

## 낙동강 본류에 서식하는 붕어에서의 총수은 및 유기수은 함량

경북대학교 보건대학원

최 영 · 김 두 희

### Contents of Total and Organic Mercury in Bone, Muscle and Fin of *Carassius carassius* Middle Stream of Nakdong River, Korea

Young Choi, Doo Hie Kim

Graduate School of Public Health, Kyungpook National University

#### =ABSTRACT=

This study was conducted to examine the levels of mercury in tissue of *Carassius carassius* collected at five areas(Andong, Sangju, Waekwan, Gangjung and Gaejin) in Nakdong river from February to March, 1993.

The contents of total and organic mercury were determined by methods of Gold amalgam and Selective atomic absorption with mercury analyzer(Model SP-3A).

The total mercury contents in muscle were  $0.148 \pm 0.0646$  ppm by the Gold amalgam, and  $0.113 \pm 0.0345$  ppm by the Selective atomic absorption, but in all parts of *Carassius carassius* were  $0.342 \pm 0.4235$  ppm and  $0.240 \pm 0.2974$  ppm respectively. These two methods were extremely high correlated( $r=0.9812$ ,  $p<0.001$ ).

The mean value of total and organic mercury by the two methods was high in the order of bone > fin > muscle, respectively, and the proportion of organic mercury to the total was 69.0%.

Mean value of total and organic mercury in the muscle was the highest at Waekwan located in middle basin of Nakdong river, and in the bone and fin was the highest at Andong dam located in upper basin.

According to sizes and parts of fish, the concentration of mercury was the highest in the muscle of 15-19 cm group, the highest in the bone of 10-14 cm group and in the fin of 20-24 cm group.

**Key words** : Total and organic mercury, *Carassius carassius*, Bone, Muscle, Fin

## 서 론

생체에 대한 중금속의 필요성 및 독성에 관한 연구는 수계기 동안 생물학을 비롯하여 여러 분야에서 다루어져 왔으나 이들이 인체에 미치는 생화학적 역할을 계통적으로 밝히기 시작한 것은 지난 4반세기에 불과하다(Vollee와 Ulmer, 1972).

현대문명과 산업의 발전에 따라 환경은 점차 오염되고 특히 공장배수의 증가나 농약의 다량 사용 등으로 수은이 먹이사슬을 통하여 생체에 까지 영향을 미쳐 심각한 문제를 야기시키는 것으로 보고되고 있다(Friberg와 Vostal, 1972).

중금속 중에서도 유일한 액체금속인 수은의 유기화합물이나 무기화합물들은 각종 이화학기구와 전기기구에 사용되며, 염료, 농약 및 의약품으로도 사용될 뿐 아니라 하제를 비롯하여 매독 치료제나 소독제와 이뇨제 등으로 유용하게 사용되어 왔다. 그러나 점차 수은의 독성이 밝혀지면서 이러한 수은 제재들의 사용은 점차 감소하고 있는 실정이다(Vollee와 Ulmer, 1972).

일부 학자들(Shin와 Krenkel, 1976; 本多均 등, 1978; Boudou 등, 1979)의 보고에 의하면 무기수은 화합물들은 어류의 체내에서 메칠화되거나 미생물, 광학적 반응 등의 영향으로 유기수은화 되어 축적된다고 한다. WHO(1989) 보고에 의하면 인간은 모든 오염원으로 부터 매일 2.4 g의 유기수은을 섭취하며 그 중 2.3 g이 혈액 내로 흡수되는 것으로 추정하고 있으며, Tollefson과 Cordle(1986)은 소량의 생선 섭취도 혈중 유기수은 함량에 영향을 미친다고 하였다.

우리 나라에서도 각종 산업배수 및 가정하수에 의해, 그리고 농약 및 화학비료의 사용 증가로 인해 하천오염이 날로 심화되고 있음은 많은 연구자들에 의해 보고되어 왔으며(이흥근, 1982; 노기안, 1987), 그 중 중금속에 의한 중독문제가 사회적으로 부상되면서 하천수 및 경작 도양은 물론 각종 어패류에 대한 중금속 함량 조사가 보고되고 있다(원종훈, 1982; 하호성과 허중수, 1982).

김성현과 김두희(1987)는 남강 담수어 중의 중금속 함량 조사를, 김두희 등(1988)은 낙동강

중류의 수질과 그 수계에 서식하는 붕어의 납, 카드뮴 및 아연과의 관계를, 이원식(1992)은 해산 어패류와 그 제품 섭취양상에 따른 총수은 및 유기수은의 체내 축적정도 및 그 조리방법에 따른 총수은 및 유기수은 함량을 분석보고 하였다. 그의 국내 연안 해역의 어패류에 함유된 수은 함량을 조사한 결과(김명희와 박성배, 1980, 1981, 1982; 김명희 등, 1984; 백덕우 등, 1985; 문도종 등, 1985; 백덕우, 1986; 권우창 등, 1989; 박재홍 등, 1990) 그 함량은 어종에 따라 차이가 많으며, 일부 어패류에서는 일본의 허용치인 0.4 ppm을 초과한 것도 있다고 했다. 이와같이 어패류에 축적된 중금속 함량에 대한 여러 조사 중 낙동강 담수어의 총수은 함량을 밝힌 보고는 있었으나 유기수은 함량을 밝힌 보고는 없어, 본 연구는 우리나라 4대강의 하나인 낙동강 수계의 담수어 중 사 수역에서 고수 채집할 수 있는 붕어종을 채집하여 수역별, 부위별, 크기별, 총수은 및 유기수은 함량을 분석하여 다소의 성적을 얻었기에 보고하는 바이다.

