

## 낙동강 본류에 서식하는 붕어에서의 납, 카드뮴과 아연의 함량

경북대학교 의과대학 예방의학교실  
김 두 희 · 김 용 구 · 장 봉 기

= Abstract =

### Contents of Lead, Cadmium and Zinc in Bone, Muscle and Fin of *Carassius carassius* from Middle Stream of Nakdong River, Korea

Doohie Kim, Yong Gu Kim, Bong Ki Jang

*Department of Preventive Medicine and Public Health,  
College of Medicine, Kyungpook National University*

In order to determine the contents of lead, cadmium and zinc, the tissues of the crussian carp, *Carassius carassius*, collected from the middle streams of the Nakdong river were examined.

During the dry season from 8 to 15, March, 1987, six loci were selected to sample the fish and river water; five of them were the midstreams of the Nakdong river i. e., the vicinities of the Andong dam, the Nakdong bridge, the Waegwan bridge, Gangjung and Gaepori, the other one was the Kumho river around the Paldal bridge(see Fig. 1).

The microanalyses of lead and cadmium contents were undertaken by the atomic absorption spectrophotometer(Model IL-551) connected with CTF-IL 655, while that of zinc by the flame method with IL-551 only.

The contents of lead and cadmium in water sampled from Gaepori distant from about 30km downward from the junction with the Kumho river were about 1.5 times higher than those from Gangjung distant about 0.5km upward from the junction, and the content of zinc from Gaepori was slightly higher than that from Gangjung. However, the contents of lead and cadmium in water sampled from Gaepori were three fifth of those from the vicinity of Paldal bridge far about 2km upperward from the junction. In the other words, the contents of lead and cadmium in the samples from the vicinity of the Paldal bridge were about 2.5 to 3 times higher than those from the Gangjung and 5 times higher than those from the Andong dam.

The contents of the heavy metals in the tissues of *Carassius carassius* were relatively consistent to those of the aquatic environments where the fish were collected, with higher contents in the tissues of the crussian carp collected from the vicinity of Gaepori and the Paldal bridge which were so much polluted than in those from other loci in upper stream from the junction. And the contents of lead and cadmium in tissues were positively correlated with the age of the fish, however, that of zinc was not.

The contents of lead in bone of crussian carp from the vicinity of the Paldal bridge in the group of 0-1 year old fish were similar to those of 4-5 years old fish from Gaepori, and higher than those of 3-4 years old fish collected from the upper stream of the junction.

It is likely that fishing from Gaepori and the paldal bridge is not recommended, and all the industrial producers have to pay intensive attention to the water pollution due to the sewage disposal.

## I. 서 론

오늘날 중금속에 의한 환경오염으로 인한 만성적인 중독문제가 사회적으로 야기되고 이들에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다(Guthrie와 Perry, 1980; Rom, 1983). 더우기 각종 산업장에서 방류되는 중금속을 포함한 여러가지 유해물질은 강물이나 호수에 유입되어 오염시키며 나아가서 수생생물에 축적되어 먹이사슬을 통해 순환하여 인류의 건강에까지 영향을 미치고 있다. 이러한 점에서 일본에서의 itai-itai병과 minamata병은 세계적으로 잘 알려져 있다.

Itai-itai병이 처음 문제가 된 것은 일본의 서부 해안지역에 위치한 Toyama현에 있는 Sinju강 상류의 광산 폐수가 유입된 하천수를 관개수로 사용한 곡식을 주식으로 한 농민 중에서 발생되었으며 그 주된 원인물질이 카드뮴이란 것을 알게 되었다(Friberg 등, 1971). 그리고 minamata병은 일본 큐슈 남단 Minamata시 주변에 있는 질소비료공장의 폐수가 흘러들어간 Minamata만에서 주변의 야생 고양이들 가운데 무도병이 유행되었는데, 이러한 증상은 곧 이 만에서 포획한 어패류를 상식하는 어민들 간에도 발생하였으며 후에 메칠수은이 그 주된 원인 물질임이 역학조사에서 밝혀졌다(Smith와 Smith, 1975). 그후 이러한 병은 이와 유사한 폐수를 배출시키는 공장 또는 광산이 있는 일본의 전 지역에서 발생하고 있음을 보고하고 있다(Hartung과 Dinman, 1972).

Greichus 등(1977)은 남아프리카의 Hartbeespoort댐과 Voelvie댐에서, Moore와 Sutherland(1981)는 광산 폐수로 오염된 Great Bear호수의 침전물에서 수은, 납, 망간, 니켈 등을 검출하고 그곳 고기중에서 수은을 검출하였으며 Janssen과 Brune(1984)은 Rheine강에 수은, 납, 카드뮴 등이 대량 혼입되고 물고기에서 같은 중금속을 검출, 비오염 지역보다 그 농도가 매우 높다고 하였다.

Pavelka와 Sebesta(1979)는 Praha에서의 몇 가지 식품 중 카드뮴 성분을 조사한 결과 바다고기 또는 민물고기의 94%에서 기준 함량을 초과했다고 하였다.

우리나라에서는 아직 이러한 질병에 대한 해당 학회 등에서의 공식적인 보고는 없으나 1960년대 이후, 고도의 산업발전에 필연적으로 따르는 산업 폐기물의 축적으로 1970년대에 이르러서는 자연정화능력을 초월하여 공해물질로 남게되어 커다란 사회문제로 등장하였으며(차철

환, 1974; 김두희, 1987), 이와 유사한 질환에 이환되었다는 보고가, 온산(노재식, 1979)과 전남지방(최진수, 1978)에서 발생하였다는 일간지의 보도가 있어서 정부에서는 역학조사반을 편성 조사하였으나 뚜렷한 확증이 없다고 발표한 바 있다(보건사회부, 1978; 권숙표, 1986).

한편, 비록 이러한 잉여 오염물질이 자연적으로 정화될 수 있는 정도라 할지라도 중금속같은 수중 어패류에 포집, 축적되어 먹이연쇄를 통하여 전달되므로 이는 가장 염려되는 것 중의 하나이다. 따라서 우리나라의 산업형태가 일본과 유사한 만큼 학자들간에는 항상 정신을 집중시키고 있는 것 같다.

1980년대에 와서는 원자핵광광도계가 각 연구소에 보급되어 검사의 정밀도가 높아지자 우리들이 즐겨 먹는 담수어에서의 중금속분석 결과가 속속 보고되고 있다. 특히 독성 중금속이 포함된 폐수를 배출시킬 가능성이 있는 공장을 끼고있는 강이나 하천수에 서식하는 어류가 그 표본이 되고 있다. 최한영(1985)은 수도권 중심을 관류하는 한강의 어류 중 납, 카드뮴 등 몇 가지의 중금속 함량을 조사하여 상수원의 오염을 우려한 바 있고, 서울 특별시 보건환경연구소 수질보전과(1985)에서는 북한강의 어류 중에서 중금속을 조사하여 각 어종간의 함량 차이를 보고하였다. 김재봉 등(1983)은 울산 태화강 어류 중에서, 유갑봉(1987)은 금강의 어류중에서, 손성원 등(1983)은 마산만 일대의 어류중에서 조사하여 유사한 결과를 보고하였으며 김성현과 김두희(1987)는 진주를 관류하는 남강의 공업단지를 중심으로 낙동강과의 합류 지점 사이에서 포획한 잉어에서의 중금속을 조사하여 아직 크게 차이는 없으나 계속 오염이 가중될 것이 염려된다고 보고했다. 그리고 낙동강 연변에서는 어윤수(1982)가 밀양에서부터 그 하류에서 포획된 등이 굽은 기형 송어를 중심으로 카드뮴 등을 조사하여 그 농도가 정상어보다 상당히 높았다고 보고한 바 있으며, 박장희(1985)는 역시 같은 유역에서 채집한 조개에서의 중금속 함량을 조사하여 대체로 오염 수역이라고 인정되는 곳에서 채집한 것이 높게 나타났다고 보고하였다. 경상북도 보건연구소(1987)에서는 낙동강 중류 즉, 안동댐에서 고령교 사이의 어류를 포획, 몇 가지 중금속을 분석하여 어종간 비교를 한 결과 잉어에서 중금속 함량이 제일 높다고 보고하였다.

