

## 안동 · 임하호에 서식하는 누치 (*Hemibarbus labeo*)의 중금속 함량

신명자 · 박영미 · 이종은 · 서울원\*

(안동대학교 자연과학대학 생명과학과)

**Heavy Metal Contents of *Hemibarbus labeo* in Andong and Imha Reservoirs. Shin, Myung Ja, Young Mi Park, Jong Eun Lee and Eul won Seo\* (Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea)**

Heavy metal accumulation levels of inhabitant fish, *Hemibarbus labeo* in Andong and Imha reservoirs were analyzed using an inductively coupled plasma spectrometer and atomic absorption spectrometer. Heavy metal contents of *H. labeo* from Andong reservoir were higher than those from Imha reservoir. Likewise, relative high contents of As, Cd and Hg were detected in the tissues from Andong reservoir. Among the heavy metals, Al, As and Fe were detected with high concentration in the gill tissues but not in the muscle tissues. Also, the average content of Zn was almost similar in all tissues. In addition, high accumulated level of Al, Cr, Cu and Mn were detected in gill and kidney tissues of *H. labeo* from Andong reservoir. As a result, the heavy metal contents from the inhabitant fishes, *H. labeo*, in Andong reservoir showed higher than those in Imha reservoir. We propose that heavy metal contamination in water and in inhabited fishes is caused from various metals derived from water and sediments in water environment of Andong reservoir.

**Key words : *H. labeo*, heavy metal, Imha reservoir, Andong reservoir**

### 서 론

안동댐과 임하댐은 대형 인공호로서 경상도 지역에 식수와 농공업용수로서 주로 이용되고 있으며 전력을 공급하고 있으나 양호는 서로 다른 특징을 보이고 있다. 안동호 경우 유역내의 주요 경제 활동은 농·축산업이지만, 189개의 석탄 폐광산과 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(Heo *et al.*, 2000). 그러나 임하호

유역은 농촌의존형의 경제구조로 하천 인근주변을 중심으로 경작지가 발달되어 있으며 폐광산이 22개 정도에 지나지 않는다. 또한 지질학적 구조로 인하여 적갈색과 적색의 셰일과 알코스 사암 등이 호층을 이룸으로써 점토광물을 많이 포함하고 풍화가 쉽게 일어나 탁수의 발생이 빈번하게 일어나고 있으며 잘 침강하지 않는 특징을 지니고 있다(Hwang and Jeong, 2006).

금속광산의 선광시설에서 배출되는 중금속 오염물질들은 널리 산재되어 있고 휴·폐광산에 방치된 광재는 토양을 산성화시킬 뿐만 아니라, 각종 유해 중금속의 이온화를 촉진시킨다(Fergusson, 1990). 따라서 폐광산에서 유출되는 광산배수는 낮은 pH를 가지며, 독성이 높은 중

\* Corresponding author: Tel: 054) 820-5462, Fax: 054) 820-7705, E-mail: ewseo@andong.ac.kr

금속을 다량 함유하기 때문에 이러한 광산배수가 하천에 유입될 경우 수생태계 전반에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 생물농축의 단계를 거쳐 최종적으로 인간의 건강을 해치게 된다(Cheong *et al.*, 1997). 또한 광산배수로 인해 유입 하천 퇴적물에 농축된 중금속은 수중 저서생물에 지속적인 독성을 미치고 있으며, 퇴적물의 중금속 용출로 인한 대형 수질오염 사고를 유발하기도 한다(Park *et al.*, 2002).

생물체 내의 중금속은 주변 환경의 중금속 농도를 반영하고 생물체 내의 총 중금속 함량은 각 조직에 분포하고 있는 중금속의 합이라고 볼 수 있다. 또한 중금속은 모든 조직에 대해 일정한 분포를 보이지 않고 간, 신장, 아가미, 소화선 등에 선택적으로 축적되므로 많은 양의 중금속을 축적하는 능력이 있는 조직을 중금속 오염 감시에 선별적으로 사용하면 더욱 효과적인 오염조사를 할 수 있다(Mason and Simkiss, 1993). 더불어 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 조직 내 중금속 함량을 조사한 연구에서 임하호에 서식하는 붕어보다 안동호에 서식하는 붕어에서 Cr, Cu, Cd 및 As가 높은 함량을 보이며, 함량의 차이도 컸음을 보고하였다(Kim *et al.*, 2009).

누치(*Hemibarbus labeo*)는 잉어목 모래무지아과에 속하는 어류로서 맑고 깊은 물이 흐르는 큰 강의 모래와 자갈이 깔려 있는 바닥에서 서식하며, 수서 곤충의 유충과 실지렁이 및 소형 갑각류를 섭식하고, 모래와 함께 부착조류 등을 먹이로 한다(Kim and Park, 2002). 이러한 누치는 육식성 어종으로 수생태계의 상위그룹에 속하는 소비자로서 먹이 연쇄에 있어 다른 생물들과 밀접한 관계를 이루고 있으며, 또한 바닥에 서식하며 모래와 부착조류를 먹기 때문에 저니에 포함된 중금속을 등을 섭취하기 용이한 생태적 특성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 환경지표종으로써 수질이 깨끗한 곳에 서식하며 육식성으로써 생태적으로 큰 차이를 보이는 안동호와 임하호에 서식하는 누치(*H. labeo*)를 이용하여 부위별(아가미, 신장, 뼈, 비늘, 근육) 중금속(Al, As, Cr<sup>6+</sup>, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn) 함량을 측정하여 비교 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 어류 및 시료 채취