## 재 료 및 방 법

### 1) 재 료

낙동강의 본류인 안동댐, 상주 낙동교, 왜관교, 강정 취수장 및 개진면 개포리의 5개 지점에서 붕어(*Carassius carassius*)를 1993년 2-3월 사이에 천지 어부와 함께 포획하였으며 그 수는 Table 1과 같다. 한 지역당, 한 크기군에서 잡힌 붕어를 모두 합하여 하나의 sample로 하였으며 이를 3부위(근육, 뼈, 지느러미)로 나누어 전체 5지역 4개 크기군에서 총 60개의 시료를 만들었다.

### 2) 총수은 및 유기수은 분석방법

가열기화 금아말감법에 의해 총수은 함량을 분석하였으며, 선택적 환원기화법에 의해 총수은 및 유기수은 함량을 분석하였다.

(1) 가열기화 금아말감법(Combustion-gold amalgamation method)

Table 1. Case of *Carassius carassius* in five sites

Size	Andong	Sangju	Waekwan	Gangjung	Gaejin
25-29cm	5	4	3	4	4
20-24cm	6	4	3	4	3
15-19cm	4	11	7	4	3
10-14cm	3	21	5	6	9

가) 분석원리

시료를 고온으로 회화시켜 분해한 후 귀금속의 표면에 Hg-amalgam을 형성하게 하여, 가열함으로써 유리된 수은증기를 원자흡광장치의 흡수셀로 도입, 흡광도를 측정하는 방법이다.

나) 시료의 조제 및 총수은 분석

채집된 붕어를 달이온수로 세척 후 물기를 제거하고, 한 크기군에 속하는 붕어들을 해부세트(근육, 뼈, 지느러미)의 3부위로 나눈 다음, 각 붕어에서 일정량 씩을 균등히 취하여 호모게나이저 한 후 110°C 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켰다. 이렇게 하여 수분을 측정하여 둔 후, 유발로 갈아서 20-50mg 씩 정확하게 칭량하여 sampling boat에 취하여 전기로에 넣고 Table 2의 조건에 따라 수은함량을 측정, 표준검량선에 의해 시료중의 농도를 구하였으며 3회 반복 실험을 하여 산술평균값을 취하였다.

(2) 환원기화법

가) 분석원리

시료를 습식분해한 후 시험용액중의 수은을 환원제로 환원시킨 다음 공기의 흐름을 이용하여 원자흡광장치의 흡수셀로 도입 그 흡광도를 측정하는 방법으로서 시료 중의 수은화합물을 산성상태에서 L-cysteine과 착염을 형성시킨 후 NaOH로 높은 pH(알칼리성) 상태로 바꾸고 SnCl<sub>2</sub>를 넣으면 무기형태의 수은만을 금속수은 증기로 선택적으로 환원(무기수은)시키며, SnCl<sub>2</sub>-CdCl<sub>2</sub>를 넣으면 무기와 유기형태의 수은이 모두 금속수은증기로 환원(총수은)된다. 따라서 총수은 함량에서 무기수은 함량을 빼면 유기수은 함량이 된다(Magos, 1971).

나) 시료의 조제 및 총수은과 유기수은 함량 분석

채집된 붕어를 달이온수로 세척 후 물기를 제

Table 2. The operating condition of Rigaku Mercury analyzer sp-3

Classification	Sample	Standard solution (1 µg/ml)	Fish (dry)
Sample amount		20, 40, 60, 80µd	20-50mg
Heating condition	mode selector panel time	High	Low
		1st step 2nd step	4 min 6 min
Additive		Unnecessary	* M→S→M→B→M
Washing liquid		Distilled deionized water	
Measuring range		100 ng 20 mV	
** Gas flow rate (l/min)	combustion carrier	0.5	
		0.3	

\* M : Sodium carbonate(anhydrous) : Calcium hydroxide=1 : 1(w/w)

B : Aluminium oxide

S : Sample

M, B : Additive should be used after heating treatment at 800°C, for 2hrs in air and cooling about 10 minutes

\*\* Purified air

거하고, 한 크기군에 속하는 붕어들을 해부세트  
로 근육, 뼈, 지느러미의 3부위로 나눈 다음, 각  
붕어에서 일정량씩 균등히 취하여 호모게나이저  
한 후 110°C 건조기에서 함량이 될 때까지 건조  
시켜 수분을 측정하고 유발로 갈아서 시료로 하  
였다. 전자천평으로 0.1-0.5g을 정확히 칭량하여  
밀이 평평한 시험관에 담고 45% NaOH용액과  
1% L-cysteine용액, 20% NaCl용액을 각각 2ml  
씩 넣었다. 이를 65°C 항온수조에 넣어서 가끔  
흔들면서 1시간 가열 분해한 후 즉시 냉각시키고  
그 후 20% NaCl용액을 가하여 총 20ml로 맞추  
어 분석시료로 하였다.

