 후 통과된 시료를 다시 막자사발과 막자를 이용하여 2차 분쇄하였다. 분쇄한 시료는 눈금간격 0.16 mm 표준망체(#100)를 통과시켜 균일하고 부드럽게 만들어 시료로 사용하였다. 저니의 중금속 총 함량은 상기에서 전처리한 시료 0.1 g을 취하여 혼합산(HCl: HNO₃=9:3, Merck) 4 ml에 넣고, 이를 120°C의 초단파 용해장치(Microdigestion 3, Prolabo, France)에서 20분간 분해하였다. 분해 된 시료는 50 ml 정량병에 희석하여 Cu, Cd, Cr⁶⁺ 및 Zn은 유도결합 플라즈마 방출분광기에서 분석하였으며, Pb과 As의 함량은 원자 흡수 분광계를 이용하여 측정하였다. 또한 저니의 성분 분석은 에너지 분산형 X-선 측정기(JSM-6300, Jeol, Japan)를 이용하여 저니에 함유되어 있는 원소를 분석하였다.

어류 분석

채집한 어류는 개체별로 비늘, 아가미, 근육, 뼈, 신장 조직을 적출하였으며, 증류수로 세척한 후 초음파 세척기(5210, Branson, USA)로 최대한 조직에 붙어 있는 이물질을 제거하였다. 각 시료는 -80°C에서 동결시킨 후 냉동건조하여 수분을 제거한 후 초음파 용해장치(Ethos Plus, Milestone, USA)를 이용하여 전처리하였다. 전처리 후 분해 된 시료는 50 ml 정량병에 희석한 후 측정하고자 하는 중금속 중 Cu, Cd, Cr⁶⁺ 및 Zn은 유도결합 플라즈마 방출분광기에서 측정하였으며, Pb과 As의 분석은 원자 흡수 분광계를 이용하였다.

통계처리

각 실험에서 얻어진 자료에 대하여 통계 프로그램 패키지(SPSS Inc., ver 12.0K, USA)를 이용하여 Levene의 등분산 검정과 평균의 동일성에 대한 T-검정을 통하여 각 실험 사이에 p<0.05를 유의차가 있는 것으로 간주하고 유의적인 차이를 조사하였다.

결과 및 고찰

최근 수질오염에 의한 환경문제가 심각한 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 중금속은 생활하수를 비롯하여 폐광산, 농업하수 및 각종 산업 활동을 통하여 발생되고 있다. 이러한 중금속이 토양이나 하천 및 지하수로 유입되면 수중 생태계를 파괴시키고 인간의 건강과 생활환경에 커다란 피해를 끼치게 된다. 특히 수중 생태계나 인간에 나쁜 영향을 주는 중금속이 우리 몸속에 유입되면 쉽게 배출이 되지 않고 주로 간, 지방 및 뼈 속에 농축된다. 따라서 수생생태계로 유입된 중금속의 독성적 영향을 평가하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있지만, 수질에 대한 이화학적 분석만으로는 여러 가지 한계가 있다. 이는 다양한 물질이 용존되어 있는 수질의 정확한 분석이 쉬운 일이 아니며 이들 물질의 혼합에 따른 상호작용 측면을 고려해야 한다[12]. 따라서 본 연구에서는 안동호와 임하호의 수질, 저니 및 서식어종인 붕어(*C. auratus*)를 이용하여 수중 환경 내 중금속의 오염정도와 서식 어종의 중금속 축적 정도를 알아보려고 하였다.