실험에 사용된 누치(*H. labeo*)는 안동호 2개의 지점과 임하호 2개의 지점을 선정하여 5월, 7월, 9월(2005년 3회)와 8월, 9월, 10월(2006년 3회)에 걸쳐 2년간 채집하였다

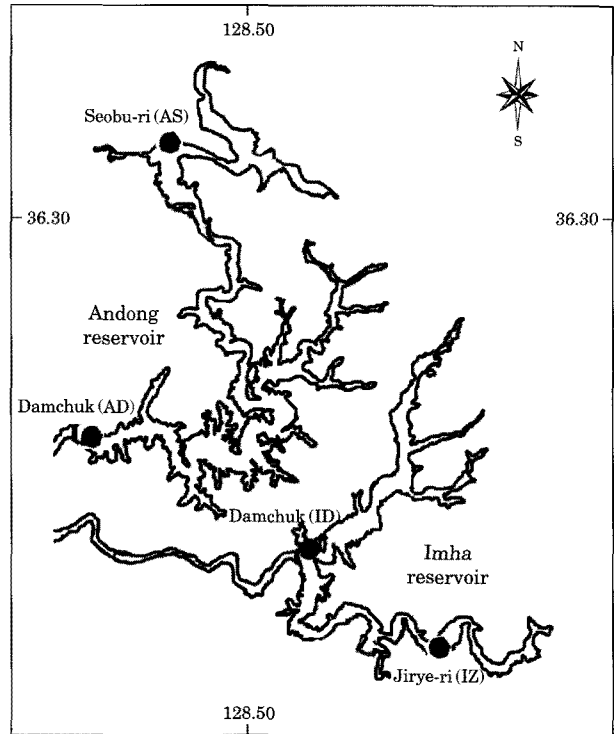


Fig. 1. Map showing the sampling sites in Andong and Imha reservoirs.

(Fig. 1). 채집은 3중자망(망목 10×10 mm, 25×25 mm)을 사용하여 설치 48시간 정치 후 수거하였다. 채집된 어류 중 누치는 현장에서 Kim and Park (2002)을 참고하여 동정하였다. 동정 후, 즉시 실험실로 운반하여 외부 형태적 손상이 나타나지 않은 약 3년생 누치(전장 145.91±10.733 mm, 체중 26.45±7.46 g) 20마리씩을 실험에 사용하였다.

### 2. 중금속 함량 분석

채집된 누치의 각 조직 내 중금속 함량을 분석하기 위해 개체별로 해부하여 비늘, 아가미, 근육, 뼈, 신장 조직을 적출하였으며, 증류수로 세척한 후 초음파 세척기(5210, Branson, USA)로 최대한 조직에 붙어 있는 이물질 제거하였다. 각 시료는 -80°C에서 동결시킨 후 냉동건조하여 수분을 제거한 후 0.5 g을 취하여 혼합산(HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=7:1, Merck)을 초음파용해장치용 용기(Teflon vessel) 안에 넣었다. 부위별 조직과 혼합산이 혼합된 용기(Teflon vessel)는 초음파용해장치(Microwave digestion system, Prolabo Microdigestion 3, France)를 이용하여 200°C에서 30분간 분해하였다. 분해된 시료는 50 mL 정량병에 희석하여 알루미늄(Al), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr<sup>6+</sup>), 철

(Fe), 망간(Mn) 및 아연(Zn)을 유도결합 플라즈마 방출분광기(Flame Modula S, Spectro, Germany)에서 분석하였다. 또한 납(Pb), 비소(As) 및 수은(Hg)의 분석은 원자흡수분광계(SpectrAA-220FS, Varian, Australia)를 이용하여 측정하였다.

3. 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  $p < 0.05$ 를 유의차가 있는 것으로 간주하고 유의적인 차이를 조사하였다.

결과 및 고찰

중금속은 환경에 유입되면 동 · 식물의 생체 내에 축적되고 먹이사슬을 통해 확대됨으로써 결국은 우리 인체에도 해를 미치는 지속성 오염물질로서 모암의 풍화로 발생되거나 인간의 산업 활동 등에 의하여 오염되고 생태계 내에서 대기 중에 있던 중금속 등 오염물질들은 분진이나 강우 등에 섞여 낙하하여 토양에 축적되고 호소 및 하천으로 유입된다(Choi and Cho, 1998). 이러한 중금속에 의한 오염피해는 생물권 및 토양권과 수리권에까지 확산되며, 생태계에도 영향을 미치게 된다(Gray et al., 1994). 오염물질 중에서 일부 유해 중금속 특히 납이나 카드뮴 및 수은은 미량일지라도 오염된 환경에 생물체가 노출되면 조직에 축적되고, 생물의 생리적, 기능적 장애를 일으키며, 생물학적 먹이연쇄를 통하여 최종에는 인체까지 피해를 초래한다(Lee, 1978; Kim, 1991). 더불어 각종 미량 금속과 유기 금속 그리고 유기화합물질 등을 포함한 다양한 오염 물질은 수생 환경에 서식하는 생물들의 생리활동과 성장, 생식에 위해를 가함으로써 개체군이 감소하고 군집구조가 변화하는 등 수생 생태계를 손상시키는 주요 원인의 하나로 등장하고 있다. 그러므로 이에 대한 연구자들의 관심은 지속적으로 증가하는 추세에 있고 오염물질의 생물학적 영향을 정량하는 다양한 생물 검정기술이 개발되어 수생 환경오염의 생물학적 모니터링과 환경 위해도 평가에 활용되고 있다(Lee et al., 2004). 따라서 본 연구에서는 안동호와 임하호에 서식하고 있는 누치(*H. labeo*)의 부위(아가미, 신장, 뼈, 비늘, 근육)에 따른 각 조직 내 중금속(Al, As, Cr, Cd, Hg, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn) 함량을 측정하여 양호의 서식환경에 따른 누치의 부위별 중금속 축적량을 비교하고자 하였다.