ㄱ) 총수은 분석: 5ml의 시료에 1% L-  
cysteine용액 1ml와 1% NaCl용액 18ml를 넣고  
16N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액 10ml를 가한 후 SnCl<sub>2</sub>-CdCl<sub>2</sub> 용  
액 1ml를 넣어 수은을 환원시킨 다음 45%  
NaOH용액 20ml를 가하여 선택적 환원기화법으  
로 공기의 흐름을 이용하여 원자흡광장치의 흡  
수셀로 도입, 최고치를 측정한다.

ㄴ) 무기수은 분석: 총수은 분석법과 같으나  
SnCl<sub>2</sub>-CdCl<sub>2</sub>용액 대신에 SnCl<sub>2</sub> 용액 1ml를 사용  
하였다.

## 성 적

가열기화 금아말감법과 선택적 환원기화법에  
의한 5개 전 지역의 부위별 총수은 함량은 뼈, 지  
느러미, 근육 순으로 많고 뼈가 0.575±0.6107  
ppm, 0.399±0.4419 ppm 근육부가 0.148±0.  
0461 ppm, 0.113±0.0345 ppm 평균이 0.342±0.

4235 ppm, 0.240±0.2974 ppm으로 전체적으로  
가열기화 금아말감법에 의한 함량이 높게 나타  
났으며 두 방법간의 상관성은 r=0.9812(p<0.  
001)으로 나타났다.

선택적 환원기화법에 의한 유기수은, 총수은  
에 대한 유기수은의 비율은 뼈 0.265±0.2967  
ppm, 65.9±3.46%, 지느러미 0.138±0.1228  
ppm, 66.8±2.61%, 근육이 0.078±0.0247 ppm,  
69.0±3.50%으로 부위간에 유의한 함량 차이를  
보였다(p<0.01, Table 3).

크기를 고려하지 않은 붕어 근육부에서의 지  
역별 수은 함량을 살펴본 결과 총수은 및 유기수  
은 함량은 왜관이 각각 0.130±0.0619 ppm, 0.  
089±0.0408 ppm으로 가장 높았고 상주가 0.  
091±0.0154 ppm, 0.060±0.0128 ppm으로 가장  
낮았으며, 상류쪽 보다는 하류쪽에서 높은 경향  
이 있었지만 유의한 차이는 아니었다. 총수은에  
대한 유기수은의 비율은 안동이 70.8±4.22로 가  
장 높았고, 평균 69.1±3.50%였다 (Table 4).

뼈에서의 총수은, 유기수은 함량은 모두 안동  
이 1.211±0.2192 ppm, 0.813±0.1364 ppm으로  
가장 높았고, 강정이 0.124±0.0577 ppm, 0.  
081±0.0363 ppm으로 가장 낮았다(p<0.01). 그  
러나 근육과는 반대로 하류쪽 보다 상류쪽으로  
갈 수록 함량이 높았다. 총수은에 대한 유기수은  
의 비율은 왜관이 69.8±1.33%으로 가장 높았으  
며 평균 65.9±3.46%였다(p<0.01, Table 5).

지느러미에서의 총수은, 유기수은 함량은 뼈  
와 같이 안동에서 0.445±0.1888 ppm, 0.290±0.  
1388 ppm로서 가장 높았고 강정이 0.060±0.  
0223 ppm, 0.039±0.0144 ppm으로 가장 낮았다

Table 3. Mercury contents in body parts of *Carassius carassius*

Part	No.	Total 1	Total 2	Organic	Organic / Total
		Mean ± S. D.	Mean ± S. D.	Mean ± S. D.	Mean ± S. D.
Muscle	20	0.113±0.0345ppm	0.148±0.0461ppm	0.078±0.0247ppm	69.0 ± 3.50%
Bone	20	0.399±0.4419	0.575±0.6107	0.265±0.2967	65.9 ± 3.46
Fin	20	0.207±0.1825	0.303±0.2888	0.138±0.1228	66.8 ± 2.61
Kruskal-Wallis test		p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
Total	60	0.240±0.2974	0.342±0.4235	0.160±0.1989	67.2 ± 3.43
r=0.9812(p<0.001)					

Total 1 : Total mercury content by selective atomic absorption method

Total 2 : Total mercury content by combustion-gold amalgamation method

Table 4. Mercury contents in muscle of *Carassius carassius* by the area

Area	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
Andong	4	0.102 $\pm$ 0.0069ppm	0.072 $\pm$ 0.0072ppm	70.8 $\pm$ 4.22%
Sangju	4	0.091 $\pm$ 0.0154	0.060 $\pm$ 0.0128	65.4 $\pm$ 3.39
Waekwa	4	0.130 $\pm$ 0.0619	0.089 $\pm$ 0.0408	69.2 $\pm$ 2.34
Gangjung	4	0.118 $\pm$ 0.0322	0.083 $\pm$ 0.0253	70.0 $\pm$ 4.02
Geejin	4	0.125 $\pm$ 0.0313	0.088 $\pm$ 0.0235	70.0 $\pm$ 1.73
Kruskal-Wallis test		N.S	N.S	N.S
Total	20	0.113 $\pm$ 0.0345	0.079 $\pm$ 0.0248	69.1 $\pm$ 3.50

