

만경강 · 동진강 하구역 생물체(벼, 패류, 망둑어)중 중금속 함량 및 분포

권용훈 · 황갑수* · 장재철

군산대학교 화학과

*군산대학교 환경공학과

Heavy Metal Content and Distribution of Bioorganisms in Mankyong · Dongjin River Area

Yong Hun Kwon, Gab Soo Hwang* and Che Chul Chang

Department of Chemistry, Kunsan National University

*Department of Environmental Engineering, Kunsan National University

ABSTRACT

This study was performed to investigate the heavy metal contents and distribution in bioorganisms from the estuary area of Mankyong-Dongjin river. In paddy plant, the average contents of heavy metals were in order of Zn>Cu>Pb>Cr>Cd in all parts. Those of Cd, Cr, Pb and Cu were all highest in the leaf while lowest in the brown rice. The average content of Zn was almost similar in all parts. In the dried muscular parts of shellfish, the average contents of heavy metals were in the range of 1.03~1.95 mg/kg for Cd, 2.93~4.98 mg/kg for Cr, 0.90~1.17 mg/kg for Pb, 8.41~18.58 mg/kg for Cu and 29.81~67.31 for Zn, respectively. In fish(*Acanthogobius hasta*), the average contents of heavy metals in the dried body parts were in the range of 0.05~0.43 mg/kg for Cd, 0.65~4.59 mg/kg for Cr, 1.01~4.75 mg/kg for Pb and 1.34~4.19 mg/kg for Cu, with high accumulation in bone and head overallly.

Keywords : heavy metal contamination, Mankyong-Dongjin river, paddy rice, Shellfish, *Acanthogobius hasta*

I. 서 론

각종 산업활동으로부터 수계에 유입된 중금속은 생물학적 과정을 통해 생물체에 흡수되어 먹이연쇄를 통한 생물학적 농축에 의해, 또한 관개에 의한 토양오염 등에 의해 수권생태계 및 주변농작물에 악영향을 초래하며 나아가 이들을 섭취한 인간에 치명적인 독성이 야기될 수 있다¹⁻⁴⁾. 납, 카드뮴, 크롬, 수은과 같은 유해 중금속들은 장·단기간 생체에 폭로, 흡수되어 간장, 신장, 근육, 골격, 신경계 등 모든 조직에 축적됨으로서 생물의 생리적, 기능적 장애는 물론 각종 형태적, 생화학적 변화를 일으키게 된다⁵⁻⁷⁾.

일반적으로 수계 오염도의 측정, 평가는 크게 관심지역의 환경수, 저질 및 주변토양, 그리고 서식 생물 등을 대상으로 이루어질 수 있는데⁸⁻¹¹⁾ 각 대상체로부터 기어낼 수 있는 나름대로의 유용성들을 고려한다면 현장의 오염상황에 대한 보다 유익한 구체적인 정보를 얻

기 위해서는 이들에 대한 효과적이고 다각적인 연구활동노력이 있어야 할 것이다. 이중 생물체들을 대상으로 한 오염평가 기법들은 생물체에 대한 독성기전 및 과거 오염에 대한 유용한 정보를 제공해줄 수 있다는 상대적인 장점들을 갖고 있으며 이와 같은 유용성을 인식하고 근래 해외에서는 다양한 생물체들을 대상으로 효율적 수계오염평가를 위한 지표생물 및 지표생체물질의 개발을 위한 연구노력^{12,13)}이 지속적으로 이루어지고 있다. 대표적으로 해안 생태계 및 하구 간사지의 저질도에 서식하고 있는 패류는 비교적 서식분포가 광범위하고 서식형태가 고착성이거나, 이동력이 미약하기 때문에 서식지역의 오염실태, 기원 및 오염물질의 영향을 파악할 수 있는 유용한 오염지표생물로 널리 활용되고 있고 이를 반영하여 패류를 이용한 체계적인 해양오염평가를 도모하고자 mussel project가 전세계적인 공동 노력속에 활발히 수행되어 오고 있다. 이와 함께 어·패류 및 벼는 서식환경의 오염현황에 대한 지표생물로

서의 중요성뿐만 아니라 인간이 섭취하는 식품으로서의 보건의상의 중요한 의미를 갖게되며 특히 중금속오염과 관련되어 많은 연구들¹⁴⁻¹⁷⁾이 진행되어 왔다.