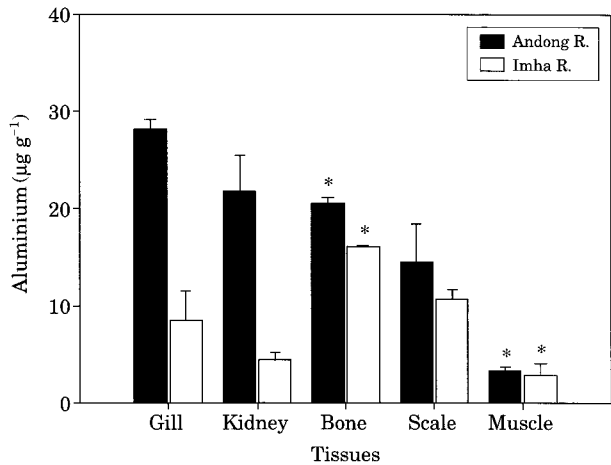
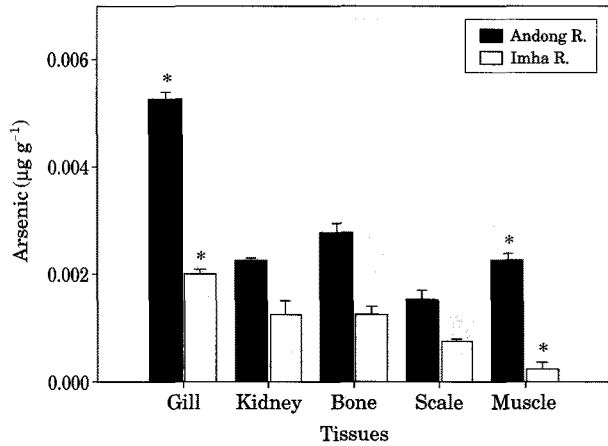


Fig. 2. Al contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

안동호와 임하호에 서식하는 누치 조직 내 Al 평균함량은 안동호에서  $16.9033 \pm 1.3341 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호  $9.3014 \pm 1.7903 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 함량이 높았으며, 함량의 차이도 컸다. 또한 안동호에 서식하는 누치의 모든 조직 부위에서 임하호보다 함량이 높았으며, 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다. 아가미 조직은 안동호에서  $28.1251 \pm 0.9750 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $8.5675 \pm 2.9975 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에 높은 함량을 보이며, 함량의 차이도 3배 이상을 나타냈다(Fig. 2). Kim (2009) 등은 안동호와 임하호의 SEM-EDS을 이용하여 저니의 원소 함량과 성분 분석을 분석한 결과 안동호에서 Al과 Si 성분이 높은 함량을 나타냈다. 따라서 본 연구의 결과 Al 함량이 안동호에 서식하는 누치에서 높은 함량을 보인 것으로 보아 안동호에 서식하는 누치가 바닥에 서식하며 모래와 부착조류를 먹기 때문에 저니 내 포함된 중금속을 등을 섭취하기 용이한 생태적 특성 때문인 것으로 사료된다.

누치 조직 내 As 평균함량은 안동호에서  $0.0028 \pm 0.0015 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.0011 \pm 0.0001 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 높은 함량을 보였다. 또한 조직 부위 중 아가미 조직에서 가장 높은 함량을 보이며, 아가미와 근육 조직에서는 양호 간의 함량 차이가 컸다. 아가미 조직의 경우 안동호에서는  $0.0053 \pm 0.0002 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.0020 \pm 0.0001 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 높은 함량을 보였다. 더불어 근육 조직의 경우 안동호에서  $0.0023 \pm 0.0002 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.0003 \pm 0.0001 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 7배 정도 높은 함량 차이를 보였다(Fig. 3). Kim (2009) 등은 붕어 조직 내 As의 함량의 경우 안동호에 서식하는 붕어에서 높은 함량을 보