Table 5. Mercury contents in bone of *Carassius carassius* by the area

Area	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
Andong	4	1.211 $\pm$ 0.2192ppm	0.813 $\pm$ 0.1364ppm	67.2 $\pm$ 0.82%
Sangju	4	0.348 $\pm$ 0.1998	0.217 $\pm$ 0.1397	60.9 $\pm$ 3.78
Waekwan	4	0.151 $\pm$ 0.0364	0.106 $\pm$ 0.0270	69.8 $\pm$ 1.33
Gangjung	4	0.124 $\pm$ 0.0557	0.081 $\pm$ 0.0363	66.0 $\pm$ 1.70
Gaejin	4	0.163 $\pm$ 0.0689	0.107 $\pm$ 0.0454	65.6 $\pm$ 0.40
Kruskal-Wallis test		p<0.01	p<0.01	p<0.01
Total	20	0.399 $\pm$ 0.4419	0.265 $\pm$ 0.2967	65.9 $\pm$ 3.46

Table 6. Mercury contents in fin of *Carassius carassius* by the area

Area	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
Andong	4	0.445 $\pm$ 0.1888ppm	0.290 $\pm$ 0.1388ppm	64.3 $\pm$ 3.14%
Sangju	4	0.341 $\pm$ 0.1045	0.234 $\pm$ 0.0665	68.9 $\pm$ 1.82
Waekwan	4	0.109 $\pm$ 0.0187	0.073 $\pm$ 0.0113	66.8 $\pm$ 1.91
Gangjung	4	0.060 $\pm$ 0.0223	0.039 $\pm$ 0.0144	66.1 $\pm$ 2.65
Gaejin	4	0.079 $\pm$ 0.0298	0.053 $\pm$ 0.0190	67.9 $\pm$ 1.74
Kruskal-Wallis test		p<0.01	p<0.01	N. S
Total	20	0.207 $\pm$ 0.1825	0.138 $\pm$ 0.1228	66.8 $\pm$ 2.61

(p<0.01). 그리고 하류에서 상류쪽으로 갈수록 함량이 높아졌다. 총수은에 대한 유기수은의 비율은 상주가 68.9 $\pm$ 1.82%로서 가장 높았지만 유의한 차이는 없었다. 평균 비율은 66.8 $\pm$ 2.61 ppm이었다 (Table 6).

지역을 고려하지 않은 근육부에서의 붕어 크기별 수은 함량을 알아본 결과, 총수은 및 유기수은 함량은 모두 15-19cm 군이 0.142 $\pm$ 0.0488 ppm, 0.099 $\pm$ 0.0334 ppm.으로 가장 높고, 25-

29cm 군이 0.086 $\pm$ 0.0098 ppm, 0.059 $\pm$ 0.0089 ppm으로 가장 낮았다(p<0.05). 총수은에 대한 유기수은의 비율은 20-24cm 군이 70.6 $\pm$ 3.30%로 가장 높았으나 유의한 차이는 없었다 (Table 7).

뼈에서의 총수은, 유기수은 함량은 10-14cm 군이 각각 0.455 $\pm$ 0.4496 ppm, 0.305 $\pm$ 0.3042 ppm으로 가장 높았고, 25-29cm 군이 0.321 $\pm$ 0.4325 ppm, 0.212 $\pm$ 0.2942 ppm으로 가장 낮았으

Table 7. Mercury contents in muscle of *Carassius carassius* by the size

Size	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
25-29cm	5	0.086 $\pm$ 0.0098ppm	0.059 $\pm$ 0.0089ppm	67.9 $\pm$ 3.72%
20-24	5	0.113 $\pm$ 0.0240	0.079 $\pm$ 0.0162	70.6 $\pm$ 3.30
15-19	5	0.142 $\pm$ 0.0488	0.099 $\pm$ 0.0334	69.9 $\pm$ 2.37
10-14	5	0.109 $\pm$ 0.0249	0.075 $\pm$ 0.0201	67.8 $\pm$ 4.53
Kruskal-Wallis test		P<0.01	p=0.084	N. S

Table 8. Mercury contents in bone of *Carassius carassius* by the size

Size	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
25-29cm	5	0.321 $\pm$ 0.4325ppm	0.212 $\pm$ 0.2942ppm	65.4 $\pm$ 4.99%
20-24	5	0.442 $\pm$ 0.6126	0.289 $\pm$ 0.4055	65.2 $\pm$ 3.50
15-19	5	0.379 $\pm$ 0.3858	0.253 $\pm$ 0.2613	66.2 $\pm$ 3.50
10-14	5	0.455 $\pm$ 0.4496	0.305 $\pm$ 0.3042	66.7 $\pm$ 2.36
Kruskal-Wallis test		N. S	N. S	N. S

Table 9. Mercury contents in fin of *Carassius carassius* by the size

Size	No.	Total	Organic	Organic / Total
		Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.	Mean $\pm$ S. D.
25-29cm	5	0.148 $\pm$ 0.1329ppm	0.098 $\pm$ 0.0830ppm	68.3 $\pm$ 3.77ppm
20-24	5	0.248 $\pm$ 0.2843	0.170 $\pm$ 0.1960	67.3 $\pm$ 2.21
15-19	5	0.199 $\pm$ 0.1477	0.131 $\pm$ 0.0986	65.8 $\pm$ 1.81
10-14	5	0.233 $\pm$ 0.1745	0.152 $\pm$ 0.1143	65.8 $\pm$ 2.15
Kruskal-Wallis test		N. S	N. S	N. S

나 유의한 차이는 없었다. 총수은에 대한 유기수은의 비율은 10-14cm 군이 66.7 $\pm$ 2.36%로 가장 높았으나 유의한 차이는 없었다(Table 8).