안동호와 임하호의 수질 내 중금속 함량의 경우 Cr, Cd와 As의 함량은 안동호에서 임하호 보다 높은 함량을 보이며, Zn과 Pb의 함량은 안동호에서 낮은 함량을 나타냈다. Cu 함량의 경우 안동호와 임하호에서 평균함량에서는 같으나 양호 지점들 간의 함량 차이가 큰 것으로 나타났다. As의 평균함량은 안동호에서 임하호 보다 4배 정도 높은 함량을 보이며, 수질 내 중금속 함량의 차이는 지점들 간에 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 1). 안동호와 임하호의 저니를 채취하여 용출된 중금속 함량을 측정된 결과 안동호와 임하호 저니 내 중금속 평균함량의 경우 Cu, Zn, Pb 및 As의 함량은 안동호에서 높은 함량을 나타냈으며, 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다. 특히 As의 평균함량은 안동호에서 5배정도 높은 함량을 나타냈으며, Cr의

함량은 안동호에서 낮은 함량을 보였으나 지점들 간의 함량 차이는 크지 않았다. 또한 Cd의 함량은 안동호와 임하호에서 6.0 mg/l로 나타났으나 안동호에서 표준편차의 함량차이가 큰 것으로 조사되었다(Table 2). 안동호와 임하호의 저니에 대한 원소 함량과 성분을 분석하기 위하여 SEM-EDS을 이용하여 분석한 결과 안동호와 임하호의 저니 대부분의 원소는 Al (알루미늄), Si (규소), K (칼륨), Fe (철)로 이루어 졌으며, Si가 전체 26~28% 로 가장 많은 함량을 나타냈다. 또한 안동호에서 Al, Si 성분이 높은 함량을 나타냈으며, K과 Fe은 유사한 함량을 나타냈다(Fig. 2). 따라서 본 연구의 결과 수질과 저니의 중금속 함량이 안동호에서 높은 것으로 나타나 이는 안동호 상류지역에 휴·폐광산이 많이 존재하는 것으로 보아 휴·폐광산을 통한 하천의 침출수 유입의 영향을 받은 것으로 생각된다.

어류의 부위에 따른 중금속 축적정도를 알아보기 위하여 아가미, 신장, 뼈, 비늘, 근육의 부분으로 나누어 각 조직의 중금속(Cr, Cu, Zn, Cd, Pb, As) 함량을 비교하였다. 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 조직 내 Cr의 함량은 안동호에 서식하는 붕어에서 임하호에 서식하는 붕어 보다 높은 함량을 보이며 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다. 또한 Cr의 함량이 안동호의 뼈 조직에서 0.545±0.0133 µg/g으로 높은 반면 임하호의 경우 아가미 조직에서 0.24±0.055 µg/g으로 높은 함량을 나타냈다(Fig. 3). 이는 임하호의 탁수입자와 함께 중금속이 아가미에 부착되어 임하호에 서식하는 붕어의 Cr 함량이 아가미 조직에서 높게 나타난 것으로 생각된다.

Cu의 함량은 안동호에 서식하는 붕어에서 높은 함량을 나타냈으며, 안동호에 서식하는 붕어의 비늘 조직에서 0.693±0.025 µg/g로 가장 높은 함량을 나타냈다. 또한 임하호에 서식하는 붕어의 아가미 조직에서 0.04±0.015 µg/g로 가장 낮은 함량을 나타내어 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다(Fig. 4).

Table 1. The contents of heavy metals in the water of Andong and Imha reservoir

| Region | Element | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Zn (mg/l) | Cd (mg/l) | Pb (mg/l) | As (mg/l) |
|----------------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|----------------|
| Andong Damchuk (AD) | | 0.0109±0.0001 | 0.0012±0.0002 | 0.0034±0.0019 | 0.0108±0.0001 | 0.46±0.255 | 0.0018±0.0002 |
| Andong Seobu-ri (AS) | | 0.0110±0.0001 | 0.0020±0.0009 | 0.0032±0.0014 | 0.0109±0.0001 | 0.47±0.2891 | 0.0011±0.0002 |
| Imha Damchuk (ID) | | 0.0105±0.0001 | 0.0018±0.0003 | 0.0081±0.0024 | 0.0104±0.0001 | 0.657±0.248 | 0.0002±0.00002 |
| Imha Jirye-ri (IZ) | | 0.0106±0.0001 | 0.0014±0.0001 | 0.0126±0.0008 | 0.0107±0.0001 | 0.637±0.128 | 0.0004±0.00002 |

The values are mean±SD (n=5). *p*<0.05 as compared to Andong and Imha reservoir and heavy metal.