이와 같은 몇몇 논문이 발표되었으나 모두 일반적으로 어종간의 중금속 함유 농도나 수중의 중금속 농도와의

관련을 관찰하고 있었다. 저자도 역시 같은 관점에서 시도하면서 한 가지 어종으로 수질에 따른 함유량의 차이를 보다 깊게 관찰하는 한편 혼탁한 환경에 만성적으로 접촉함으로써 그 기간에 따라 축적 정도가 다를 것이라고 생각하고 각 수역에서 고루 채집할 수 있는 붕어종을 중심으로 어령을 감별하고 그 연령과 수중의 중금속 농도를 비교 관찰하여 다소의 성적을 얻었기에 발표하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

갈수기인 1987년 3월 8일부터 3월 15일까지 7일간 낙동강의 본류인 안동댐, 낙동교, 왜관교, 강정 취수장 및 개진면 개포의 5개 지점에서 붕어(*Carassius carassius*)를 현지 어부와 함께 포획하였고, 지류인 금호강에서는 팔달교 부근에서 낚시를 이용하여 채집하였다. 동시에 각 지점마다 3개소에서 강물을 준비된 용기로 채수하였다(그림 1).

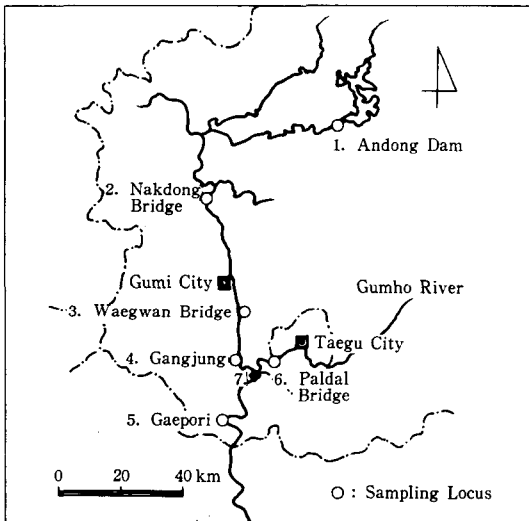


Fig. 1. Map of sampling loci along middle stream of Nakdong river

Distance between loci

- 1.-2. : 110km
- 2.-3. : 60km
- 3.-4. : 25km
- 4.-5. : 30km
- 6.-7. : 16km
- 7. : Junction of Nakdong river & Kumho river
- Gangjung: Basin for central water supply
- Gumi & Taegu : Industrial district

채집된 붕어는 입체현미경을 사용하여 비늘의 연륜을 세어서 연령을 감정하였다. 몸체를 증류수로 깨끗이 세척한 뒤 해부세트를 사용하여 근육, 뼈 및 지느러미를 분리하고 분리된 조직을 다시 증류수로 표면에 묻은 오염물질을 세척하여 건조기에 넣고 110°C에서 약 2시간 가량 건조시킨 뒤 실온이 될 때까지 흡습기에 두었다. 그 후 전자천평으로 전량을 0.1mg 단위까지 정확히 평량하여 환류 냉각기가 부착된 등근 플라스크에 넣고 황산(유해금속 측정용 : 일본 순정화학주식회사 제품) 10ml로 흡습시킨 후 질산(유해금속 측정용 : 일본 순정화학주식회사 제품) 15ml를 가하고 열판상에서 가열하면서 흰 연기의 발생이 끝나고 무색 혹은 담황색이 될 때까지 회화를 계속하였다.

완전히 분해된 시료를 냉각시켜 용량 플라스크에 이주하여 탈 이온수로 전 용량이 50ml되게 하여 시험용액으로 하였다. 이 시험용액으로 아연은 deuterium background corrector를 갖춘 원자흡광분광광도계(IL 551)로써 염광법으로 정량하였고 납과 카드뮴은 비이커에 시험용액을 정확히 10ml 취하여 과염소산(유해금속 측정용 : 일본 순정화학주식회사 제품) 5ml를 가하고 열판상에서 약하게 가열하면서 휘산 시킨후 0.5N HNO<sub>3</sub>로 전량이 10ml되게 하여 이 시료를 micropipette을 사용, 25 $\mu$ l를 취해 원자흡광분광광도계를 분체로 한 CTF(controlled temperature furnace) Atomizer(IL 655)의 중심부 벽이 더 두껍게 고안된 delayed atomization cuvette에 주입하여 정량한 후 단위 중량(gm)으로 환산하였다.

각 성분의 분석시 기기조건은 표 1과 같다.

## III. 성 적

낙동강 수계의 각 붕어 포획 수역에서의 수중 납, 카드뮴 및 아연함량을 조사해 본 결과 그 중 상류인 안동댐에서는 각각 1.02 $\pm$ 0.13ppb, 0.20 $\pm$ 0.08ppb, 20.07 $\pm$ 1.46ppb이나 그 중 가장 하류인 개포에서는 각각 3.01 $\pm$ 0.37ppb, 0.65 $\pm$ 0.09ppb, 30.01 $\pm$ 7.22ppb로서 하류로 내려 올수록 그 농도가 유의하게 높아졌다. 그리고 낙동강의 강정에서 합류되는 금호강의 영향을 보기 위하여 합류 지점에서 16km 떨어진 팔달교 근방의 표본을 채취 검사한 결과 개포의 성적보다 1.5배 정도 높게 나타나서 낙동강 오염에 크게 영향을 끼치고 있음을 알 수 있었다. 강정부터 그 상류 보다는 3-5배 높았다(표 2, 그림 1).

**Table 1.** Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometer

Parameters	Pb	Cd	Zn
Hollow cathode lamp	Pb HCL	Cd HCL	Zn HCL
Lamp current(mA)	5	3	3
Wave length(nm)	283.3	228.8	213.9
Analysis mode	DB A-Bkg	DB A-Bkg	DB A-Bkg
Readout mode	P/H	P/H	P/H
Intergration time(sec)	10	10	10
Purge gas	Argon	Argon	
Temperature program			
Dry	110°C/50sec	110°C/50sec	—
Ash	600°C/35sec	400°C/25sec	—
Atomize	2,100°C/10sec	2,000°C/10sec	—

**Table 2.** Concentrations of Pb, Cd and Zn in water at each sampling locus

(unit : ppb)

Sampling locus	Pb	Cd	Zn
Andong dam	1.02± 0.13	0.20± 0.08	20.07± 1.46
Nakdong bridge	1.20± 0.17	0.25± 0.07	23.18± 2.51
Waegwan bridge	1.54± 0.24	0.32± 0.05	25.84± 2.77
Gangjung	1.69± 0.19	0.39± 0.05	28.36± 5.30
Gaepori	3.01± 0.37	0.65± 0.09	30.01± 7.22
Significance	p<0.001	p<0.001	p<0.05
Paldal bridge	5.04± 0.51	0.95± 0.13	43.95± 5.17