지느러미에서의 총수은 및 유기수은 함량은 20-24cm 군이 0.248 $\pm$ 0.2843ppm, 0.170 $\pm$ 0.1960ppm으로 가장 높았고, 25-29cm 군이 0.148 $\pm$ 0.1329ppm, 0.098 $\pm$ 0.0830ppm으로 가장 낮았으나 유의한 차이는 없었다. 총수은에 대한 유기수은의 비율은 25-29cm 군이 68.3 $\pm$ 3.77ppm로 가장 높았으나 유의한 차이는 없었다(Table 9).

## 고 찰

수은 화합물은 의료에 사용되기도 하지만, 농업에서 공업에 이르기까지 용도가 매우 넓으며 대량으로 생산하여 사용되고 있어 갖가지 형태로 우리들의 생활 환경을 오염시키고 있다. 생체와의 관계에서 보통 무기수은이라고 불리는 원자가 0의 금속수은과 1가 2가의 무기이온형 수은 그리고 저급알킬수은을 비롯한 유기수은 화합물들은 각각 상이한 동태를 나타내고 있다(대한약학대학협의회, 1984).

수은의 사용량이 증가됨에 따라 수은 화합물은 대기, 토양 뿐만 아니라 하천과 호수 및 해양에 축적되고 채굴들과 동, 식물성 플랑크톤에 섭취되어 유기수은 화합물인 메틸수은으로 전환되며, 식품연쇄계를 통하여 어패류 체내에 농축되

는 것으로 알려져 있어(Handerson 등, 1972) 저자는 낙동상에 서식하는 담수어 중 주로 전 수역에 고루 분포되어 있는 붕어를 택하여 총수은 및 유기수은 함량 정도를 조사해 보았다.

먹이연쇄의 최종 소비자인 사람에게서 수은 중독 증상의 발현은 두발과 혈액에서 총수은 함량이 각각 50 ppm, 0.2 ppm 이상에서 일어날 수 있다고 하며(Kyle과 Ghani, 1982), 정신계 독소로 작용하여 인체 전반에 영향을 미칠 수 있으나, 특히 신경조직에 지대한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(WHO, 1976). 신경계에 미치는 초기 증상으로는 권태감, 이상감각증(paraesthesia)등이 나타나고, 말기에는 시야가 흐려지기도 하고 청력장애, 구음장애로 발전될 수 있다고 한다(WHO, 1976). 그 외에도 유기수은에 장기적으로 노출되었을 때는 염색체 손상이 나타난다고 한다(Wulf 등, 1986).

총수은과 무기수은 및 유기수은의 일일 섭취 정도를 추정한 결과는 생선과 생선제품을 통한 총수은 섭취가 3 $\mu$ g이라고 하며 그중 20%(0.6 $\mu$ g/day)는 무기수은이고 80%(2.4 $\mu$ g/day)는 유기수은이라고 한다. 또한 생선 이외의 대부분의 식품중에 함유된 수은은 주로 무기형태이며 인체에 들어온 수은중 장관을 통한 흡수량은 무기수은이 약 7%인데 비해 유기수은은 95%라 한다(WHO, 1976; Walsh, 1982; Fang, 1980).

본 연구는 가열기하금야말감염(이하 회화법이라고 함)에 의해 총수은을 분석하고 또한 Magos와 Clarkson(1972)의 선택적 환원기화법에 의하여 총수은과 유기수은을 분석하여 두 방법간의 총수은함량을 비교하였으며, 유기수은함량과 총수은에 대한 유기수은의 비율을 밝혔다. 회화법에 의한 결과로서 본 연구에서는 총수은 함량이 근육 0.148 $\pm$ 0.0461 ppm, 뼈 0.575 $\pm$ 0.6107 ppm, 시노리미 0.303 $\pm$ 0.2888 ppm으로 뼈>시노리미>근육 순으로 높게 나타났는데 비해, 김명희 등(1982)은 붕어체내 총수은 함량이 근육>간>뼈>아가미 순이었으며 근육 0.209 $\pm$ 0.019 ppm, 뼈 0.111 $\pm$ 0.009 ppm이라고 밝혀 본 조사보다 근육에서는 높게 나타난 반면 뼈에서는 아주 낮게 나타났다. 낙동강 이외의 지역에서 붕어종의 총수은 함량을 밝힌 자료중 김명희 등(1980, 1981)에 의하면 근육과 뼈중 함량이 한강에서는

0.234 ppm, 0.084 ppm, 금강에서는 0.313 ppm, 0.149 ppm이라 하여 역시 본 조사보다 근육에서는 높게, 뼈에서는 낮게 나타났다. 홍석순 등(1991)은 영산강에서 오염지역의 근육, 뼈에서는 0.129 ppm, 0.041 ppm, 오염우려지역의 근육, 뼈에서는 0.133 ppm, 0.034 ppm, 비오염지역의 근육, 뼈에서는 0.120 ppm, 0.065 ppm이라고 하여 세지역 모두 본 연구에서의 근육 수치보다 낮았으며, 어수미 등(1987)은 한강에서 근육 0.089 ppm, 뼈 0.065 ppm 이라고 밝혀 김명희 등에 의한 한강에서의 근육, 뼈 수치와 다소의 차이를 나타냈다. 시기와 장소, 측정방법, 그리고 측정자의 정밀도에 따라 다르겠지만 본 연구에서 근육중의 총수은 함량이 다른 지역 붕어에서의 근육중 함량과 비교해 볼 때 다소 낮게 나타났으나 뼈 중의 총수은 함량은 월등히 높게 나타났는데, 이는 5개 지역중 안동지역의 뼈중 함량이 높는데 기인한 것으로 이 지역의 시료에서 심하게 오염된 것이 있지 않았나 추정된다.