Table 2. The contents of heavy metals in the sediments of Andong and Imha reservoir

| Region | Element | Cr (mg/l) | Cu (mg/l) | Zn (mg/l) | Cd (mg/l) | Pb (mg/l) | As (mg/l) |
|----------------------|---------|--------------|------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| Andong Damchuk (AD) | | 0.007±0.012 | 3.55±0.210 | 86.2±1.960 | 6.0±2.120 | 89.34±3.760 | 9.06±1.060 |
| Andong Seobu-ri (AS) | | 0.011±0.023 | 4.3±1.31 | 99.6±3.120 | 6.0±1.230 | 78.82±2.590 | 8.08±0.380 |
| Imha Damchug (ID) | | 0.0138±0.087 | 1.85±1.890 | 47.45±3.780 | 6.0±0.340 | 22.57±4.570 | 1.75±2.310 |
| Imha Jirye-ri (IZ) | | 0.0191±0.120 | 2.65±2.010 | 48.45±2.830 | 6.0±1.670 | 23.17±1.950 | 1.51±1.490 |

The values are mean±SD (n=3). *p*<0.05 as compared to Andong and Imha reservoir and heavy metal.

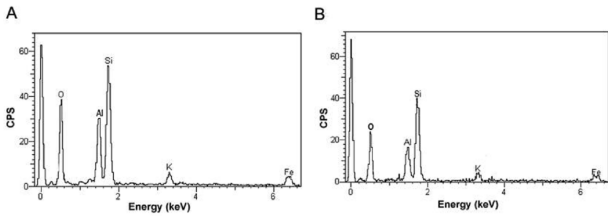


Fig. 2. The SEM-EDS measurement in sediments of Andong (A) and Imha (B) reservoir. Si was shown major element and Al also was abundant in sediments of Andong and Imha reservoir.

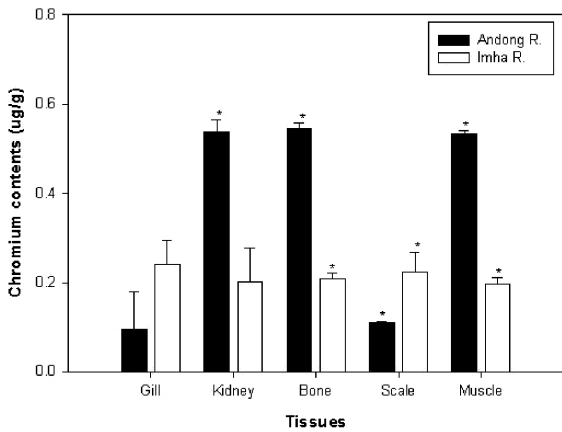


Fig. 3. Cr contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

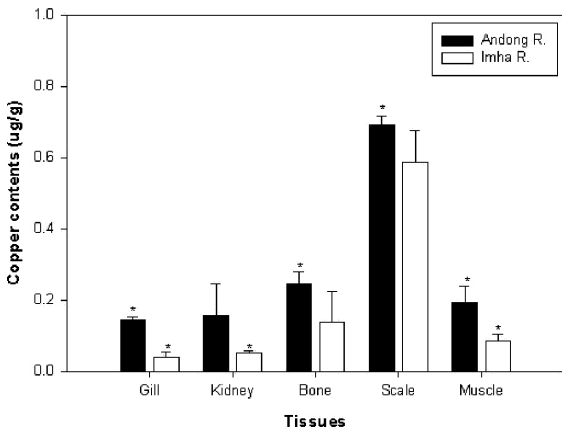


Fig. 4. Cu contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

조직 내 Zn의 함량은 안동호에서 높은 함량을 나타냈으나 함량의 차이는 적은 것으로 나타났다. Zn의 함량은 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 근육 조직에서 53 $\mu\text{g/g}$ 과 아가미 조직에서 27 $\mu\text{g/g}$ 으로 표준편차 차이만을 보일뿐 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 5). 본 연구의 결과 Cu의 함량은 비늘과 뼈 조직에서 높은 함량을 보이고 Zn은 근육 조직에서 높은