그간 국내에서 수계오염의 평가를 위한 많은 연구들은 주로 환경수와 하상 퇴적물을 대상으로 이루어져 왔으며 서식생물을 대상으로 한 연구들은 아직도 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 현재 새만금 사업시행으로 인한 환경문제들과 관련되어 관심이 집중되고 있는 만경강, 동진강 기수역에서 하구에 이르는 지역내 벼, 패류, 어류 등의 생물체에 대한 중금속오염 실태를 분석하여 오염의 실태와 생물체내 중금속의 거동을 규명하고자 하였으며 아울러 대상지역의 곡류 및 어패류들이 특산식품 등으로서 공급된다는 점에서 연구결과를 바탕으로 국민보건증진에 기여하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료채취 및 조제

시료의 채취는 1997년 9월부터 1998년 8월 사이에 수행하였다(Fig. 1).

1) 벼

벼는 수확직전에 만경강과 동진강하구유역 인접 논에서 각각 줄기, 현미, 잎, 왕겨 등의 부위별로 채취하였으며 60°C에서 건조 후 분석시료로 사용하였다.

2) 패류

패류는 만경강하구에 위치하는 김제시 심포항과 군산시 하제에서 채집하여 사용하였다. 백합(*Meretrix lusoria*), 큰구슬우렁이(*Neverita didyma*), 피빨고동(*Rapana venosa*), 피조개(*Anadara broughtomi*), 반지락(*Ruditapes philippinarum*) 등의 껍질을 각각 제거하고 탈 이온 증류수로 수회 반복 세척하여 부착된 오

염분을 제거하였다. 동결 건조 후 근육부위 약 5g을 취하여 homogenizer로 균질하게 만들어 시료로 사용하였다.

3) 망둑어

망둑어(*Acanthogobius hasta*)는 만경강 청하와 동진강 문포에서 채집한 시료를 증류수로 3-5회 씻고 물기를 제거한 후 처치하여 근육, 아가미, 지느러미, 뼈, 폐 등으로 분리하였다. 동결 건조 후 각 부위별로 약 5g씩 취하여 homogenizer로 균질하게 만들어 시료로 사용하였다.

2. 중금속 측정

1) 벼중의 중금속 정량

부위별 분석용 시료 2g을 취하여 파이렉스 비커에 넣고, Hood안의 Hot plate위에서 진한 질산 5ml를 가하여 건조시킨 후 진한 질산 3ml, 진한 HClO₄ 4ml, 진한 염산 3ml를 순서대로 첨가하여 가열 분해시켜 시료가 백색으로 되어 내용물이 시럽상태로 될 때까지 가열 농축하였다. 탈 이온 증류수를 사용하여 20ml로 정용하고 Whatman No. 6 filter로 여과시킨 후 측정에 사용하였다.

2) 패류, 망둑어 중의 중금속 정량

패류 및 망둑어중의 중금속 함량 측정은 분석용 시료 0.2g을 취하여 질산-과산화수소를 첨가하고 Microwave oven을 이용하여 약 30분 건조시킨 후, 탈 이온 증류수를 사용하여 20ml로 정용하여 시료로 사용하였다.

3) 사용 기기

원자흡광 분광광도계(Model: Varian SpectrAA 30; Graphite furnace GTA-96), 유도 플라즈마 분광계(Accuris 123 in ARL(SWISS)를 이용하여 분석하였다.

3. 통계처리 및 분석

모든 자료처리와 분석은 SPSS(Statistical package for social science)/PC 통계 프로그램을 이용하였으며, 유의성 검증을 위하여 T-test를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 벼중의 중금속함량

농업활동으로서 관개 등에 의한 토양오염을 통해 농작물에 오염 유해물질이 흡수, 축적됨으로서 수계오염은 인간의 건강에 대한 간접적인 위해 문제를 초래할 수 있다. 만경강 · 동진강 하구유역에서 수계오염의 영향을 파악하기 위해 가을 수확시의 벼에 대해 하천

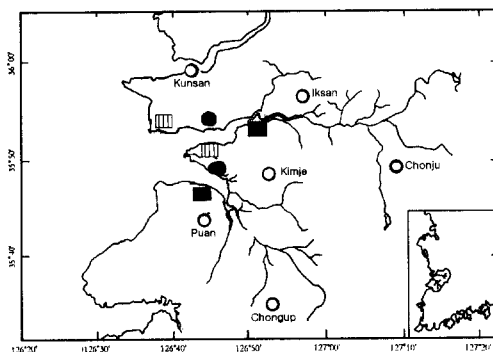


Fig. 1. Map showing sampling areas around Mankyong-Dongjin river (●: 벼, ▤: 패류, ■: 망둑어).