선택적 환원기화법에 의한 총수은 함량은 근육 0.113 $\pm$ 0.0345 ppm, 뼈 0.399 $\pm$ 0.4419 ppm, 지노리미 0.207 $\pm$ 0.1825 ppm으로 역시 뼈>지노리미>근육 순으로 나타났으며 회화법보다 각 부위에서 모두 낮게 나타났으나, 뼈중 함량은 기존의 연구발표들 보다 역시 높게 나타났다. 두 방법간의 상관성은  $r=0.9812(p<0.001)$ 로서 높게 나타났다.

이렇게 회화법과 선택적환원기화법에 의해 나타난 수은 함량은 현재 우리나라에서 적용되고 있는 해산어패류에 대한 총 Hg의 규제치(보건사회부, 1989) 0.7 mg/kg (심해성 어패류 및 참치류 제외)에 미치지 못했고 외국의 규제치(호주 0.5-1.0 ppm, 캐나다 뉴질랜드 스위스 0.5 ppm 이하, 서독 미국 1.0 ppm, 일본 0.4 ppm 이하, 스웨덴 2.0ppm(FAO, 1980; Cornor, 1980))보다도 낮은 결과를 보였다.

WHO(1990)에 의하면 대부분의 일반생선 및 생선통조림은 20 g/kg이하의 유기수은이 검출되며 참치, 상어, 황새치와 같은 고단백 어종에서는 85 $\mu$ g/kg 이상의 높은 함량을 타낸다고 하였는데 본 연구에서는 뼈 0.265 ppm, 근육 0.078 ppm으로 나타나 이원식(1992)이 발표한 참치 239 ppm보다는 낮았으나 방어 0.059 ppm, 가자

미 0.050 ppm, 고등어 0.040 ppm 보다는 높게 나타났다. Cappon(1982)은 총수은에 대한 유기수은의 분율이 해양생선은 53-94%, 민물생선은 29-47% 정도라고 했는데 본 연구에서는 평균 67.2% 정도를 나타냈으며 안동지역의 근육부가 70.8%로 가장 높았고 상주 지역의 뼈에서 60.9%로 가장 낮았다.

한편 크기를 고려하지 않은 지역별, 부위별 총수은, 유기수은 함량이 근육에서는 왜관이 0.13 ppm으로 가장 높게 나타났고 그외 4지역에서는 하류로 갈수록 그 함량이 증가하여, 박장희(1984)의 낙동강 수역에서 서식하는 붕어에서 하류로 갈수록 납, 카드뮴, 수은 함량이 높아진다는 발표 및 김두희 등(1988)의 낙동강 본류에서 서식하는 붕어에서 하류로 갈수록 납, 카드뮴, 아연의 함량이 높아진다는 발표와 일치하였다. 그러나 뼈와 지느러미에서는 안동이 월등히 높게 나타나 오히려 하류로 갈수록 그 함량이 감소하는 경향을 보였다. 한편 어류의 성장에 따른 근육중의 수은 축적도의 변화는 Caros(1979)나 Yannai(1978) 등에 의하면 성장에 비례하여 수은함량이 높아진다고 주장하고 있으나 이와는 반대로 Hamdy와 Prabhu(1979) 및 Boudou(1979) 등은 작은 어류에서 오히려 수은의 농도가 높고 성장해 감에 따라 희석되어 근육중의 수은 함량이 감소된다고 하여 이에 관한 정론이 없는데, 김두희 등(1988)은 뼈에서 어느 정도 축적이 되면 그 이상 축적될 수 없는 시점에 이르러 환경오염 정도와 비례되어 증가되지 않는다고 하였다. 본 연구에서는 지역을 고려하지 않은 크기별, 부위별 총수은, 유기수은 함량이 근육에서는 15-19cm 군이 0.142 ppm으로 가장 높았으며 크기가 작아질수록 함량이 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 뼈와 지느러미에서도 0.455 ppm, 0.233 ppm으로 10-14cm 군이 높았고 크기가 작아질수록 함량이 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 김재봉 등(1983)은 울산 태화강에 서식하는 붕어의 근육과 뼈에서 아연과 구리의 함량이 큰 것 보다 작은 것에서 많았다고 하였다.

