

## 납 및 구리化合物이 *Carassius auratus*(goldfish)에 미치는 毒性에 관한 研究

김남예 · 강희양

계명대학교 자연과학대학 공중보건학과

## A Study on the Toxicity of Pb and Cu Compound in *Carassius auratus*(goldfish)

Nam-Yae Kim and Hoe-Yang Kang

Department of Public Health, College of Natural Science, Keimyung University

### ABSTRACT

In order to investigate acute toxicity and bioconcentration of heavy metals for a freshwater fish, the fish used in this experiment was goldfish, *Carassius auratus*. Each ten goldfish was accommodated in a water and was treated with different concentration of Pb and Cu compound. The 24 hr-LC<sub>50</sub> was obtained by plotting on the log-normal distribution graph. Furthermore, the combined effect of Pb and Cu was also investigated; the fish was treated with Pb or Cu compound only, and Pb and Cu compound together, respectively.

These results were summarized as follows:

1. The 24 hr-LC<sub>50</sub>'s of Pb and Cu were 7.48 mg/l and 0.666 mg/l, respectively.
2. When single or/and combined treatment with Pb(7.0 mg/l) or/and Cu(0.6 mg/l) to *Carassius auratus* for 24 hours were performed, there was significant difference between the single or/and the combined treatment in their bioaccumulated Cu concentrations.

Cu concentrations in goldfish were higher in the combined treatment than in the single treatment.

3. When *Carassius auratus* was exposed to 0.748 mg/l (1/10 of 24 hr-LC<sub>50</sub>) and 1.496 mg/l of Pb (1/5 of 24 hr-LC<sub>50</sub>) for 7 days, the bioconcentration factors (BCF) were 79.14 and 100.11 for Pb, respectively. The BCF of Pb was obtained as a linearity according to the concentration and exposure time as follows;

$$\log \text{BCF} = 1.014 \log P \cdot T + 1.011 \quad (r^2 = 0.9041)$$

where, P: pollutant concentration(mg/l)

T: exposure time(day)

4. When *Carassius auratus* was exposed to 0.0666 mg/l (1/10 of 24 hr-LC<sub>50</sub>) and 0.1332 mg/l of Cu (1/5 of 24 hr-LC<sub>50</sub>) for 7 days, the bioconcentration factors (BCF) were 55.42 and 63.24 for Cu respectively. The BCF of Cu was obtained as a linearity according to the concentration and exposure time as follows;

$$\log \text{BCF} = 0.571 \log P \cdot T + 1.823 \quad (r^2 = 0.8974)$$

where, P: pollutant concentration(mg/l)

T: exposure time(day)

**Keywords :** *Carassius auratus*(goldfish), 24 hr-LC<sub>50</sub>, Bioconcentration factor(BCF)

## I. 緒 論

자연의 자정작용만으로도 유지, 보존되어 왔던 환경은 1960년대 이후 인구증가와 산업의 발달로 인해 산업화되면서 각종 농약, 화학비료의 다량사용과 공장등에서 배출되는 산업폐수중의 각종 오염물질이 하천으로 유입되어 그 오염이 심화되고 있다. 뿐만 아니라 오염물질이 주변하천으로 유입되면서 수서생태계에 축적됨에 따라 그 심각성이 커지고 있다.

환경중 화학물질은 400만종 이상에 달하며, 일상적으로 쓰이는 것은 6만종 정도이며 그 중 급속도 환경오염 문제가 발생하는 한 계속 거론될 수 있는 오염 물질중 하나이다.<sup>1)</sup>

수서생태계에 있어 중금속의 독성은 많이 알려지고 있는데, 이는 중금속이 미량일지라도 수소 생물에 축적되고 생물학적 농축(Bioconcentration)이라는 과정을 통해 捕食者の 농도가 被食者の 농도보다 높아지게 되어 최종 연쇄생물인 인축에 악 영향을 미치기 때문이다. 우리나라에서는 수산식품의 수요가 많으므로 중금속에 오염된 어패류의 섭취는 인체건강에 직접적인 위해요인이 되므로 어류에 있어 중금속의 농축정도를 연구함은 시급하고도 중요한 문제라 할 수 있다.