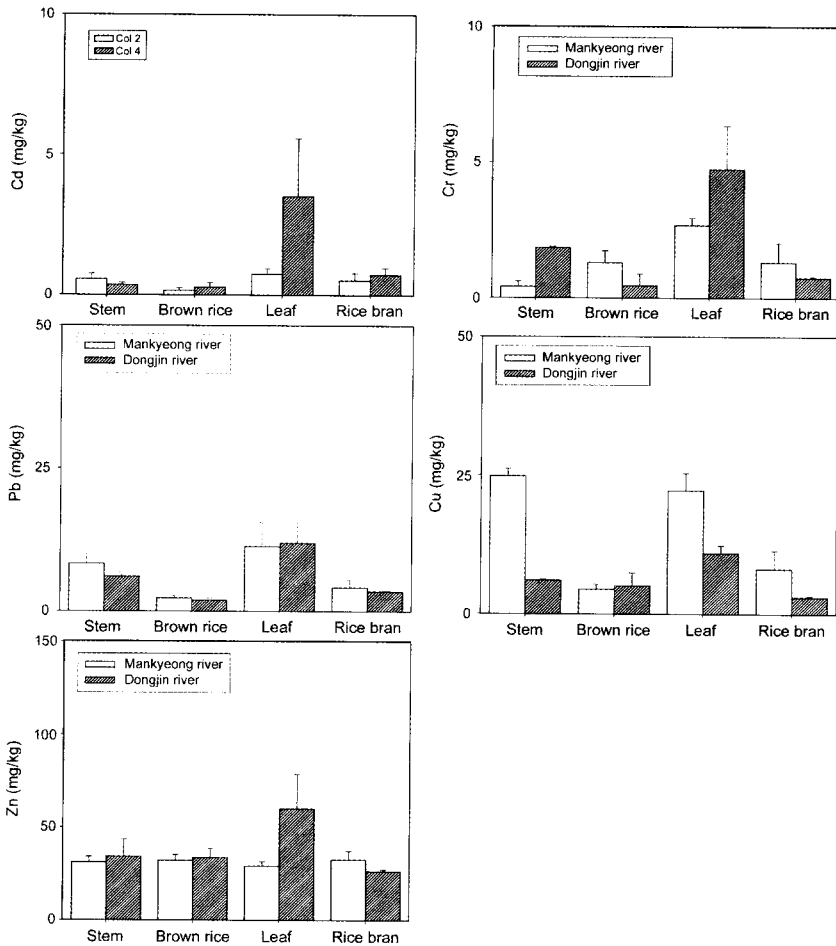


Fig. 2. Distribution of heavy metals in paddy rice from the estuary area of Mankyeong-Dongjin river. Significantly different, * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

별, 부위별로 중금속분석을 수행한 조사결과는 Fig. 2와 같다.

벼에서 중금속 평균함량은 조사된 모든 부위에서 $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ 의 순으로 나타났다. Cd함량은 잎, 왕겨, 줄기순으로 높은 수준을 보였고 현미에서 가장 낮은 수준으로 나타났으며 줄기의 함량은 만경강하구유역시료들에서, 잎, 왕겨, 현미의 함량은 동진강하구유역시료들에서 각각 높은 평균함량을 나타내었으나 유의성은 없었다. Cr함량은 잎에서 가장 높은 수준을 보였고 줄기에서 왕겨에 비해 다소 높은 수준이었으며 현미에서 가장 낮은 수준으로 나타났다. 왕겨와 현미의 함량은 만경강하구유역시료들에서, 잎, 줄기의 함량은 동진강하구유역시료들에서 각각 높은 경향을 나타내었으며 특히 동진강하구유역시료들의 줄기에 있어의 함