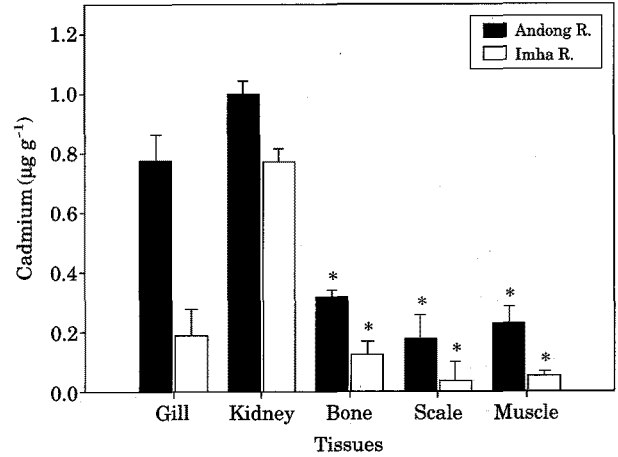


**Fig. 3.** As contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3). p<0.05 as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

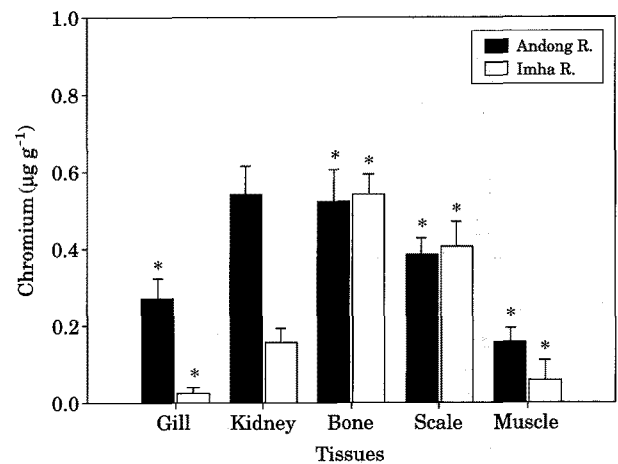
이며 조직에 따라서 함량 차이가 큰 것으로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

누치 조직 내 Cd의 평균함량은 안동호에서  $0.4905 \pm 0.0974 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.2335 \pm 0.0508 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 함량이 높았다. 아가미 조직은 안동호에서  $0.7750 \pm 0.0901 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.1875 \pm 0.0875 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 7배 이상 높은 함량을 보였으며, 신장 조직은 조직 부위 중 Cd 함량이 가장 높았으나 안동호와 임하호의 함량 차이는 크지 않았다(Fig. 4). Yayoi *et al.* (1986)은 환경 수중에 Cd이 존재할 경우 어류 체내에서 축적되는 중금속의 양은 신장에 가장 많고, 다음은 아가미와 간, 체장이라고 하였는데, 본 연구에서도 Cd의 함량은 누치의 조직 중 신장과 아가미 조직에서 높은 함량을 나타내어 Yayoi *et al.* (1986)의 보고와 유사한 결과를 나타냈다. 또한 Cd에 장기간 폭로된 어류는 미량일지라도 Cd의 조직 내 농도와 수중 농도 사이에 평형을 이루어 어류가 성장하거나 크기가 증가하여도 신장으로 배설되지 못하고 축적되어 조직 내 일정한 농도를 유지하게 된다(Vinikour *et al.*, 1980). 본 연구에서 누치의 조직 부위 중 신장 조직에서 높은 함량을 보인 것으로 보아 Cd이 신장으로 배설되지 못하고 누치의 체내에 축적된 것으로 생각된다.

누치 조직 내 Cr의 평균함량은 안동호에서  $0.3755 \pm 0.0585 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.2380 \pm 0.0442 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 높은 함량을 보였으나 함량의 차이는 크지 않았다. 또한 아가미와 신장 및 근육 조직은 안동호에서 높은 함량을 보이며, 함량의 차이도 큰 것으로 나타났다. 더불어 뼈와 비늘 조직은 임하호에서 높은 함량을 보였



**Fig. 4.** Cd contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3). p<0.05 as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.



**Fig. 5.** Cr contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3). p<0.05 as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

으나, 함량의 차이는 크지 않았다. 아가미 조직의 경우 안동호에서  $0.2701 \pm 0.0526 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.0250 \pm 0.0149 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 10배 이상 높은 함량 차이를 보였다. 또한 뼈 조직은 안동호에서  $0.5225 \pm 0.0847 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.5402 \pm 0.0526 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호에서 높은 함량을 보였으나 함량의 차이는 크지 않았다(Fig. 5). 이는 Cr의 함량은 뼈와 비늘 조직에서 높았고, 아가미 조직에서 낮은 것으로 나타나 어류가 수환경 내의 먹이 섭취과정에서 Cr이 체내에 축적되어 뼈와 비늘 조직에서 높은 함량을 보인 것으로 생각된다. 또한 Kim *et al.* (2009)은

안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 조직 내 Cr의 함량도 뼈 조직에서 높은 함량을 보이며 아가미 조직에서 낮은 함량을 나타내어 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

누치 조직 내 Hg 평균함량은 안동호에서  $0.0075 \pm 0.0016 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.0023 \pm 0.0017 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 안동호에서 3배 정도 높은 함량을 나타냈다. 조직 부위 중 신장 조직에서 가장 높은 함량을 보였으며, 모든 조직에서 안동호의 함량이 높았다. 또한 아가미 조직을 제외하고는 모든 조직에서 안동호와 임하호의 함량 차이가 컸다. 아가미 조직의 경우 안동호에서  $0.0068 \pm 0.0023 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.0058 \pm 0.0012 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 함량이 높았으나 함량의 차이는 크지 않았다. 신장 조직은 안동호에서  $0.0153 \pm 0.0018 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.0035 \pm 0.0025 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 안동호에서 5배의 높은 함량 차이를 보였다(Fig. 6). D'Itri (1971)은 오염되지 않은 어류에 있어서 Hg의 바탕값(Background value)은  $0.2 \mu\text{g g}^{-1}$  이하라고 보고하였다. 본 연구의 결과 D'Itri (1971)의  $0.2 \mu\text{g g}^{-1}$  이하보다 아주 낮은 함량을 보였으나 안동호에서 임하호보다 높은 함량을 보여 수환경이나 저니 내 Hg이 안동호에서 임하호보다 더 많이 존재할 것으로 생각된다.