**Table 3.** Contents of Pb, Cd and Zn in body parts of crussian carp by the stream of river

(unit : ppm)

Site	Bone			Muscle				Fin				
	Case	Pb	Cd	Zn	Case	Pb	Cd	Zn	Case	Pb	Cd	Zn
Andong dam	11	2.9136 ± 0.2962	0.1128 ± 0.0135	26.6229 ± 5.8321	10	0.5262 ± 0.0708	0.0337 ± 0.0037	7.8090 ± 1.7770	11	1.8059 ± 0.0704	0.0720 ± 0.0080	19.7394 ± 3.4261
Nakdong bridge	10	3.0687 ± 0.4334	0.1246 ± 0.0076	27.5469 ± 4.0296	11	0.6114 ± 0.0536	0.0391 ± 0.0031	7.4151 ± 1.6962	11	1.8392 ± 0.0704	0.0688 ± 0.0235	20.5715 ± 2.9878
Waegwan bridge	11	3.1219 ± 0.3958	0.1414 ± 0.0094	25.4965 ± 3.2039	13	0.6138 ± 0.0599	0.0398 ± 0.0035	7.8025 ± 1.1064	13	1.8674 ± 0.0893	0.0781 ± 0.0057	19.4759 ± 1.6636
Gangjung	10	3.1951 ± 0.3922	0.1453 ± 0.0088	29.0902 ± 2.2510	9	0.6392 ± 0.0564	0.0393 ± 0.0033	8.4287 ± 1.0038	9	1.9354 ± 0.2509	0.0794 ± 0.0120	20.5048 ± 1.7447
Gaepori	9	3.6876 ± 0.7236	0.1600 ± 0.0252	30.7091 ± 2.6899	10	0.7722 ± 0.1199	0.0465 ± 0.0076	10.2036 ± 2.1382	10	2.1208 ± 0.3069	0.1032 ± 0.0293	23.0375 ± 2.8403
Total	51	3.1807 ± 0.5093	0.1360 ± 0.0212	27.7660 ± 4.1459	53	0.6310 ± 0.1065	0.0397 ± 0.0059	8.2827 ± 1.8171	54	1.9074 ± 0.2035	0.0798 ± 0.0208	20.5856 ± 2.8181
Sig.		p<0.01	p<0.001	p<0.05		p<0.001	p<0.001	p<0.01		p<0.01	p<0.001	p<0.05
Paldal	10	3.8857 ± 0.5041	0.1789 ± 0.0345	29.1608 ± 4.0112	10	0.8592 ± 0.0736	0.0591 ± 0.0069	10.8494 ± 1.9438	10	2.4369 ± 0.4309	0.1163 ± 0.0167	22.3590 ± 1.8578

각 수역에서 포획한 붕어의 조직중 납, 카드뮴, 아연의 함량은 역시 같은 상류에서 포획한 것보다 하류로 내려 갈수록 각 조직의 함량도 유의하게 높게 나타나서 그들이 수환경의 영향을 크게 받고 있음을 입증할 수 있다. 역시 팔달교 근방의 붕어에서도 수환경처럼 현저한 차이는 아니었으나 개포의 붕어보다 다소 높은 농도를 나타내고 있다(표 3).

이상과 같이 강물의 하류로 갈수록 붕어의 조직내 납, 카드뮴, 아연의 함량이 증가되는 것은 개포에의 농도가 상당히 높기 때문이며 안동댐에서 강정까지의 네 곳을 서로 비교했을 때는 유의하지 않았다. 따라서 강정을 중심으로한 상류의 것(상류의 붕어군이라 함)을 합한 수와 하류인 개포 및 오염이 심한 팔달교의 것(오염 수역 붕어군이라 함)을 합한 수로 평균하여 비교해 보았다. 역시 비교적 많이 오염되었다고 인정되는 곳에서 포획한 붕어에서 각 조직에서의 납, 카드뮴, 아연 농도가 유의하게 높았다( $p < 0.001$ ). 다만 뼈조직에서는 아연만이 5% 수

준으로 유의하게 나타났다(표 4).

수환경과 붕어조직 중의 함량을 비교해 보면 뼈에서는 납의 함량이 상류인 안동댐의 것은 약 2,856배, 개포는 약 1,225배, 팔달교는 약 771배를 함유하는 것으로 나타났다. 카드뮴은 안동댐이 564배, 강정 373배, 개포 246배, 팔달교 188배이며 아연은 안동 1,327배, 왜관이 987배, 강정 1,027배, 개포 1,023배, 팔달교가 663배 이었다.

근육에서는 납이 안동댐의 것은 516배, 팔달교가 170배, 카드뮴은 안동댐이 169배, 팔달교는 62배이며, 아연은 안동댐이 389배, 팔달교가 247배로서 상류로 갈수록 그 배수가 높았다.

지느러미에서는 납이 안동댐의 것은 1,770배, 팔달교는 484배, 카드뮴은 안동댐이 360배, 팔달교 122배, 아연은 안동댐이 483배, 팔달교가 509배이었다(표 5).

다음은 붕어의 연령별로 구분하여 상류의 붕어군과 오염수역 붕어군의 납, 카드뮴, 아연 함량을 비교해 보았다. 연령별로 구분하니 0세부터 5세까지 분포하여 그 수가

**Table 4.** Contents of Pb, Cd and Zn in body parts of crussian carp

(unit : ppm)

Site	Heavy metal	Andong, Nakdong Waegwan, Gangjung		Paldal, Gaepori	Sig.
		No. of case			
Bone		42		19	
	Pb	3.0721±0.3817		3.7918±0.6083	p<0.001
	Cd	0.1308±0.0165		0.1699±0.0312	p<0.001
	Zn	27.1353±4.1522		29.8942±3.4484	p<0.05
Muscle		43		20	
	Pb	0.5981±0.0714		0.8157±0.1066	p<0.001
	Cd	0.0381±0.0041		0.0528±0.0096	p<0.001
	Zn	7.8360±1.4233		10.5265±2.0162	p<0.001
Fin		42		19	
	Pb	1.8589±0.1353		2.2789±0.3986	p<0.001
	Cd	0.0745±0.0141		0.1097±0.0242	p<0.001
	Zn	20.0259±2.5261		22.6983±2.3616	p<0.001

**Table 5.** Comparison of Pb, Cd and Zn concentrations in water and body parts of crussian carp at sampling locus (ratio of the values of table 3 to table 2)

Sampling locus	Bone			Muscle			Fin		
	Pb.	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
Andong	2856	564	1327	516	169	389	1770	360	983
Nakdong	2557	498	1188	510	156	320	1533	275	887
Waegwan	2027	442	987	399	124	302	1213	244	754
Gangjung	1891	373	1026	378	101	297	1145	204	723
Gaepori	1225	246	1023	257	72	340	705	159	768
Paldal	771	188	663	170	62	247	484	122	509

분산되어 매우 적은 수이기는 하나 뼈조직중의 납의 함량은 2세군에서만 오염 수역군이  $4.4903 \pm 0.2266$ ppm으로서 상류수역군의  $3.0228 \pm 0.3358$ ppm보다 매우 유의하게 높았고( $p < 0.001$ ), 카드뮴은 상류의 2세군에서  $0.1325 \pm 0.0176$ ppm, 3세군에서  $0.1303 \pm 0.0147$ ppm으로서 오염 수역 붕어군의  $0.2037 \pm 0.0172$ ppm,  $0.1513 \pm 0.0214$ ppm보다 각각 유의하게 높았다(각각  $p < 0.001$ ,  $p < 0.05$ ). 아연은 2세군에서 상류 붕어군의  $28.3238 \pm 3.2545$ ppm보다 오염 수역군이  $34.1520 \pm 1.8189$ ppm으로서 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ )(표 6).