량이 만경강하구유역시료들에 비해 매우 유의성있게 높았다. Pb함량은 잎, 줄기, 왕겨순으로 높은 수준을 보였고 현미에서 가장 낮은 수준으로 나타났으며 현미, 왕겨, 줄기의 함량수준이 만경강하구유역시료들에서 다소 높은 경향을 나타내었으나 유의성은 없었다. Cu함량은 잎, 줄기, 왕겨순으로 높은 수준을 보였고 현미에서 가장 낮은 수준으로 나타났으며 줄기, 잎에서의 함량은 만경강하구유역시료들에서 동진강하구유역시료들에 비해 현저히 높은 평균함량으로 나타났다. Zn함량은 조사된 모든 부위에서 거의 동일한 수준을 보였고 하천간 비교에 있어서는 잎에 있어 동진강하구유역시료들이 만경강하구유역시료들에 비해 유의성 있게 높았으며 다른 부위에서는 큰 차이가 없었다.

특히 인간이 섭취하는 가식부인 현미에 있어 만경강

인근유역 현미 중 중금속별 평균함량은 Cd 0.10 ± 0.03 , Cr 0.99 ± 0.22 , Pb 2.07 ± 0.36 , Cu 4.44 ± 0.90 , Zn 32.03 ± 3.19 mg/kg이었고 동진강 인근 유역 현미 중 중금속별 평균함량은 Cd 0.14 ± 0.07 , Cr 0.74 ± 0.24 , Pb 1.78 ± 0.32 , Cu 4.57 ± 1.94 , Zn 33.6 ± 4.96 mg/kg으로 측정되었다. 이러한 결과는 김등¹⁶⁾이 만경강 유역의 벼 중 Cd 및 Zn함량에 관한 조사에서 보고한 현미 중 Cd함량 $0.10 \sim 0.90$ ppm(평균 0.139 ppm), Zn함량 $4.2 \sim 95.9$ ppm(평균 26.072 ppm)과 비교할 때 Cd는 거의 동일한 수준이었고 Zn은 본 연구결과에서 약간 높게 나타났으나 거의 비슷한 수준이었다. 또한 이 등¹⁷⁾이 보고한 인근 군산 · 장항 공단지역의 논토양에서 생산된 현미 중 Cd함량 $0.01 \sim 0.25$ ppm(평균 0.07 ppm), Pb함량 $0.65 \sim 2.65$ ppm(평균 1.74 ppm), Cu함량 $1.38 \sim 7.93$ ppm(평균 3.54 ppm), Zn함량 $11.73 \sim 21.43$ ppm(평균 16.53 ppm)등과 비교할 때 Cd는 1.4배, Pb는 1.2배, Cu는 1.3배, Zn은 2배 정도의 높은 수준으로 나타났으며 만경강과 동진강유역간의 현미중 중금속 함량을 비교해 보면 만경강 유역에서 재배되는 현미중의 Cr과 Pb 함량이 상대적으로 높은 수준으로 조사되었으나 유의성은 없었다.

2. 패류의 중금속함량

패류는 어류에 비해 유잉성과 이동성이 미약하여 서식지역의 환경변화를 파악할 수 있는 유용한 지표생물로 인식되고 있으며 아울러 식용으로서 오염의 피해가 인체에 직접적으로 전달되어지므로 위해성 측면에서 큰 중요성을 지니게 된다. 본 연구에서는 만경강 · 동진강 하구연안에서 대표적으로 채취되는 식용패류들인 백합 (*Mereteix lusoria*), 큰구슬우렁이 (*Neverita didyma*), 피빨고동 (*Rapana venosa*), 피조개 (*Anadara broughtomi*), 반지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 soft tissue내 중금속 함량을 측정하였으며 조사결과는 Fig. 3과 같다. 패류에서의 중금속함량은 조사된 모든 패류종에서 Zn>Cu>Cr>Cd>Pb의 순이었으며 벼의 경우와 비교하여 Cr의 함량수준이 Pb의 함량수준에 비해 높게 나타났다.