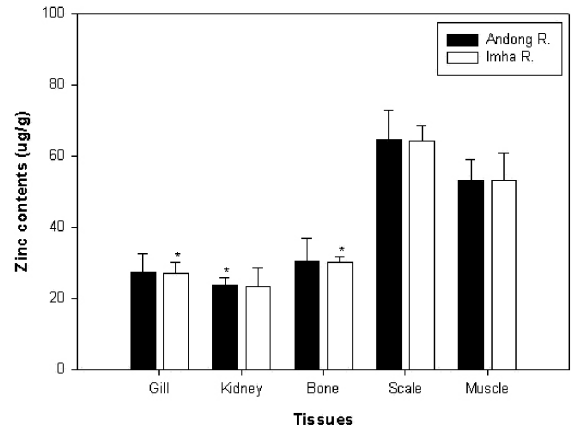


Fig. 5. Zn contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

축적량을 나타냈고 아가미 조직에서 낮은 함량을 나타냈다. 이는 치어나 자어의 경우에는 아가미 조직이나 간장 조직 등에서 급성적 축적이 나타날 수 있으나 자연 상태에서 5년 이상 자란 붕어는 증급속이 비늘과 뼈 및 근육 조직 등에 만성적으로 축적됨으로써 나타난 결과로 사료된다.

Cd의 함량은 안동호에 서식하는 붕어에서 높은 함량을 보이며, 안동호에 서식하는 붕어의 비늘 조직이 $0.943 \pm 0.125 \mu\text{g/g}$ 를 나타냈다. 또한 임하호에 서식하는 붕어의 신장 조직에서 $0.013 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮은 함량을 나타내어 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다(Fig. 6). Park 등[14]은 수중에서 Cd이 어류에 축적되는 기전의 경우 주로 아가미 호흡이나 체 표면의 점막을 통해 흡수된다 하였는데, 본 연구에서도 Cd의 함량이 비늘에서 높게 나타난 것은 Cd의 흡수 기전과 매우 밀접할 것으로 생각된다.

Pb의 함량은 안동호에 서식하는 붕어가 높은 함량을 보이며 안동호에 서식하는 붕어의 근육 조직은 $1.065 \pm 0.152 \mu\text{g/g}$