한편 연령 증가에 따른 납, 카드뮴, 아연 함량을 보면 상류 붕어군에서는 납만이 연령이 많아 질수록 증가하여 유의한 상관성을 보였고(표 7, 그림 2), 오염 수역 붕어군은 납과 아연이 연령이 많아 질수록 증가했으며 납에서는 오염 수역 붕어군은 서로 수환경이 다른 개포와 팔달교 부근을 분리해서 그 상관성을 따로 관찰해 본 결과 모두 유의한 상관성을 보여주고 있다(그림 3, 4). 아연은 팔달교의 것은 유의했으나(그림 5), 개포에서는 유의하지 않았다(그림 6). 카드뮴은 개포와 팔달교의 것을 합쳤을

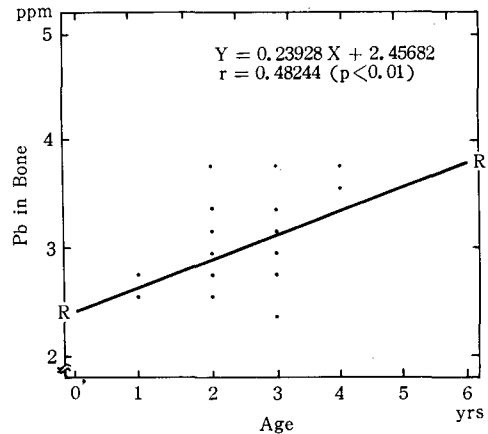


Fig. 2. Correlation between lead concentration and age in bone of upper stream fish group

때는 유의하지 않았으나 분리해서 관찰한 결과 연령증가에 따라 유의하게 증가하였다(그림 7). 그리고 납과 카드뮴 함량은 팔달교의 0~1세군이 개포의 4~5세군과 유사하며 강정 상류의 3~4세군보다 높았다.

그리고 근육에서의 납 함량을 보면 상류 붕어군은 1

Table 6. Contents of Pb, Cd and Zn in bone of crussian carp by age and area

(unit : ppm)

Heavy metal	Age (yrs)	No. of case	Andong, Nakdong Waegwan and Gangjung	No. of case	Paldal and Gaepori	Significance
Pb	0	0		5	$3.5052 \pm 0.2980$	
	1	4	$2.6712 \pm 0.1800$	3	$3.4223 \pm 0.8805$	N.S.
	2	13	$3.0228 \pm 0.3358$	3	$4.4903 \pm 0.2266$	$p < 0.001$
	3	22	$3.0850 \pm 0.3459$	4	$3.4285 \pm 0.4837$	N.S.
	4	3	$3.7263 \pm 0.1571$	2	$4.0285 \pm 0.0898$	N.S.
	5	0		2	$4.5050 \pm 0.0382$	
	Sig.		$p < 0.01$		$p < 0.05$	
Cd	0	0		5	$0.1504 \pm 0.0164$	
	1	4	$0.1190 \pm 0.0226$	3	$0.1843 \pm 0.0535$	N.S.
	2	13	$0.1325 \pm 0.0176$	3	$0.2037 \pm 0.0172$	$p < 0.001$
	3	22	$0.1303 \pm 0.0147$	4	$0.1513 \pm 0.0214$	$p < 0.05$
	4	3	$0.1433 \pm 0.0135$	2	$0.1630 \pm 0.0156$	N.S.
	5	0		2	$0.1910 \pm 0.0113$	
	Sig.		N. S.		N. S.	
Pb	0	0		5	$26.7140 \pm 2.6869$	
	1	4	$24.5738 \pm 6.1140$	3	$27.3237 \pm 1.0482$	N.S.
	2	13	$28.3438 \pm 3.2545$	3	$34.1520 \pm 1.8189$	$p < 0.05$
	3	22	$26.4888 \pm 4.1893$	4	$30.4248 \pm 2.0378$	N.S.
	4	3	$30.0550 \pm 3.0869$	2	$32.4160 \pm 4.2639$	N.S.
	5	0		2	$31.7310 \pm 0.5883$	
	Sig.		N. S.		$p < 0.01$	

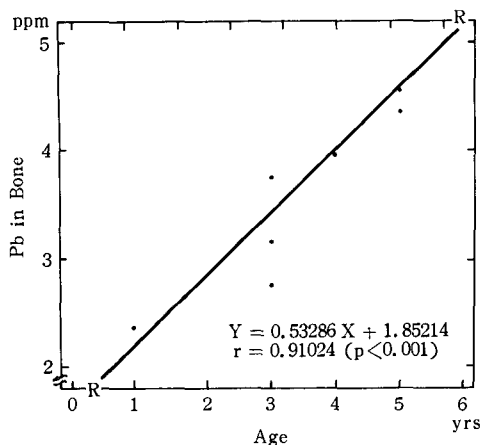


Fig. 3. Correlation between lead concentration and age in bone of Gaepori area fish group

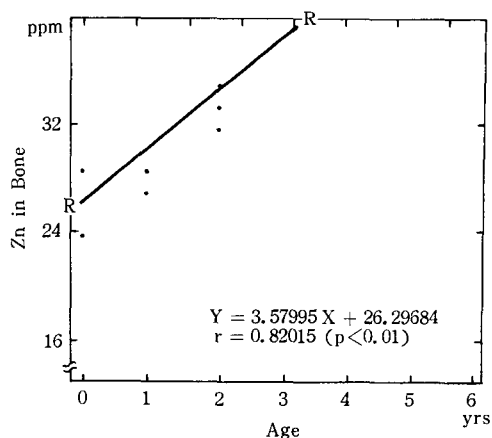


Fig. 6. Correlation between zinc concentration and age in bone of Paldal area fish group

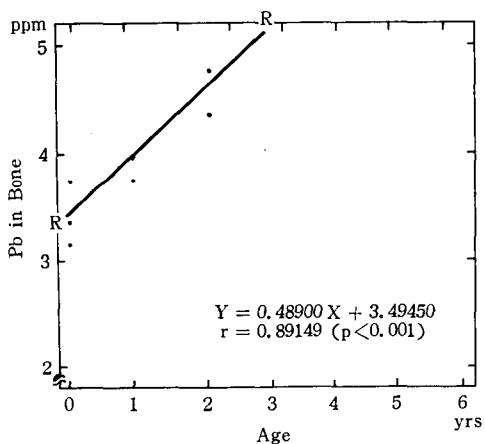


Fig. 4. Correlation between lead concentration and age in bone of Paldal area fish group

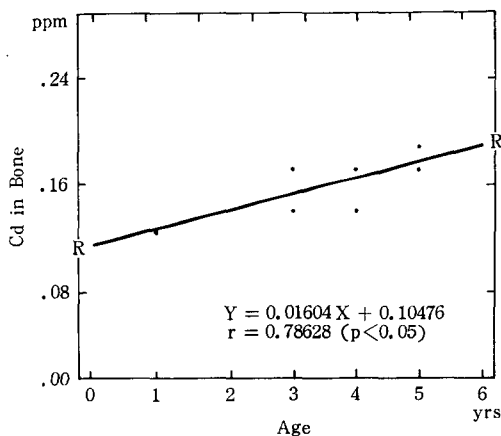


Fig. 7. Correlation between cadmium concentration and age in bone of Gaepori area fish group