백합에서의 중금속 함량은 Cd; 1.03 ± 0.24 , Cr; 4.98 ± 0.91 , Pb; 1.09 ± 0.10 , Cu; 14.12 ± 4.69 , Zn; 57.14 ± 7.24 mg/kg으로 나타났다. 이 등²²⁾이 1984년 한국연안 진주담치의 중금속함량 조사에서 보고한 지역별 Cr 평균치인 임원 4.4 ppm, 반월 4.1 ppm, 여수 3.6 ppm. 진해만 2.7 ppm과 간접 비교할 때 본 연구결과는 그와 비슷한 수준이었으며 Bryan 등이 이패류인 *Scrobicularia planca*에 대해 보고한 $1.2 \sim 2.2$ ppm에 비해서는 높은 수준으로 나타났다.

큰구슬우렁이에서의 중금속 함량은 Cd; 1.18 ± 0.35 , Cr; 4.40 ± 0.83 , Pb; 1.13 ± 0.36 , Cu; 18.58 ± 4.99 , Zn; 67.31 ± 21.29 mg/kg으로 나타났다. 이 등²²⁾이 한국연안 진주담치의 중금속함량 조사에서 보고한 지역별 Cu평균치인 $3.7 \sim 6.6$ ppm과 비교할 때 본 연구결과에서 높은 수준으로 나타나 만경강 · 동진강 하구연안의 Cu오염이 상대적으로 클 것으로 예상되었다. 영국에 경우 식품에 있어 Cu의 허용한계가 20 mg/kg으로 권고되고 있으며 본 연구 조사치는 그 기준치 이내의 수준으로 나타났다.

피빨고동에서의 중금속 함량은 Cd; 1.95 ± 0.56 , Cr; 2.93 ± 0.41 , Pb; 0.93 ± 0.29 , Cu; 12.95 ± 4.03 , Zn; 56.74 ± 17.24 mg/kg으로 나타났다. 피빨고동의 경우는 유등²⁰⁾이 보고한 군산연안 피빨고동 중의 Cd 함량 1.19 ppm 및 심포 연안 피빨고동 중의 Cd함량 0.99 ppm에 비해서 $1.6 \sim 2.0$ 배 정도의 높은 수준이었으나 반면 이 등¹⁷⁾이 군산시 연안 식용패류 중 중금속함량조사에서 보고한 피빨고동 중의 Cd평균함량 7.36 ppm 및 피조개중의 Cd평균함량 1.92 ppm에 비해서는 낮은 수준으로 이등은 Cd함량이 높은 원인을 생물농축에 의한 Cd축적이 야기된 결과로서 서식지의 환경과 관련된 것으로 고찰하였다. 실제 Bryan 등²¹⁾은 이패류인

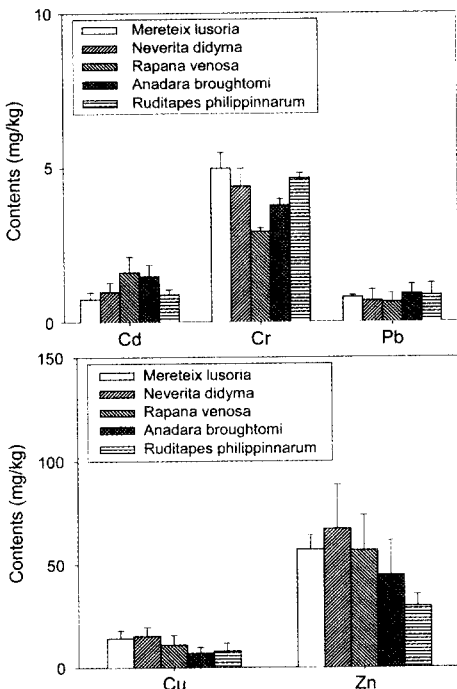


Fig. 3. Heavy metal contents in shellfish from the estuary area of Mankyeong-Dongjin river.

*Scrobicularia plana*의 Cd함량이 서식지에 따라 0.29~14.9 ppm으로 큰 농도 차이를 나타내고 있음을 보고한 바 있으며 일본에서는 비오염 지역에서 패류함량이 최고 1.76 ppm까지 측정된 바가 있다는 보고가 있어 앞으로 서식지 오염과의 관계에 대한 향후의 연구 검토가 있어야 할 것이다.