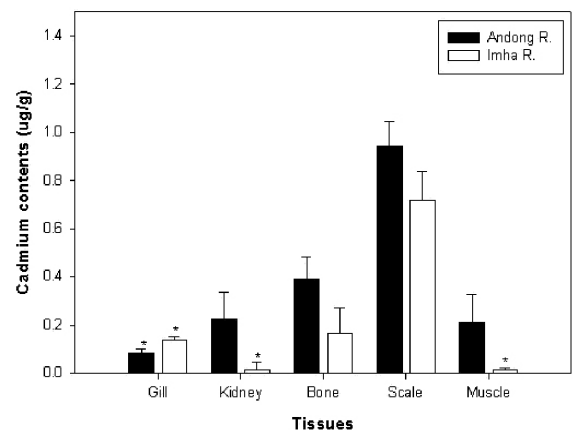


Fig. 6. Cd contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

로 높은 함량을 나타냈다. 또한 임하호에 서식하는 붕어의 아가미 조직은 $0.218 \pm 0.008 \mu\text{g/g}$ 로 가장 낮은 함량을 나타내어 함량의 차이는 적은 것으로 나타났다(Fig. 7). Pb는 어류조직에 비교적 축적이 덜되고 축적되더라도 조직 간에 함량 차이가 없는 것은 Pb가 조직에서 친화력이 낮고 용해도도 낮아 쉽게 세포막을 통과하지 못하고 배설되기 때문으로 알려져 있다 [13]. 본 연구의 결과 근육과 비늘 조직에서 높은 함량을 나타냈으나 조직에 따라 함량의 차이가 적은 것으로 나타났는데, 이는 Pb가 붕어 조직에 축적이 덜되고 체내에 들어온 Pb가 세포막을 통과하지 못하고 배설된 것으로 생각된다. 또한 Zn과 Pb의 함량은 안동호와 임하호의 수질과 저니에서 다른 중금속에 비하여 높은 함량을 나타냈으며, 안동호와 임하호에 서식하는 붕어에서 모두 높은 함량을 나타냈다. 이는 안동호와 임하호 상류지점에 아연과 납의 휴·폐광산이 많았던 것으로 보아 지반 특성의 영향으로 Zn과 Pb를 포함한 하상퇴적물이 하천에 유입되어 수질과 저니에서 높은 함량을 보이며, 또한 이를 먹이로 섭취하는 어류에서도 높은 함량을 나타낸 것으로 생각된다.

As 함량은 안동호에 서식하는 붕어가 임하호에 서식하는 붕어보다 높은 함량을 보이며 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다(Fig. 8). 또한 $0.001 \sim 0.008 \mu\text{g/g}$ 의 함량으로 아주 미량의 함량을 나타냈으며, 이는 As의 성질이 산과 반응이 잘 일어나며 수증기와 함께 잘 휘발하는 것으로 보아 어류 조직의 전처리 과정 등에서 영향을 받았을 것으로 생각된다. 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 중금속 함량을 비교해 보면 안동호에 서식하는 붕어가 임하호에 서식하는 붕어보다 높은 함량을 보이며, 조직에 따라 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과 수질과 저니 및 안동호에 서식하는 붕어에서 중금속 함량이 높은 것으로 보아 하상퇴적물 속에 포함된 유기물을 붕어가 먹이로 섭취함으로써 붕어 체내의 중금속 함량에 영향을 준 것으로 생각된다.

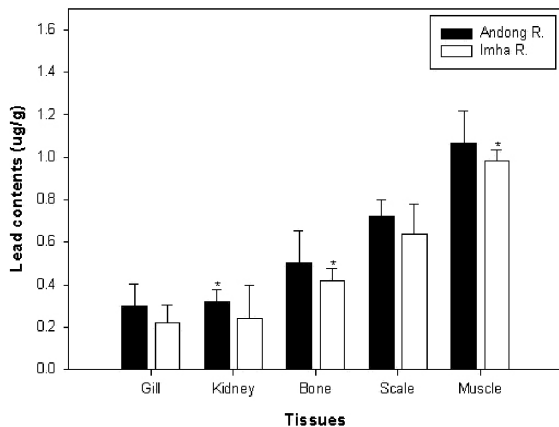


Fig. 7. Pb contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

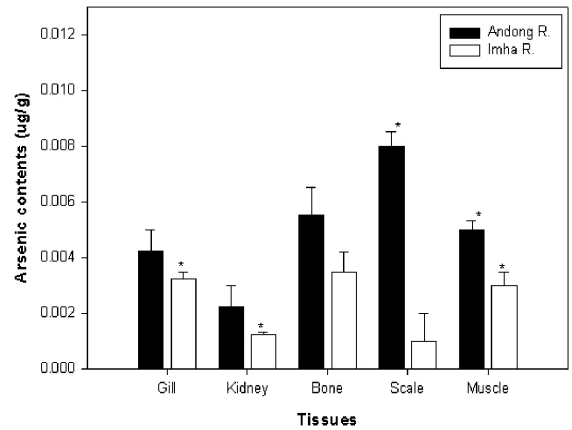


Fig. 8. As contents of *C. auratus* in Andong and Imha reservoir. The bar shows the mean standard deviation (n=3). $p < 0.05$ as compared to Andong and Imha reservoir and tissues.