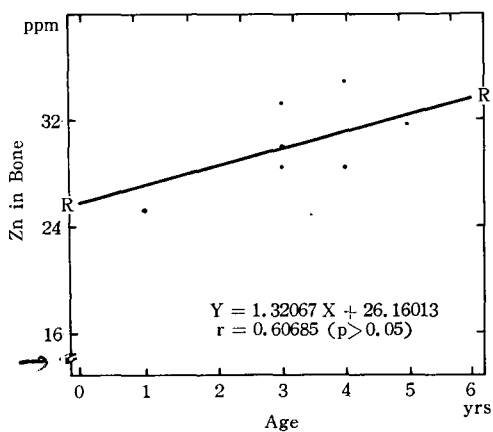


Fig. 5. Correlation between zinc concentration and age in bone of Gaepori area fish group

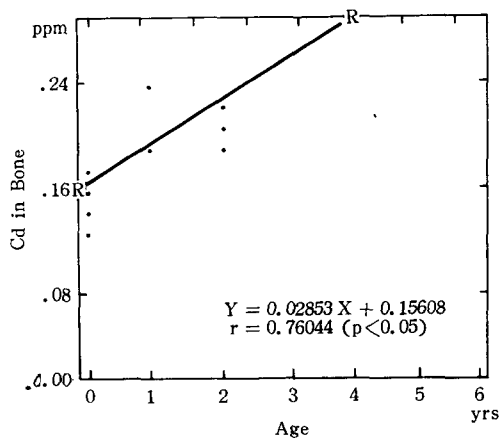


Fig. 8. Correlation between cadmium concentration and age in bone of Paldal area fish group

**Table 7.** Contents of Pb, Cd and Zn in muscle of crussian carp by age and area

(unit : ppm)

Heavy metal	Age (yrs)	No. of case	Andong, Nakdong Waegwan and Gangjung	No. of case	Paldal and Gaepori	Significance
Pb	0	0		5	0.8004±0.0599	
	1	4	0.5165±0.0661	3	0.8083±0.1779	p<0.05
	2	12	0.5763±0.0736	3	0.9227±0.0271	p<0.001
	3	21	0.6083±0.0603	5	0.7164±0.0727	p<0.01
	4	6	0.6608±0.0466	2	0.8595±0.0955	p<0.01
	5	0		2	0.9090±0.0467	
	Sig.		p<0.01		N. S.	
Cd	0	0		5	0.0540±0.0032	
	1	4	0.0328±0.0040	3	0.0530±0.0132	p<0.05
	2	12	0.0367±0.0039	3	0.0667±0.0057	p<0.001
	3	21	0.0386±0.0032	5	0.0418±0.0024	p<0.05
	4	6	0.0428±0.0013	2	0.0510±0.0028	p<0.01
	5	0		2	0.0580±0.0014	
	Sig.		p<0.001		p<0.01	
Pb	0	0		5	9.9746±1.8026	
	1	4	7.7075±1.5430	3	9.2370±1.0198	N.S.
	2	12	8.2991±1.3782	3	13.0157±0.5381	p<0.001
	3	21	7.5095±1.5102	5	9.2334±1.6180	p<0.05
	4	6	8.1380±1.0956	2	12.5805±0.3528	p<0.01
	5	0		2	11.2855±2.8164	
	Sig.		N. S.		p<0.01	

세부터 4세까지 대체적으로 0.5265±0.0661ppm에서 0.6608±0.0466ppm까지 분포하고 있는데 비해 오염수역 붕어군에서는 1세에서 4세까지 0.8083±0.1779ppm에서 0.8595±0.0955ppm까지 분포하여 각 연령군 별로 유의하게 높았다. 카드뮴 함량도 1세부터 4세까지에서 상류 붕어군이 0.0328±0.0040ppm에서 0.0428±0.0013ppm, 오염수역 붕어군이 0.0530±0.0132ppm에서 0.0510±0.0028ppm까지 분포하여 역시 전자보다 후자가 유의하게 높았다. 아연은 1세군에서 유의한 차이가 없었으며, 2세부터 4세군까지는 상류 붕어군이 7.5095±1.5102ppm에서 8.2991±1.3782ppm, 오염수역 붕어군이 9.2334±1.6180ppm에서 13.0157±0.5381ppm으로써 오염 수역군에서 높았다(표 7).

한편, 연령 증가에 따른 납, 카드뮴, 아연 함량을 검토해 보았더니 상류 붕어군에서는 납과 카드뮴이 연령이 증가할수록 그 함량이 증가했으나 아연은 그렇지 않았다. 그리고 오염 수역구역에는 카드뮴과 아연이 연령이 증가할수록 증가하였으나 납은 그렇지 않았다.

지느러미에서의 납, 카드뮴, 아연 함량은 연령군별로

보면 2세와 3세군에서 상류 붕어군이 각각 1.8944±0.1919ppm, 1.8402±0.0861ppm, 오염 수역 붕어군이 각각 2.7707±0.2104ppm, 2.0084±0.1212ppm으로써 현격한 차이를 나타내고 있다. 카드뮴은 2세군에서 상류 붕어군이 0.0750±0.0101ppm인데 비해 오염 수역군이 0.1277±0.0215ppm으로 유의하게 높았다. 아연은 4세군에서 상류 붕어군이 20.1923±1.8618ppm인데 비해 오염수역 붕어군이 26.4425±0.1987ppm으로 유의하게 높았다. 연령증가에 따른 함량 변동을 보면 상류 붕어군에서는 납이, 오염수역 붕어군에서는 카드뮴이 연령 증가에 따라 유의하게 높았다(표 8).

#### IV. 고 찰

중금속이 생체에 나쁜 영향을 미친다는 보고는 수없이 많으며 중금속의 생물학적 농축인자는 130~수천이라는 보고(John등, 1987)처럼 중금속에 의한 생물학적 수환경의 오염도를 측정한다는 것은 대단히 어려운 일(Petry, 1982)이지만 우선 몇가지 중요 실험의 예를 들고자 한다.



**Table 8.** Contents of Pb, Cd and Zn in fin of crussian carp by age and area

(unit : ppm)

Heavy metal	Age (yrs)	No. of case	Andong, Nakdong Waegwan and Gangjung	No. of case	Paldal and Gaepori	Significance
Pb	0	0		5	2.2078 ± 0.4862	
	1	4	1.6923 ± 0.0688	3	2.2173 ± 0.5199	N.S.
	2	12	1.8944 ± 0.1919	3	2.7707 ± 0.2104	p<0.001
	3	22	1.8402 ± 0.0861	5	2.0084 ± 0.1212	p<0.01
	4	6	1.9673 ± 0.0398	2	2.3835 ± 0.4504	N.S.
	5	0		2	2.3825 ± 0.1054	
	Sig.		p<0.01		N. S.	
Cd	0	0		5	0.1080 ± 0.0141	
	1	4	0.0690 ± 0.0027	3	0.1037 ± 0.0286	N.S.
	2	12	0.0750 ± 0.0101	3	0.1277 ± 0.0215	p<0.001
	3	22	0.0723 ± 0.0172	5	0.0860 ± 0.0121	N. S.
	4	6	0.0855 ± 0.0067	2	0.1340 ± 0.0226	N.S.
	5	0		2	0.1315 ± 0.0247	
	Sig.		N. S.		p<0.05	
Pb	0	0		5	21.9984 ± 1.5346	
	1	4	21.4328 ± 3.0722	3	21.1550 ± 1.8907	N.S.
	2	12	20.2090 ± 2.4825	3	23.6290 ± 1.9016	N.S.
	3	22	19.6248 ± 2.4825	5	22.0264 ± 2.7138	N.S.
	4	6	20.1923 ± 1.8618	2	26.4425 ± 0.1987	p<0.01
	5	0		2	23.3020 ± 3.0745	
	Sig.		N. S.		N. S.	