피조개에서의 중금속 함량은 Cd; 1.82 ± 0.43 , Cr; 3.87 ± 0.69 , Pb; 1.17 ± 0.32 , Cu; 8.41 ± 2.89 , Zn; 44.68 ± 16.83 mg/kg으로 나타났다. 이 등²²⁾이 한국연안 진주담치의 중금속함량 조사에서 보고한 지역별 Zn평균치인 50~72 ppm과 비교할 때는 거의 동일한 수준으로 나타났다.

반지락에서의 중금속 함량은 Cd; 1.08 ± 0.21 , Cr; 4.67 ± 0.72 , Pb; 0.90 ± 0.39 , Cu; 9.85 ± 3.83 , Zn; 29.81 ± 5.60 mg/kg으로 나타났다. 본 연구조사 결과는 이 등²²⁾이 1984년 한국연안 진주담치의 중금속함량 조사에서 보고한 지역별 Pb평균치인 임원 1.12 ppm, 반월 0.65 ppm, 여수 1.14 ppm, 진해만 1.09 ppm과 비교할 때 비슷한 수준으로 나타났다. 어패류 중 Pb의 식이 허용 한계 기준치를 네덜란드는 2 ppm, 영국 및 캐나다는 10 ppm으로 하는 것과 비교할 때, 본 연구의 조사치들은 모두 그 기준치 이하였다.

만경강·동진강 하구연안의 서식패류를 대상으로 중금속함량을 조사한 상기의 연구결과로부터 이 지역의 중금속오염이 심화되고 있는 것으로 판단되며 식품으로서의 위해성 문제와도 관련하여 앞으로도 지속적인 연구, 감시노력이 필요할 것으로 사료된다. 또한 본 연구결과와 중금속 함량 조사치가 다른 연구 결과들에 비해 전반적으로 높게 나타난 바 이에 대해서는 시료 전처리의 차이에 의한 영향 등을 면밀히 검토해야 할 것이다.

3. 망둑어 중의 중금속함량

망둑어는 기수역 및 연안역에 서식하는 내해성 어류로서 만경강, 동진강 기수역 및 연근해에서 낚시 등에 의해 포획되어 회감 등으로서 식용되고 있다. 본 연구에서는 연안수계오염을 반영할 수 있는 지표생물종으로서, 또한 식품으로서의 보건학적 측면에서 망둑어의 부위별 중금속함량을 측정하였으며 그 조사결과는 Fig. 4와 같다.

뼈에서의 중금속 평균 함량은 Cd; 0.43 ± 0.12 , Cr; 4.59 ± 1.28 , Pb; 4.36 ± 0.90 , Cu; 3.04 ± 0.86 mg/kg으로 나타났다. 원²³⁾은 1973년 한국산 어류 72종에 대한 중금속 평균 함량이 Cd는 0.07 ppm, Cu는 0.54 ppm으로 보고한 바 본 연구결과는 이와 비교하여 6배 정도

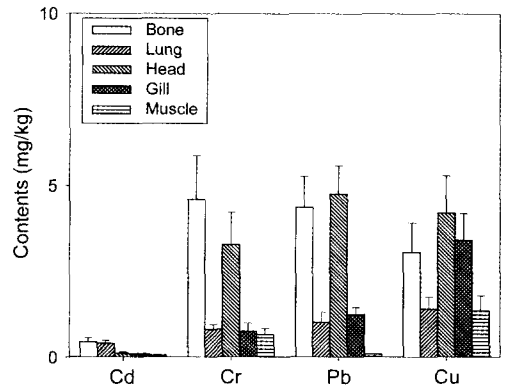


Fig. 4. Distribution of heavy metals in *Acanthogobius hasta* from the estuary area of Mankyong-Dongjin river.

의 높은 수준으로 나타났다.

폐에서의 중금속 평균 함량은 Cd; 0.39 ± 0.09 , Cr; 0.80 ± 0.14 , Pb; 1.01 ± 0.29 , Cu; 1.40 ± 0.35 mg/kg으로 나타났다. 어류에 있어 Cd에 대한 각국의 규제치를 보면 오스트레일리아에서와 같이 최하 0.2 ppm이하인 경우도 있으나 대개 1.0~2.0 ppm에서 규제되고 있어 본 연구결과 서해안 망둑어의 경우 아직은 큰 Cd오염의 염려가 없는 것으로 평가된다.