요 약

안동호와 임하호의 수환경내 중금속의 오염정도와 서식 어종간의 중금속 축적 정도를 알아보기 위해 양호수의 수질, 저니 및 서식어종인 붕어를 이용하여 중금속 함량을 비교 분석하였다. 안동호와 임하호 수질과 저니내 중금속 함량은 안동호에서 높은 함량을 보이며, As는 함량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 중금속 함량의 경우 안동호에 서식하는 붕어에서 높은 함량을 보이며, Cr, Cu, Cd 및 As는 함량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 또한 비늘, 근육, 뼈 조직은 안동호와 임하호의 함량차이가 크며, 안동호에서 높은 함량을 나타냈다. 본 연구의 결과 안동호와 임하호의 수질과 저니 및 서식어종인 붕어의 중금속 함량은 안동호에서 임하호보다 중금속 함량이 높게 나타났으며, 안동호와 임하호의 함량차이도 큰 것으로 나타났다. 이는 안동호의 경우 안동호 상류 지점의 폐광산과 농경지로부터 하상퇴적물이 유입되어 하상퇴적물 속에 포함된 유기물을 붕어가 먹이로 섭취함으로써 중금속 함량에 영향을 미친 것으로 생각된다.

References

- Balk, L., L. Frilin, M. Sderstrm, and A. Larsson. 1993. Indication of regional and large-scale biological effects caused by bleached pulp mill effluents. *Chemosphere* **27**, 631-650.
- Bowell, R. J. and I. Bruce. 1995. Geochemistry of iron Ochrcs and Minc Waters from Levant Mine. *Applied Geochemistry* **10**, 237-250.
- Cheong, Y. W., J. S. Min, K. S. Kwon, and H. J. Lee. 1997. An evaluation of substrates for the developments of constructed wetland treatment of acid mine drainage. *J. Kor. Soc. Geosys. Eng.* **34**, 142-151.
- Cho, K. S., J. H. Park, and J. C. Kang. 2004. Acute toxicity

- of *Carassius auratus* and *Pungtungia herzi* lavra on mercury, lead and copper exposure. *J. Kor. Soc. on Water Quality* **20**, 265-268.
5. Cope, W. G., J. B. Wiener, and G. J. Atchison. 1994. Hepatic cadmium, metal binding proteins and bioaccumulation in blue gills exposed to aqueous cadmium. *Environ. Contam. Chem.* **13**, 553-562.
 6. Fergusson, J. E. 1990. The heavy metal element chemistry, environmental impacts and health effects. pp. 371, Pergamon Press Inc., New York.
 7. Heo, W. M., S. Y. Kwon, B. C. Kim, and J. H. Park. 2000. Long-term variation of water quality in lake Andong. *Korean J. Limnol.* **33**, 260-266.
 8. Hwang, S. K. and G. Y. Jeong. 2006. Geology in drainage field of the Imha dam and origins of high turbid water in the Imha lake, Andong. *Econ. Environ. Geol.* **39**, 771-786.
 9. Kim, I. S. and J. Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. pp. 182-183, Kyohak Press.
 10. Kim, I. S. and S. H. Han. 1999. A study on the contents of heavy metals in *Carassis auratus* of river and reservoir on Cheonbuk area. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 22-27.
 11. Kim, S. K., M. K. Lee, J. H. Ahn, S. W. Kang, and S. H. Jeon. 2005. The effects of mean grain size and organic matter contents in sediments on the nutrients and heavy metals concentrations. *J. of KSEE* **27**, 923-931.
 12. Lee, K. H. 2002. A study on adsorption behaviors of activated carbon powder and loess for heavy metal in aqueous solution. *J. Kor. Soc. Environ. Anal.* **5**, 123-130.
 13. Park, C. Y., Y. J. Jeong, and S. K. Kim. 2002. Geochemical characteristics of stream water and sediments in the vicinity of abandoned Hamback coal mine, Korea. *J. Kor. Soc. Geosys. Eng.* **39**, 35-50.
 14. Park, S. H., I. S. Song, and Y. C. Cho. 2000. Experimental study on the accumulation of cadmium and other metals in the fish bodies (*Oryzias latipes*). *Kor. J. Env. Hith. Soc.* **26**, 25-31.