미국의 환경보호청 EPA(1969)의 보고에 의하면 미국 전 지역의 수질 검사 결과 표본의 2.5%에서 카드뮴이, 19%에서 납이, 76.5%에서 아연이 포함되어 있었으며 그 평균치는 각각 9.5ppb 및 64ppb이라고 하였으며 카드뮴은 0.2ppb이상이면 물고기에 유해한 영향을 미친다고 했다. 그리고 중금속은 그 함성형태에 따라 다르나 대체적으로 카드뮴 만큼 해롭지는 않다고 했다.

Eaton(1974)은 민물고기(bluegill, *Lepomis macrochirus Rafinesque*)를 카드뮴이 239 $\mu$ g/l로 유지된 어항에서 장기간 노출시켜 알에서 부화된지 6일되는 유어가 기형이 되었다고 보고하였고 Versteeg와 Giesy(1986)는 카드뮴이 혈청 acid phosphatase와 n-acetyl-beta-d-glucosamine활성도를 현저하게 증가시키는 것을 관찰, lysosome기능에 장애를 주는 증거라고 지적했다.

Von Westernhagen등(1975)은 동갈치(garpike) 알의 발육과 생존을 보기 위하여 카드뮴이 다량 함유된 바다 물에서 부화시켰더니 꼬리 지느러미의 끝(edge)이 툭니 모양으로 되었다고 보고했다.

Holcombe등(1976)은 납이 어류에 미치는 생리적 영향은 불분명하나 민물 송어를 납이 125 $\mu$ g/l로 유지된 어항에서 장기간 관찰, 제2세대 부화 후 65주가 되었을 때 척추의 변형이 왔다고 보고했다.

이와같은 실험들은 모두 인간의 건강을 염려하여 인간에게 섭취 가능성이 있는 어개류에 대한 실험이다. 이러한 중금속들은 인간이 공기를 흡입하거나 음식을 섭취함으로써 체내에 축적 가능성이 있는 것이다.

우리나라에서도 1970년대 이후 전국 각지에서 뜻있는 학자들에 의한 민물고기와 수질오염에 대한 생태학적인 측면에서의 연구 보고가 속속 발표되고 있다.

낙동강은 우리나라 4대강 중의 하나로 강 연안에는 부산 및 대구 등 대·중·소도시가 산재하여 있고, 또 각종 공업단지와 광범위한 전답이 펼쳐져 있다. 따라서 이러한 곳에서 흘러나오는 가정하수, 산업폐수, 농업용수가 모두 낙동강으로 유입되고 있으므로 낙동강 수질은 이미 그 자정 능력을 초과하여 오염도가 점차 높아지고 있는 실정이다.

양경린 등(1974)은 낙동강 중류의 자연수질은 전 부유물질이 100ppm 이하이고 중금속 함량중 일부는 표 9와 같이 전반적으로 양호하며 금호강은 신천과의 합류지점 하류에서 일부중금속(Cu, Zn, Cr)에 오염되었다고 했다. 또 계절적으로 볼때 인체에 해로운 중금속 함량은 수도물 기준치보다 훨씬 낮다고 보고한 바 있다.

영남대 환경문제 연구소와 대구 직할시(1982)에서는 낙동강 수계의 수질을 분석하여 중금속이 아연을 제외하고는 검출되지 않았다고 하였다.

송형달과 김두희(1984)는 금호강 수역의 수질, 토양 및 그 하천부지에서 경작하는 무우에서 중금속을 측정 비교하여 금호강은 그 오염도가 매우 높으므로 대책이 시급하다고 했다(표 9).

본 연구에서는 같은 수역에서 양경린 등(1974)의 성적보다는 매우 낮은 수준으로 나타났으며 팔달교 부근의 납은  $5.04 \pm 0.51$ ppb로써 양경린 등(1974)의 결과보다는 다소 낮고 송형달과 김두희(1984)의 결과 보다는 높았다. 카드뮴은  $0.95 \pm 0.13$ ppb로써 양경린 등(1974)보다는 약 2배, 송형달과 김두희(1984)보다는 절반 정도 밖에 되지 않아 조사자에 따라 매우 불규칙하다. 이러한 사실은 물론 시기와 장소, 측정방법, 그리고 측정자의 정밀도에 따라 다르겠으나 우선 납과 카드뮴을 기준으로 볼 때 그 이전 보다 다소 높게 나타났다고 할 수 있으며 다른 물질도 해가 거둬함에 따라 오염도가 증가함을 엿볼 수 있다.

이상과 같은 낙동강 수계에 서식하는 어개류도 역시 그 수환경의 영향을 받고 있음은 사실이며 또 그 어개류는

이를 포획 섭취하는 동물과 인간들에게 2차적으로 영향을 줄 것은 확실하다. Greichus 등 (1977)은 남 아프리카의 Hartbeespoort댐과 Voelwei댐의 생태계에서 중금속을 관찰하고 수은은 *Carecasses*새의 뇌에서 물고기보다 2~5배, 납은 2~10배나 많았다고 보고했다. Moore와 Sutherland(1981)의 조사와 같이 광산폐수가 유입되는 Great Bear 호반의 물에서는 중금속이 측정 가능량에 미치지 못했으나 그 호반의 침전물에서 다량 검출되고, 담수어에서 많은 양의 수은이 검출되었다고 했다. 이와같이 각종 오염물질은 오염원으로부터 1차, 2차, 3차로 그 먹이사슬의 순서에 따라 이동해감으로써 보다 많은 양이 축적되고 오늘날 우리 인류에 생태학적으로 위험을 주고 있다는 사실이 밝혀지고 있다. 따라서 우리나라에서도 곳곳에서 조류 및 어류의 이유없는 폐죽음이 일간지를 통하여 심심치 않게 보도되고 있다는 것은 무엇을 의미하는 것인지 묻지 않아도 알만한 일이라 하겠다. 누구나 뜻이 있다면 이와 같은 현상을 간과할 수 없을 것이다.