외국에서 조사한 어류중의 수은 함량을 보면 비오염지역에서 잡힌 담수어 중 스웨덴에서는 2 ppm을, 캐나다 일본에서는 0.15 ppm을 정상적인 함량이라고 보고 있고, WHO Regional of-

fice for Europe (1973) 보고서에서는 오염지역의 어류중에는 0.25 ppm, 심한 오염지역의 어류중에는 20 ppm 까지도 나타났다고 보고하고 있다. 이러한 것을 전체적으로 볼 때 낙동강 담수어에서 붕어 중의 수은 함량은 오염의 가능성이 없는 것으로 사료되나 수은이 SH기와 강하게 결합하여 음식물내 수은이 인체내에 완전히 흡수된다는 점에서 향후 이에 대한 연구는 지속되어야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

낙동강 담수어 중 붕어에서의 총수은 및 유기수은 함량을 지역별, 크기별, 부위별로 조사하기 위해 1993년 2월부터 3월 사이에 낙동강 본류의 5개 지점을 택하여 각 지점마다 크기군별로 붕어를 채집한 후 근육부, 뼈, 지느러미로 분류 혼합하고, 수은분석기(Model SP-3A)를 이용한 선택적 환원기화법과 가열기화 남아말감법 총수은 및 유기수은 함량을 분석하였다.

선택적 환원기화법에 의한 5개 전지역에서 붕어의 부위별 총수은, 유기수은 함량은 뼈에서 각각  $0.399 \pm 0.4419$  ppm,  $0.265 \pm 0.2967$  ppm으로 가장 높았고, 근육부에서 가장 낮았다( $p < 0.01$ ). 총수은에 대한 유기수은의 분율은 근육부에서  $69.0 \pm 3.50\%$ 로 가장 높았다( $p < 0.01$ ).

근육부에서의 지역별 총수은, 유기수은 및 총수은에 대한 유기수은의 분율은 모두 유의한 차이가 없었으나 총수은, 유기수은 함량은 왜관지역이  $0.130 \pm 0.0619$  ppm,  $0.089 \pm 0.0408$  ppm으로 가장 높았고, 상주가  $0.091 \pm 0.0154$  ppm,  $0.060 \pm 0.0128$  ppm으로 가장 낮았으며, 총수은에 대한 유기수은의 분율은 안동이  $70.8 \pm 4.22\%$ 로 가장 높았다. 뼈와 지느러미에서는 총수은, 유기수은 모두 안동이 가장 높았고, 강정이 가장 낮았다( $p < 0.01$ ). 총수은에 대한 유기수은의 분율은 뼈에서는 왜관( $p < 0.01$ )이, 지느러미에서는 상주지역에서 높았으나 유의하지는 않았다.

붕어의 서식지역을 고려하지 않은 크기에 따른 부위별 함량은 근육부에서는 총수은 및 유기수은 함량이 모두 15-19cm 군이 가장 높았고, 25-29cm 군이 가장 낮았으며( $p < 0.05$ ), 총수은에



대한 유기수은의 비는 유의하지는 않았지만 20-24cm 군이 70.6±3.30%로 가장 높았고, 뼈에서는 10-14 cm 군이 가장 높았고, 25-29cm 군이 가장 낮았으나 유의한 차이는 아니었다. 지느러미에서는 20-24 cm 군이 가장 높았고, 25-29cm 군이 가장 낮았으나 유의한 차이는 없었다.

이상의 결과로 볼 때 낙동강 하류로 내려오면서 붕어의 수은 함량에는 특정 분포를 나타내지 않는 것으로 나타났으며, 어류의 성장에 따른 체내 수은 축적 변화는 크기가 작을 수록 함량이 높은 경향을 나타내 성장해 갈수록 상대적으로 희석되어 근육중 수은함량이 낮아진 것이 아닌가 생각되며 앞으로 좀 더 연구되어야 할 것으로 여겨진다.