누치 조직 내 Pb의 평균함량은 안동호에서  $0.2718 \pm 0.0305 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.2180 \pm 0.0403 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 함량이 높았으나 함량의 차이는 크지 않았다. 아가미와 신장 및 비늘 조직은 안동호에서 높은 함량을 보였으나 뼈와 근육 조직은 임하호에서 높은 함량을 나타냈다. 신장 조직의 경우 안동호에서  $0.3552 \pm 0.0061 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.1471 \pm 0.0372 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 높은 함량을 보이며 함량의 차이도 컸다. 또한 근육 조직은 안동호에서  $0.3173 \pm 0.0511 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.3220 \pm 0.0531 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 함량이 낮았으나 함량의 차이는 미미하였다(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. 또한 납의 축적양상은 Cd과 달리 가식부위인 근육의 함량이 다른 부위에 비해 별 차이가 없다고 하였다(Moore and Ramlamoorthy, 1984). 본 연구에서도 근육 조직은 양호 간에 큰 함량의 차이를 보이지 않으며, 근육과 비늘 조직에서 높은 함량을 나타냈으나 조직에 따라 함량의 차이가 적은 것으로 나타났다. 이는 Pb가 근육 조직에서 함량차이가 없다는 Moore and Ramlamoorthy (1984)의 보고와 유사한 결과를 보였으며, 누치 조직에 축적이 덜되고 체내에 들어온 Pb가 세포막을 통과하지 못하고 배설된 것으로 생각된다.

누치 조직 내 Cu의 평균함량은 안동호에서  $0.2281 \pm$

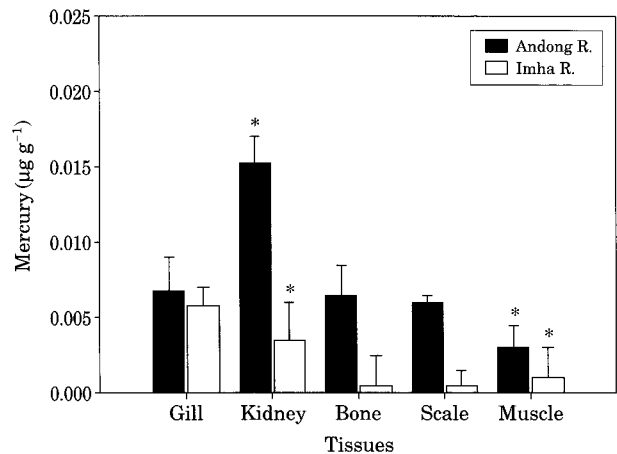


Fig. 6. Hg contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

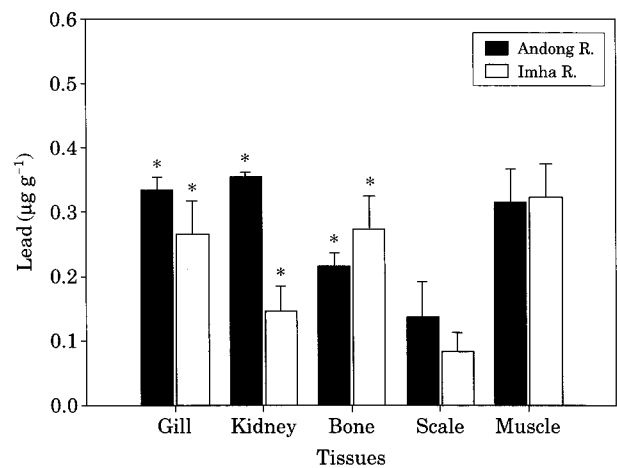


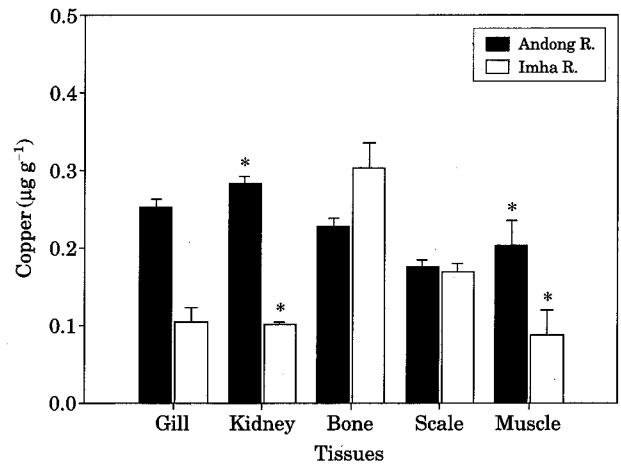
Fig. 7. Pb contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