이미 여러 학자들이 이곳 저곳에서 오염 수역 어개류를 중심으로 독성 중금속을 검출하여 이들을 즐겨 먹는 사람들에게 경각심을 불러 일으키고 있다. 특히 낙동강 수역을 중심으로 어윤수(1982)는 1981년 3월부터 10월까지 밀양에서 낙동강 하구에 이르는 수역에서 포획된 등이 굽은 송어의 근육과 뼈 조직 내의 중금속 함량을 조사하여 정상어보다 높다고 보고하였다. 박장희(1983)는 1982년 4월부터 1983년 1월까지 역시 같은 수역에서 붕어를 중심으로 관찰하여, 그 포획수역 검수에서는 납, 카드뮴,

Table 9. Reported concentrations of Pb, Cd and Zn in sample-water of Nakdong-river by authors\*

(unit : ppb)

Authors	Area	Pb	Cd	Zn
		Mean(Min-Max)	Mean(Min-Max)	Mean(Min-Max)
Yang et (al.1974)	Gumi	7.0(3.8-13.0)	0.20(0.08-0.38)	22.0(22.0-31.0)
	Waegan	6.1(3.5-10.0)	0.19(0.06-0.23)	25.5(16.0-37.0)
	Gangjeong	5.5(2.1-8.9)	0.16(0.07-0.36)	19.8(10.0-30.0)
	Gaepori	4.4(3.0-7.1)	0.27(0.16-0.38)	23.0(16.0-32.0)
	Paldal	7.8	0.10	20.0
Song&Kim (1984)	Paldal	$3.0 \pm 1.0$	$0.9 \pm 0.1$	$101 \pm 1.0$
IEP of YNU** (1982)	Same as Yang et al.	Not detected	Not detected	Trace

Min : Minimun      Max : Maximum

\* : Data of the same heavy metal as this study was selected

\*\* : Institute of Environmental Problem of Youngnam University

수은이 검출되지 않았으나 조직에서는 건강 기준 이상으로 검출되었으며 하루로 갈수록 그 수준이 높아졌다고 했다. 이태연(1985)은 1983년 9월부터 1984년 5월까지 낙동강 하구에 서식하는 조개(*Cobicular fluminea*)를 채취하여 납, 카드뮴, 크롬 함량을 검출하여 그 함량이 현저히 높다고는 할 수 없으나 식품으로의 허용농도를 넘어 설 가능성이 클 것으로 생각된다고 하였다. 경상북도 보건연구소(1987)에서는 1986년 6월부터 10월까지 낙동강 중류에 서식하는 어류를 포획, 중금속을 검출하여 어종간에 가장 높은 농축계수는 메기였으며 오염지역의 어류가 비오염지역의 어류보다 10~20% 높았으나 현격한 차이는 없었다고 했다.

본 연구에서는 여러 어종간의 비교보다도 한가지 어종 즉, 붕어를 중심으로 하여 그들의 수환경과 비교, 검토하는 한편 같은 포획 지점에서라도 그 노출 기간에 따라 조직내 함량이 다를 것으로 생각하고 붕어의 연령별로 비교 관찰할 것을 시도하였던 바, 같은 유역에서는 상류 지점에서보다 하류지점에서 서식하는 붕어군에서 그 수중 농도와 평행하여 함량이 많았으며, Janssen과 Brune(1984)이 1976년부터 1983년까지 7년간 Rheine강의 물고기 중 중금속 함량을 측정하여 상류보다 하류로 갈수록 더 많아졌다는 결과와 유사하다. 연령별로는 특히 뱀과 근육조직에서는 연령이 증가할수록 함량이 많았으나 지느러미에서는 연령별로 볼 때 유의한 차이가 없었다.

그리고 낙동강의 오염원이 되고 있는 금호강 하류의 팔달교 근방의 표본에서는 0~1세 짜리가 개포의 4~5세 짜리와 비슷한 함량을 보여주고 있다. 그리고 붕어의 조직 중 뼈에서의 납의 함량은 그들 수환경의 함량보다 770~3,850배, 카드뮴은 약 188~564배, 아연은 약 650~1,327배나 높은 것으로 나타났으며 오염 수역의 표본에서 오히려 그 배수가 낮은 것은 붕어의 연령과 관계가 있는 것으로 생각된다. 전술하였다시피 아연의 경우 연령과는 무관하다고 하였으므로 아마 또 다른 인자가 존재하는 것이 아닌가 생각된다. 근육과 지느러미에서도 그 배수는 보다 낮더라도 역시 같은 경향을 보이고 있어 Janssen과 Brune(1984)이 Rheine강 본류가 지류보다 납, 카드뮴, 수은 함량이 많았다는 보고와 유사하다. 다만 그들은 수은은 해가 거듭됨에 따라 감소하는데 비하여 납과 카드뮴은 그렇지 않았다고 했다.

이러한 사실은 낙동강 수계 이외에서도 1985년 5월에 한강 수역어군에 대하여 최한영(1986)이 중금속을 검출

하고 잉어가 가장 많이 함유하고 다음이 붕어, 메기였다고 했으며 표본 채취 수역간에 큰 차이가 없으나 부위별로는 골조직에 납, 크롬, 카드뮴이 많이 함유되었고 아가미에는 구리, 망간, 아연이 많았다고 했다. 서울 특별시 보건 환경연구소(1985)는 북한강에서의 잉어, 붕어, 메기를 포획하여 중금속을 검출, 납, 카드뮴, 크롬은 뼈에 가장 많고, 다음이 아가미, 근육의 순이며 체장에 비례하여 유의하게 증가했다고 보고했다.

울산 지역에서는 태화강을 중심으로 하여 김재봉 등(1983)이 1983년 3월부터 11월까지 담수어 20여종을 조사하였으며 붕어의 경우 작은 것이 큰 것보다 뱀, 근육에서 아연과 구리의 함량이 많았고, 메기의 경우는 구리가 대어보다 소어에서 많았고, 아연은 붕어와 같은 경향이라고 하였다. 납은 0.02~0.069ppm 검출되었으나 카드뮴과 수은은 검출되지 않았다고 보고한 바 있다.

금강 수역에 대해서는 유갑봉(1986)이 1985년 3월부터 1986년 2월까지 담수어를 채취하여 각종 중금속을 근육보다 골격에서 유의하게 많은 함량을 나타내었으며 망간이 제일 많고 다음이 크롬, 납, 아연, 구리의 순이었고, 체중이 증가할 수록 증가했다고 보고하였다.

그리고 진주 남강 유역에 대해서는 김성현과 김두희(1987)가 1987년 3월, 4월에 잉어 등을 채취하여 진주 공업단지를 중심으로 비교 관찰하여 아직 기 발표한 낙동강 하류보다 다소 낮으며 허용한계에 미달이라고 한 바 있다.

이와같은 우리나라에서의 일련의 연구는 수환경 오염의 심각성과 더불어 이루어졌다. 이미 공업 선진국에서는 문제되지 오래이었지만 우리나라도 그와 유사한 문제에 봉착하고 있는 것이다.

## V. 요약

낙동강 중류의 수질과 그 수계에 서식하는 어류와 납, 카드뮴 및 아연과의 관계를 붕어를 대상으로 관찰하였다. 본 실험을 위한 표본은 비교적 갈수기라고 인정되는 3월 초순에 안동댐, 낙동교, 왜관, 강정, 개포 인근 그리고 낙동강의 주 오염원이 되는 금호강에서는 팔달교 부근에서 채취하였으며 수중 중금속 및 조직 중 납, 카드뮴과 아연은 원자흡광분광도계(IL-551)로 분석하였다.

낙동강의 상류에서 하루로 내려올수록 납, 카드뮴, 아연 함량은 증가하였고, 팔달교 부근은 강정 상류보다 3~5배

더 높았으며 이는 낙동강과의 합류지점에서 약 40km 하류에 위치한 개포의 수질보다 약 1.5배 정도 높게 나타났다. 붕어의 뼈, 근육, 지느러미 중의 납, 카드뮴 함량도 상류에서 포획한 것보다 하류에서 포획한 것이 많았다. 강정을 포함한 상류보다 오염수역이라고 할 수 있는 개포 및 팔달교 근처의 붕어에서 유의성 있게 높았다.

붕어의 뼈조직 중 납, 카드뮴, 아연의 함량은 조사 전역에 걸친 그들 수환경보다 각각 771~2,856배, 188~564배, 663~1,327배이었으며 근육에서는 각각 170~516배, 62~169배, 247~389배이고 지느러미에서는 각각 484~1,770배, 122~360배, 509~983배 이었다.