## 참고문헌

- 권우창, 원경풍, 김준환, 소유섭, 이희덕, 박건상, 이종욱, 성덕화, 서정숙, 김미희, 이만술, 이경진, 백덕우. 식품중의 미량금속에 관한 조사연구. 국립보건원보 1989; 28: 447-460
- 김두희, 김용구, 장봉기. 낙동강 본류에 서식하는 붕어에서의 납, 카드뮴과 아연의 함량. 예방의학회지 1988; 21(2): 307-319
- 김명희, 박성배. 담수어중의 총수은 함량에 관한 연구 (I). 서울특별시 보건연구소보 1980; 16: 47-53
- 김명희, 박성배. 담수어중의 총수은 함량에 관한 연구 (II). 서울특별시 종합기술시험 연구소보 1981; 17: 72-81
- 김명희, 박성배. 담수어중의 총수은 함량에 관한 연구 (III). 서울특별시 종합기술시험연구소보 1982; 18: 33-39
- 김성현, 김두희. 남강 담수어에서의 중금속함량의 조사. 경북대학교 부설 환경연구소논문집 1987; 1: 1-16
- 김재봉, 김동환, 배정옥, 오재기, 강덕희. 담수어의 분포 및 중금속 함량에 관한 조사 연구(울산 태화강을 중심으로). 국립환경연구소보 1983; 5: 261-271
- 노기안. 남강 수질오염원이 남강 수질에 미치는 영향. 석사학위논문, 경상대학교대학원, 1987
- 대한약학대학협의회. 최신위생화학. 녹지사, 1984, 쪽 462-466
- 문도종, 안장수, 이종욱, 박인신, 장영미, 양화영, 주병갑, 신광훈, 이규환. 식품중의 중금속 함유량에 관한 조사연구. 국립보건원보 1985; 22: 463-470
- 박장희. 낙동강 하류의 물과 붕어의 수은, 연, 카드뮴 오염도에 관한 연구. 석사학위논문, 영남대학교대학원, 1983
- 박재홍, 조성완, 김개환, 김은선, 하동룡, 김영국, 박종태, 김충모. 남해연안에서 서식하는 어류중 중금속 함량에 관한 조사연구. 전라남도 보건환경연구원보 1990; 2: 29-37
- 백덕우. 식품중의 미량금속에 관한 연구. 국립보건원보 1986; 23: 589-610
- 백덕우, 권우창, 신광훈, 김준환, 김오현, 소유섭, 박근상, 안장수. 어류중의 미량금속 분포에 관한 연구. 국립보건원보 1985; 22: 471-494
- 보건사회부. 식품등의 규격기준, 1989
- 本多均, 石川美雲, 山中英明, 菊池武昭, 天野慶之. 魚類への水銀蓄積. 食衛誌 1978; 19: 112-117
- 어수미, 배청호, 이충언. 한강 담수어중의 총수은 함량에 관한 연구. 서울특별시 보건환경연구소보 1987; 23: 121-124
- 이원식. 어패류와 그 제품 취급 양상에 따른 두발중 총수은 및 유기수은함량. 박사 학위 논문, 경북대학교대학원, 1992
- 이흥근. 전국 주요하천 기초조사. 국립환경연구소보 1982; 4: 227-235
- 원종훈. 한국산 어패류 중의 수은, 카드뮴, 구리의 함량. 한수시 1982; 6: 6-14
- 하호성, 허중수, 김해평야의 관개수 오염에 관한 연구. 한국환경농학회지 1982; 1: 22-34
- 홍석순, 정선호, 조성환, 김충모, 이지현, 김인수, 김동수, 장정심, 조 훈. 영산강에 서식하는 담수어중의 중금속 함유량에 관한 연구. 전라남도 보건환경연구원보 1991; 3: 207-230
- Boudou A, Delarche A, Ribeyre F, Marty R. Bioaccumulation and bioamplification of mercury compounds in a second level consumer, *Gambusia affinis* - temperature effects. Bull Environm Contam Toxic 1979; 22: 813-820
- Carlos S. Mercury in marine and fresh water fish of Papua New Guinea. Aust J Mar Freshwater Res

- 1979; 30: 67-73
- Cornor R. *Metal contamination of food*. Applied Science Publishers, London, 1980, pp.116-122
- Fang SC. Comparative study of uptake and tissue distribution of methylmercury in female rats by inhalation and oral routes of administration. *Bull Environ Contam Toxicol* 1980; 24: 65-72
- FAO. *Complication of legal limits for hazardous substances in fish and fishery product*. FAO, Rome, 1983
- Friberg L, Vostal J. *Mercury in the environment*. CRS Press, Cleveland, 1972, pp.17-23
- Handerson C. *Mercury residue in fish. 1969-1970, National Pesticide Monitoring Program Pesticide Monit J* 1972; 6(3): 144-159
- Hamdy MK, Prabhu NV. *Behavior of mercury in biosystems biotransference of mercury through food chains*. *Bull Environm Contam Toxicol* 1979; 21: 170-176
- Kyle JH, Ghani N. *Methylmercury in human hair; a study of a Papua New Guinean population exposed to methylmercury through fish consumption*. *Arch Environ Health* 1982; 37: 266-270
- Luten TB, Ruiter A, Ritskes TM, Ranchbar AB, Riewel-Booy G. *Mercury and selenium in marine and freshwater fish*. *J Food Sci* 1980; 45: 416-421
- Magos L, Clarkson TW. *Atomic absorption determination of total, inorganic and organic mercury in blood*. *J Assoc Off Anal Chem* 1972; 55: 966-971
- Shin EB, Krenkel PA. *Mercury uptake by fish and biomethylation mechanisms*. *J Water Pollution Control Federation* 1976; 48: 473-479
- Tollefson L, Cordle F. *Methylmercury in fish - a review of residue levels fish consumption and regulatory action in the United States*. *Environm Health Perspect* 1986; 69: 203-208
- Vollee BL, Ulmer DD. *Biochemical effects of mercury, cadmium and lead*. *Ann Rev Biochem* 1972, 41: 91-97
- Walsh CT. *The influence of age the gastrointestinal absorption of mercuric chloric and methylmercury chloride in the rat*. *Environ Res* 1982; 27: 412-420
- WHO. *Environment health criteria 1; Mercury*. World Health Organization, Geneva, 1976, p.132
- WHO. *Environment of certain food additive and contaminants. Thirty-third Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive, Geneva, World Health Organization (WHO technical report series 776)*, 1989
- WHO. *Environmental health criteria 101; Methylmercury*. World Health Organization, Geneva, 1990, 36
- Wulf HC, Kromann N, Kousgaard N, Hansen JC, Niebuhr E, Albøge K. *Sister chromatid exchange(SCE) in Greenlandic Eskimos; dose-response relationship between SCE and seal diet, smoking and blood cadmium and mercury concentration*. *Sci Total Environ* 1986; 48: 81-94
- Yannai S, Sachs K. *Mercury compounds in some Eastern Mediterranean fishes, invertebrates, and their habitats*. *Environ Research* 1978; 16: 408-415