두부에서의 중금속 평균 함량은 Cd; 0.10 ± 0.04 , Cr; 3.27 ± 0.95 , Pb; 4.75 ± 0.82 , Cu; 4.19 ± 1.09 mg/kg으로 나타났다. 어류에 있어 Cr 함량 및 분포에 대한 연구결과는 매우 제한되어 있어 본 연구결과와의 비교검토가 어려우며 따라서 알려지된, 발암성 등의 Cr과 관련된 위해성을 감안할 때 앞으로 이에 대한 많은 관심과 연구노력이 필요할 것으로 사료된다.

아가미에서의 중금속 평균 함량은 Cd; 0.08 ± 0.03 , Cr; 0.75 ± 0.23 , Pb; 1.23 ± 0.21 , Cu; 3.40 ± 0.78 mg/kg으로 나타났다. 어류에 있어 Cu에 대한 각국의 규제치를 보면 대개 10~30 ppm에서 규제되고 있어 본 연구결과와 서해안 망둑어의 경우 아직은 Cu오염의 큰 염려가 없는 것으로 평가된다.

근육질에서의 중금속 평균 함량은 Cd; 0.05 ± 0.01 , Cr; 0.65 ± 0.18 , Pb; 0.08 ± 0.02 , Cu; 1.34 ± 0.44 mg/kg으로 나타났다. 원²³⁾은 1973년 한국산 어류 72종에 대한 중금속 평균 함량이 Cd는 0.09 ppm, Cu는 1.39 ppm으로 보고한 바 본 연구결과는 이와 비교하여 비슷한 수준으로 나타났다.

이러한 망둑어에 있어 부위별 중금속 함량분포 결과로부터 조사된 중금속은 전반적으로 뼈에 높은 함량으로 축적되며 주요 기식부인 근육질에 가장 낮은 함량 수준으로 분포함을 알 수 있었다.

IV. 결 론

만경강, 동진강 기수역에서 하구에 이르는 지역내 버, 패류, 어류 등의 생물체에 대한 중금속오염 실태를 분석하여 오염의 실태와 생물체내 중금속의 거동을 규명하고자 수행한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

벼에서의 중금속 평균함량은 조사된 모든 부위에서 $Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$ 의 순으로 나타났다. Cd, Cr, Pb, Cu의 함량은 모두 앞에서 가장 높은 수준을 보였고 현미에서 가장 낮은 수준으로 나타났으며 Zn함량은 조사된 모든 부위에서 거의 동일한 수준을 보였다.

패류에서의 Cd 평균함량은 1.03~1.95 mg/kg로 피뿔고동에서 가장 높았고 Cr평균함량은 2.93~4.98 mg/kg로 백합, 반지락, 큰구슬우렁이 등에서 비슷한 높은 함량수준을 나타내었으며 Pb평균함량은 0.90~1.17 mg/kg로 모든 대상패류들에서 거의 비슷한 함량수준을 보였다. 또한 Cu평균함량은 백합 8.41~8.58 mg/kg로 큰구슬우렁이와 백합에서 높은 평균함량수준을 보였고 Zn평균함량은 29.81~67.31 mg/kg로 큰구슬우렁이, 백합, 피뿔고동에서 높은 평균함량수준을 나타내었다.

망둑어에 있어 Cd평균함량은 부위별로 0.05~0.43 mg/kg, Cr평균함량은 0.65~4.59 mg/kg, Pb평균함량은 1.01~4.75 mg/kg, Cu평균함량은 1.34~4.19 mg/kg으로 각각 나타났으며 중금속이 전반적으로 뼈와 두부에 높은 함량으로 축적되며 근육질에 가장 낮은 함량수준으로 분포함을 알 수 있었다.