$0.0333 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.1535 \pm 0.0192 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 높은 함량을 보였으며, 조직 부위에 따른 중금속 함량이 유사하였다. 또한 뼈 조직을 제외하고는 안동호에서 높은 함량을 보였고 함량의 차이도 큰 것으로 나타났으나 비늘 조직은 안동호와 임하호의 함량 차이가 미미하였다. 신장 조직의 경우 안동호에서  $0.2825 \pm 0.0104 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.1025 \pm 0.0025 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 높은 함량을 보였으며 함량의 차이도 컸다. 그러나 뼈 조직은 안동호에서  $0.2275 \pm 0.0105 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $0.3025 \pm 0.0325 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호보다 높은 함량을 보였으나 함량의 차이는 크지 않았다(Fig. 8). 본 연구의 결과 Cu의 함

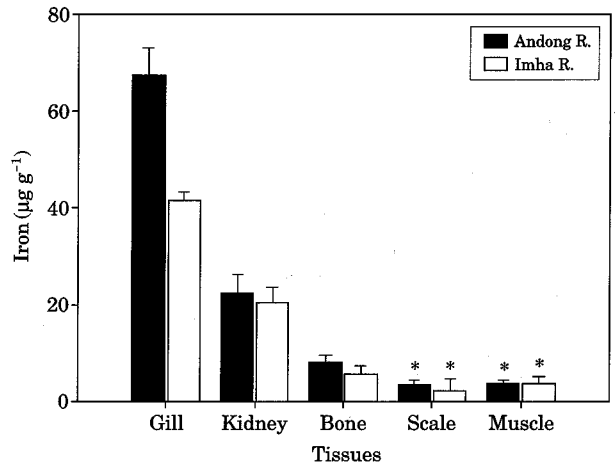
량은 뼈와 아가미 조직에서 높은 함량을 보이고 근육과 비늘 조직에서 낮은 함량을 나타냈다. 이는 Moore and Ramlamoorthy(1984)의 보고에서 Cu의 함량이 근육보다 간장, 비장 및 아가미에서 높은 축적량을 보인 것과 유사한 결과를 나타냈다.

누치 조직 내 Fe의 평균함량은 안동호에서  $21.0752 \pm 2.5885 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $14.7965 \pm 2.0585 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 높은 함량을 보였으나 함량의 차이는 크지 않았다. 또한 조직 부위에 따라 큰 함량의 차이가 보였으나 양호간의 함량 차이는 크지 않았다. 아가미 조직은 안동호에서  $67.4351 \pm 5.6750 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $41.6253 \pm 1.6751 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 높은 함량을 보였다. 비늘 조직은 안동호에서  $3.4625 \pm 0.9675 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $2.2754 \pm 2.3375 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 높은 함량을 보였으나 함량의 차이는 크지 않았다(Fig. 9). Fe는 적혈구를 형성하여 세포의 호흡과 대사과정에 관여하며 세포내 미토콘드리아에서 일어나는 산화·환원 작용에 관여하는 효소 cytochrome의 구성체로서 열량의 산화 등에 관계하는 중요한 미량무기질이나, 세계적으로 가장 흔한 영양결핍의 원인이 된다. 그러나 만성적인 Fe의 과잉섭취도 간장, 췌장, 심장에 지나치게 많은 Fe의 축적과 세포손상을 일으키는 것으로 알려져 있고, 미량원소인 Zn과 Cu의 흡수를 방해할 수 있으며, 감염의 위험도 커질 수 있음을 보고하였다(Solomons and Jacobs, 1981; Weinberg, 1984). 본 연구에서 Fe의 함량은 조직 부위 중 아가미와 신장 조직에서 높은 함량을 나타내어 호흡과 혈액이 많이 존재하는 조직 부위에서 높은 함량을 보인 것으로 생각된다. 또한 안동호에서 함량이 높으며 임하호에서 낮은 것으로 보아 임하호의 탁수입자로 인하여 호흡에 영향을 받음으로써 혈액에 산소 공급이 원활하지 못함으로 인하여 Fe의 함량이 낮은 것으로 사료된다.

누치 조직 내 Mn의 평균함량은 안동호에서  $4.4815 \pm 0.8895 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서  $3.0152 \pm 0.5385 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 안동호에서 함량이 높았으나 함량의 차이는 크지 않았다. 또한 조직 부위에 따라 큰 함량의 차이를 보였으며, 비늘 조직을 제외하고는 안동호에서 함량이 높았다. 신장 조직은  $4.6950 \pm 1.1951 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $0.5153 \pm 0.1650 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 안동호에서 9배 높은 함량의 차이를 보였다(Fig. 10). Mn은 필수원소이지만 과다 노출이 되면 망간중독을 일으키며, 소화기와 호흡기를 통하여 흡수된다. 소화기를 통하여 흡수되는 망간은 담즙을 통하여 배설되어 항상성이 잘 유지되므로 망간중독이 드물다(Kim, 2009). 본 연구의 결과 Mn의 함량은 아가미 조직에 가장 높은 함량을 나타내어 호흡기인 아가미를 통하여 흡수가 이루어