이들 붕어의 성장 햇수별 납, 카드뮴 및 아연 함량은 연령이 증가할수록 증가했으며 각 수역에서의 동일 연령군까지 비교했을때는 상류에서 하류로 내려갈수록 그 함량이 많았다. 팔달교에서의 0~1세군에서의 뼈 중 납의 함량은 개포의 4~5세군과 근사하며 강정 상류의 3~4세군보다 높은 경향을 보였다.

이상과 같은 결과를 요약하면 낙동강은 금호강의 타류의 영향을 크게 받아 오염 수역에서 포획한 어군은 비오염수역의 어군보다 중금속 함량이 유의하게 높으며 성장 햇수가 많아짐에 따라 중금속 함량은 높다는 것을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

경상북도 보건연구소. 오염된 하천에 서식하는 담수어종 중 금속 함량에 관한 조사연구. 1987, 쪽. 1-23  
 권숙표, 윤명조, 정 용. 수질오염, 환경공해와 대책. 서울, 연세대 공해연구소, 1979, 쪽. 42-49  
 권숙표. 울산지구 피질 역학조사. 중앙일보 1985; 6183: 3  
 김두희. 보건학 총론. 대구, 학문사, 1987, 쪽. 119-142  
 김성현, 김두희. 남강 담수어에서의 중금속 함량조사. 경북대학교 부설 환경과학연구소논문집 1987; 1: 1-16  
 김재봉, 김동한, 배정옥, 오재기, 강덕희. 담수어의 분포 및 중금속 함량에 관한 조사 연구(울산 태화강을 중심으로). 국립환경연구소보 1983; 5: 261-271  
 노재식. 울산공업단지 환경조사. 한국원자력연구소보, 1979, 쪽. 2139  
 박장희. 낙동강 하류의 물과 붕어의 수은, 연, 카드뮴 오염도에 관한 연구. 영남 대학교 대학원 논문, 1983, 쪽. 1-25  
 서울특별시 보건환경연구소 수질보전과. 북한강에 서식하는 담수어 종의 중금속 함량에 관한 연구. 서울, 1986, 쪽. 1-25  
 손성원, 함규환, 최홍근, 이호원. 마산만 일대에 서식하는

생물체의 중금속 오염도 조사. 경남대학교 부설 환경연구소보 1983; 5: 95-109  
 송형달, 김두희. 금호강 유역의 수질, 토양 및 무우의 중금속 함량. 경북대학교 산업 개발 연구소보 1984; 9: 31-47  
 양경린, 이철, 박찬걸, 서기림, 김락배, 이인종, 정혜순, 박두원. 낙동강 중류수계의 화학적 수질 조사 연구(1974년도). 한국유수학회지 1975; 8: 149-161.  
 어윤수. 변형어에 관한 형태 및 중금속 함량조사. 서울대학교 보건대학원 논문, 1982, 쪽. 1-25  
 영남대학교 환경문제연구소. 금호강 수계의 수질 오염 현황과 수질 보전 대책에 관한 연구. 대구, 대구직할시, 1982  
 유갑봉. 금강 수질 및 담수어의 중금속 함량에 관한 연구. 청주 대학교 산업대학원 논문, 1986, 쪽. 1-25  
 이태연. 낙동강 하류에 서식하는 *Cobicular fluminea*의 중금속 함량에 관하여. 연세대학교 대학원 논문, 1985, 쪽. 1-27  
 차철환. 자연과 인간환경, 공해와 질병. 최신의학사, 서울, 1974, 쪽. 1-27  
 최진수. 전남 담양의 고씨 일가 수은 중독의심. *S-penicillamin*으로 완치, 1978, 영남일보 4월 1일자  
 최한영. 한강에 서식하는 담수어의 부위별 중금속 함량에 관한 조사연구. 연세대학교 산업대학원 논문, 1986, 쪽. 1-9  
 Eaton JG. Chronic cadmium toxicity to the bluegill (*Lepomis macrochirus* *Ratineque*). *Trans Am Fish Soc* 1974; 103: 729-735. cited from Rand and Pectrocelli, 1985  
 EPA, 1969. cited from Guthrie and Perry, 1980  
 Friberg L, Piscator M, Nordberg GF, Kjellstorm T. *Health effect of cadmium in general environment in Japan, Cadmium in the environment, 2nd Ed. Cleveland, Ohio, U.S.A., CRC Press, pp. 137-195*  
 Greichus YA, Greichus A, Ammon BD, Call DJ, Hamman DC, Pott RM. *Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems I, Herbesspoort dam, Transvaal and Voelplei dam, Cape province, Republic of South Africa. Arch Environ Contam Toxicology* 1977; 6(2-3): 371-383  
 Guthrie FE, Perry JJ. *Introduction to environmental toxicology: Heavy metal. NY, Elsevier. 1980, pp. 34-43*  
 Hartung R, Dinman BD. *The occurrence of mercury in environment and man, environmental mercury contamination. Michigan, U.S.A. Ann Arbor Science Publisher Inc., 1972, pp. 55-96*  
 Holcombe GW, Benoit DA, Leonard EN, Mc-Kim JM. *Long term effect of lead exposure on tree gencertion of brook trout (Salvelinus fontinalis). J Fish Res Bd Can* 1976; 33: 1731-1741  
 Janssen R, Brune H. *Determination of mercury, lead and cadmium in fish from the Rheine and Main using flame-*

- less atomic absorption. *Z Lebensm unter Forsch* 1984 ; 178(3) : 168–172 (English Abstract)
- John J, Gjessing ET, Grand M, Salbu B. *Influence of aquatic humus and PH on the uptake and depuration of cadmium by the atlantic salmon (Salmo salar L.)*. *Sci Total Environ* 1987 ; 62 : 253–265
- Moore JW, Sutherland DJ. *Distribution of heavy metals and radionuclides in sediments, water and fish in an area of Great Bear lake contaminated with mine waers*. *Arch Environ Contam Toxicol* 1981 ; 10(3) : 329–338
- Pavelka J, Sebesta J. *The occurence of dadmium in some types of food*. *Vet Med(PRAHA)* 1979, 24 : 737–744
- Petry H. *The motility test, an early warning system for biological water control*. *Zentralbl Baktrevol Microbio Hyg* 1982 ; 176 : 391–412
- Rand GM, Pectrocelli SR. *Fundamentals of aquatic toxicology*. N. Y., Hemnisphere Publishing Co., 1985, pp. 58–95
- Rom WN. *Environmental and occupational exposures for metal, Environmental and Occupational Medicine*. Boston, U.S.A., Little, Brown and Company, 1983, pp. 433–510
- Smith WE, Smith AM. *Minamata. An Alskog Sensorium Book*, N. Y., U.S.A., Holt Rinehart and Winston, 1975, pp. 55–92
- Versteeg DJ, Giesy JP. *The histological and biological effects of cadmium exposure in the bluegill sunfish (Lopomis macrochirus)*. *Ecotoxical Environ Safety* 1986 ; 11(1) : 31–43 (abstract)
- Von Westernhagen H, Delthlefsen V, Rosenthal H. *Combined effect of cadmium and salinity on development and survival of garpike egg*. *Hegol Wiss Mecresunters* 1975 ; 27 : 268–282 : cited rom Rand GM, Pectrocelli SR, 1985
- Woodwell GM. *Toxic substances and ecological cycles*. *Sci Am* 1967 ; 216 : 24