본 연구결과로부터 만경강 · 동진강지역의 중금속오염이 심화되고 있음을 알 수 있었으며 식품으로서의 위해성 문제와도 관련하여 앞으로도 지속적인 감시노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Michael, C. N. and McIntosh, A. W.: Metal ecotoxicology. Lewis Publishers, 33-64, 1991.
- 2) Zaranyika, M. F.: Concentration of Cd, Cu, Ni, Pb, Zn in Bream, *Oreochromis Macruchir*, during the 1996 mass fish deaths in lake Chivero, Zimbabwe, *J. Environ. Sci. Health*, **A32**(7), 1895-1906, 1997.
- 3) Ikuta, K.: Concentration thresholds in accumulation of heavy metals by *Haliotis discus* and *Batillus cornutus*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**(9), 1963-1678, 1987.
- 4) Galindo, L., Hardisson, A. and Montelongo F. G.: Correlations between lead, cadmium, copper, zinc, and iron concentrations in frozen Tuna fish, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **36**, 595-608, 1986.
- 5) Goyer, R. A.: Toxic effects of metals. In Amdur, M. O., Doull, J. and Klaassen, C. D.: Toxicology. 5th edition, Pergamon Press Inc., New York, 846-651, 1996.
- 6) 정명규, 나규환, 이상훈, 이종화, 감상규, 황갑수, 안혜원 역 : 환경독성학, 동화기술, 2000.
- 7) Jamall, I. S. and Smith, J. C.: Effects of cadmium on glutathione peroxidase, superoxide dismutase, and lipid peroxidation in the rat heart: A possible mechanism of cadmium cardiotoxicity, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **80**, 33-42, 1985.
- 8) 이필용, 박종수, 윤금용 : 온산만의 중금속오염에 관한 연구. 수진연구보고, **43**, 41-47, 1989.
- 9) 조영길, 김주용 : 영산강 하상 퇴적물의 중금속 함량, 한국 환경과학회지, **7**(3), 281-290, 1998.
- 10) Andersen, V., Maage, A. and Johannessen, P. J. : Heavy metals in blue mussels (*Mytilusedulis*) in the Bergen Harbor area, Western Norway, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **57**, 589-596, 1996.
- 11) Burggraaf, S., Wilkins, A. L., Langdon, A. G., and Kim, N. D.: Heavy metals and organic carbons in sediments from the Waikareao estuary, Tauranga Harbour, New Zealand, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **58**, 871-878, 1997.
- 12) Cope, W. G., Wiener, J. B. and Atchison, G. J.: Hepatic cadmium, metal binding proteins and bioaccumulation in bluegills exposed to aqueous cadmium, *Environ. Contam. Chem.*, **13**(4), 553-562, 1994.
- 13) Balk, L., Frlin, L., S derstr m, M. and Larsson, A.: Indication of regional and large-scale biological effects caused by bleached pulp mill effluents, *Chemosphere*, **27**(4), 631-650, 1993.
- 14) Miramand, P and Bentley, D.: Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinnalis*, from the French coast of the English Channel, *Marine Biology*, **114**, 407-414, 1992.
- 15) 현대용, 이동배 : 충남 서해안 어패류의 중금속 함량 조사. 충남대학교 논문집, **6**, 65-80, 1994.
- 16) 김성조, 백승화, 김운성, 윤기운, 문광현, 강경원 : 만경강 유역의 토양과 수도체중 Cd, Al, Zn함량의 변화, 한국환경농학회지, **13**, 142-150, 1994.
- 17) 이진하 : 군산·장항 해안지역의 해수, 토양 및 농수산물 중 중금속의 동태, 박사학위논문 전북대학교, 1995.
- 18) 백덕우, 권석우, 신광묵, 김준환, 김오한, 소요섭, 박진상, 안장수 : 어류종의 미량금속 분포에 관한 조사연구, 국립보전원보, **22**, 471, 1985.
- 19) 김길생외 : 식품중의 미량금속에 관한 조사연구(연안 패류종의 미량금속 함량량에 관하여), 국립보전원보, **28**(2), 354-365, 1991.
- 20) 유일수, 이종섭, 소진탁, 김재진 : 만경강 및 금강하구 지역 패류의 중금속 함량, 한국 패류학회지, **7**(1), 87-93, 1991.
- 21) G. W. Bryan, L. G. Hummerstone: Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia Plana* from contaminated and uncontaminated estuaries, *J. mar. biol. Ass. U. K* **58**, 401-419, 1978.
- 22) 이수행, 이광우 : 한국해안 진주담치의 중금속 함량, 한국해양소보, **19**, 2, 111-117, 1984.
- 23) 원종훈 : 한국산 어패류 중 Hg, Cd, Pb, Cu의 함량, 한국 수산학회, **6**(1,2) 1-19, 1973.