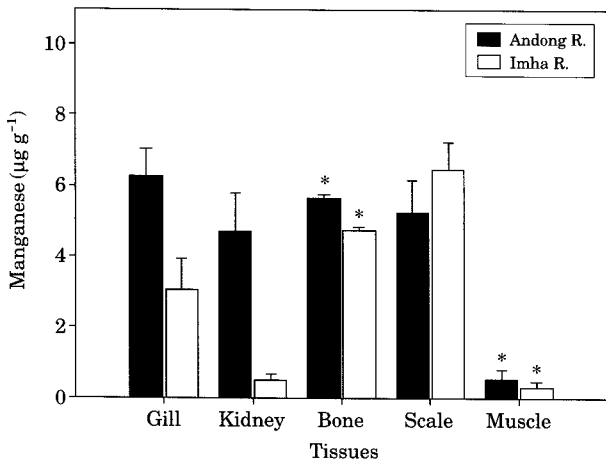
**Fig. 8.** Cu contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.



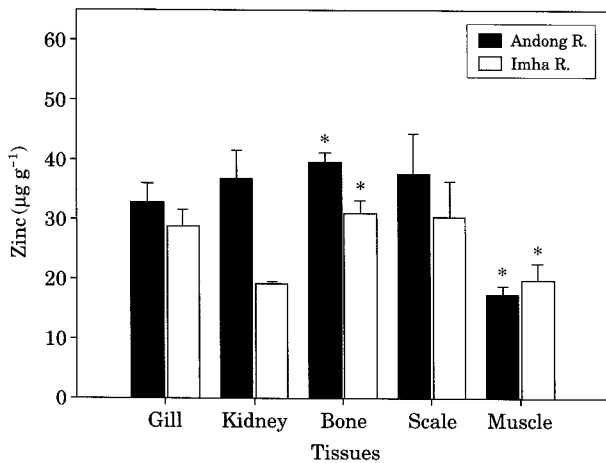
**Fig. 9.** Fe contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

어저 조직 중 가장 높은 함량을 보인 것으로 생각된다. 또한 안동호에서 높은 함량을 보인 것으로 보아 임하호의 경우 탁수입자가 아가미에 부착되어 아가미 호흡에 영향을 주어 낮은 함량을 보인 것으로 사료된다.

누치 조직 내 Zn 평균함량은 안동호에서  $32.8331 \pm 3.5170 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 임하호의  $25.9053 \pm 2.8281 \mu\text{g g}^{-1}$ 보다 높은 함량을 보였다. 또한 근육 조직을 제외하고는 안동호에서 높은 함량을 보였으나 신장 조직을 제외하고는 양호 간의 함량의 차이는 크지 않았다. 신장 조직의 경우 안동호에서  $36.8751 \pm 4.5997 \mu\text{g g}^{-1}$ 이며, 임하호에서



**Fig. 10.** Mn contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.



**Fig. 11.** Zn contents of *H. labeo* in Andong and Imha reservoirs. The bar shows the mean standard deviation (n=3).  $p < 0.05$  as compared to Andong and Imha reservoirs and tissues.

19.2250 ± 0.4402 µg g<sup>-1</sup>으로 안동호에서 높은 함량을 보이며 함량의 차이도 컸다. 근육 조직은 안동호에서 17.4681 ± 1.2582 µg g<sup>-1</sup>으로 임하호의 19.8904 ± 2.7351 µg g<sup>-1</sup>보다 함량이 낮았으나 함량의 차이는 크지 않았다(Fig. 11). Hwang *et al.* (1989)은 어류의 부위별 중금속 함량이 Pb, Cd 및 Cu의 경우 내장에서 가장 높고 아가미, 골격, 근육의 순으로 감소하며 Zn은 아가미에서 최고함량을 보이고 골격, 내장, 근육의 순으로 감소한다고 하였다. 본 연구의 결과 안동호에 서식하는 누치에서 Zn의 함량이 높았으며, 뼈와 아가미 조직에서 Zn의 함량이 높고 근육 조

직에서 가장 낮은 함량을 보여 Hwang *et al.* (1989)의 보고와 유사한 결과를 나타냈다. Kim *et al.* (2009)은 Zn의 함량은 안동호에 서식하는 붕어에서 높은 함량을 보였으나 함량의 차이가 적은 것으로 보고하였는데, 본 연구에서도 안동호에 서식하는 누치에서 높은 함량을 보이니 양호간의 함량 차이가 적은 것으로 나타나 Kim *et al.* (2009)의 결과와 유사하였다.

본 연구의 결과 안동호에 서식하는 누치에서 임하호에 서식하는 누치보다 중금속 함량이 높았으나 이는 미국의 식품에 대한 허용기준치보다 낮은 함량을 보였다(U.S. Food and Drug Administration, 1998). 또한 우리나라에서 서식하고 있는 어패류에 함유된 중금속 함량과 비교해 보면 유해수준 이하로 나타나 안동호와 임하호에 서식하고 있는 누치의 중금속 오염은 유해수준 이하일 것으로 사료된다. 더불어 Kim *et al.* (2009)은 안동호와 임하호에 서식하는 붕어의 조직 내 Cr, Cd, As, Pb, Cu 및 Zn 함량이 양호에 따라서 큰 차이를 보이지 않았으나 본 연구의 안동호와 임하호에 서식하는 누치 조직 내 Cr, Cd, As, Pb, Cu 및 Zn 함량은 양호에 따라서 함량의 차이가 큰 것으로 조사되었다. 이는 붕어와 달리 누치의 생태적 특성과 섭식에 따른 차이로 인하여 누치의 경우 안동호와 임하호에 서식하는 누치의 중금속 함량에 차이가 큰 것으로 사료된다.

적 요

안동호와 임하호에 서식하고 있고 누치(*H. labeo*)의 부위(아가미, 신장, 뼈, 비늘, 근육)에 따른 각 조직 내 중금속(Al, As, Cr, Cd, Hg, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn) 함량을 측정하여 양호의 서식환경에 따른 누치의 부위별 중금속 축적량을 알아보려고 하였다. 안동호와 임하호에 서식하는 누치의 중금속 함량은 안동호에서 높았으며, As, Cd와 Hg은 함량의 차이가 컸다. Al, As와 Fe의 함량은 모두 아가미 조직에서 가장 높았고 근육 조직에서 가장 낮았으며, Zn 함량은 조사된 모든 부위에서 거의 동일한 수준을 보였다. 또한 Al, Cr, Cu와 Mn 함량은 임하호에 서식하는 누치에서 보다는 안동호에 서식하는 누치의 아가미와 신장 조직에서 높게 나타났다. 본 연구의 결과 안동호에 서식하는 누치가 임하호에 서식하는 누치보다 중금속 함량이 높았으며, 이는 안동호의 수질과 저니에서 중금속 함량이 높은 것으로 보아 수환경의 수질과 저니에 포함된 유기물을 어류가 먹이로 섭취함으로써 어류에서도 높은 함량을 보인 것으로 생각된다.

## 인용문헌

- 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.
- Choi, Y.S. and H.D. Cho. 1998. The comparison of the concentration heavy metals in the forest ecosystem of the Tamyang lake and Kwangju lake watershed. *Agriculture Science and Technology Review* **33**: 99-107.
- D'Itri, F.M. 1971. *The Environmental Mercury Problem*. CRC Press, Cleveland.
- Fergusson, J.E. 1990. *The Heavy Metal Element Chemistry, Environmental Impacts and Health Effects*. Pergamon Press, New York.
- Gray, M.P., S. Thomas and F.V. George. 1994. *Soils and Environmental Quality*. Academic Press, Washington, D.C.
- Heo, W.M., S.Y. Kwon, B.C. Kim and J.H. Park. 2000. Long-term variation of water quality in lake Andong. *Korean Journal of Limnology* **33**: 260-266.
- Hwang, I.D., S.K. No, S.Y. Gi, J.H. Lee and N.S. Kim. 1989. A Study on the heavy metal contents in fish and sediments of the Mankyung river. *Kor. J. Env. Hlth. Soc.* **15**: 33-49.
- 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.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*. Kyohak Press, Seoul.
- Kim, J.S., M.J. Shin, J.E. Lee and E.W. Seo. 2009. Heavy metal contents in tissues of *Carassius auratus* in Andong and Imha reservoir. *J. Life Sci.* **19**: 1562-1567.
- Kim, N.S. 1991. A study on the heavy metal contents in freshwater fishes of the Mankyung river. *The Korean J. of Preventive Medicine* **21**: 121-131.
- Kim, Y.H. 2009. Health effects of manganese and some recent issues in manganese neurotoxicity research. *Korean J. Occup. Environ. Med.* **21**: 87-105.
- Lee, J.S., K.T. Lee, D.H. Kim, J.H. Kim and K.N. Han. 2004. Acute toxicity of dissolved inorganic metals, organotin and polycyclic aromatic hydrocarbons to puffer fish, *Takifugu obscurus*. *J. Environ. Toxicol.* **19**: 141-151.
- Lee, K.M. 1978. Environmental toxicology of heavy metal. *Korean J. Occup. Health* **17**: 60-64.
- Mason, A.Z. and K. Simkiss. 1993. Interactions between metals and their distribution in tissues of *Littorina littorea* (L.) collected from clean and polluted sites. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **63**: 661-672.
- Moore, J.W. and S. Ramlamoorthy. 1984. *Heavy Metals in Sediments, Water and Biota in the Illinois River*. Springer Verlag, New York.
- 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.
- Solomons, N.W. and R.A. Jacobs. 1981. Studies of the bioavailability of zinc in man. IV. Effects of heme and non-heme iron on absorption of zinc. *Am. J. Clin. Nutr.* **34**: 475-482.
- U.S. Food and Drug Administration. 1998. *Industry activities staff booklet. Action levels for poisonous or deleterious substances in human food and animal feed*.
- Vinikour, W.S., R.M. Goldstein and R.V. Anderson. 1980. Bioconcentration patterns of zinc, copper, cadmium and selected fish species from the Fox river, Illinois river. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **24**: 727-733.
- Weinberg, E.D. 1984. Iron withholding; a defense against infection and neoplasia. *Physiol. Rev.* **64**: 65-102.
- Yayoi, K., J. Koyama and H. Ozaki. 1986. Heavy metal levels in tissues of fish exposed to cadmium. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **52**: 2055-2059.

(Manuscript received 6 July 2010,  
Revision accepted 3 August 2010)