중금속에 의한 환경오염의 가능성과 그 심각성을 일깨운 사건은 1950년대 일본에서 발생한 수은중독 증인 Minamata병과 1960년대 Cadmium에 의한 Itai-Itai 병을 들 수 있다.<sup>2,3)</sup> 중금속에 의한 오염이 사회문제로 대두됨에 따라 1976년부터 FAO/WHO 공동식품오염감시계획에서는 중금속, 잔류농약, PCBs(Polychlorinated biphenyls) 등을 제시하고,<sup>4)</sup> 특히 환경오염 중금속으로 Hg, Cd, Pb, As를 우선 순위로 다루고 수산식품중의 중금속함량에 대한 국제 허용기준을 설정하기 위한 작업을 시작하였다. 외국에서는 하천, 해안지역등의 어류내 중금속 함량에 관한 보고가 1970년대에 여러 학자들에 의해 있었다.<sup>5-7)</sup>

우리나라에서는 1970년대부터 주로 A.A.S.(Atomic Absorption Spectrophotometer)를 사용하여 주요 강에 서식하는 담수어<sup>8,9)</sup> 담수어와 沈積土와의 관계에 관한 연구<sup>10)</sup>가 보고된 바 있으며 환경오염의 정도가 높아질수록 이에 따르는 중금속함유도가 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다.<sup>11)</sup>

또한 중금속이온이 어류에 미치는 영향에 관한 연구<sup>12)</sup>와 수질내 pH나 hardness 등의 변화에 따른 어류의 중금속독성보고<sup>13-15)</sup>와 중금속의 담수 생물에

대한 생체축적연구<sup>16,17)</sup>도 있어 환경오염에 따른 어류의 중금속에 대한 오염정도를 把握할 수 있는 자료로 활용되고 있다.

그리고 수산식품의 중금속함량<sup>18-20)</sup>과 각종 폐류 및 농산물의 중금속함량에 대한 조사<sup>21-23)</sup>와, 담수어의 부위별 중금속함량에 관한 보고<sup>24-25)</sup> 등의 연구가 있으나 각종 식품의 미량 중금속 분포상황을 연구한 것이며 어류에 미치는 중금속의 독성학적인 연구는 크게 미흡하다. 특히 중금속의 급성독성과 일정농도별, 노출시간에 따른 담수어류에 관한 조사는 거의 없는 실정이다.

일반적으로 급성독성시험의 목적은 화학물질의 고유독성을 정의하고 화학물질에 급성노출될 때의 위험평가에 대한 정보를 제시하며 遲延독성실험에 대한 용량수준을 계획하고 선택하는 정보를 제시하는 것이다. 또한 화학물질에 어느 정도 폭로되어 있는가, 그에 따른 체내농도가 얼마인가를 측정하는 것은 환경적 요인의 평가로서 오염방지의 대책으로 중요하며 오염물질의 안전성을 평가하는데 필수적이다.

따라서 본 연구는 유해성 중금속중 미량으로도 독성이 큰 납, 생체내 필수금속이지만 체내 그양이 증가할 시 구토, 설사, Oliguria(乏尿症) 등의 독성을 나타내는 구리를 선정<sup>26)</sup>하였으며 가정에서 관상용으로 많이 기르고 있는 담수어 중 금붕어 (*Carassius auratus*)를 실험동물로 정해 급성독성과 농도와 노출시간과 혼합투여에 따른 독성 및 생물농축지수(BCF)를 연구함으로써 환경위생학적인 측면과 중금속이 담수어류에 미치는 독성에 관한 기초자료로 이용하고자 시도되었다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 실험재료

#### 1) 실험동물

실험동물은 시중에서 시판되는 *Carassius auratus* (goldfish)로서 체장  $6.047 \pm 0.522$  cm 중량  $3.116 \pm 0.491$  g,  $0.580 \pm 0.087$  g(건조중량)인 것을 사용하였다. 1주간 이상 순응수조에서 적응시킨 후 실험에 이용하였으며 겉보기에 이상이 없거나 병이 없는 건강한 금붕어를 사용하였다.

#### 2) 중금속 화합물

본 실험에 사용된 중금속 화합물( $Pb(NO_3)_2$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )은 모두 특급(Junsei Chemical Co.)을 사용하였으며, 각 화합물의 표준용액은 환경오염 공정시험법<sup>27)</sup>과 standard method for the examination of

**Table 1.** Conditions of experimental water used for fish toxicity tests

Parameters	Range
Water temperature (°C)	18~20
pH	6.0~ 7.0
DO (mg/l)	6.0~ 7.0
Hardness as CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	50~60
Chloride (mg/l)	18.0~20.0

**Table 2.** Analytical conditions of atomic absorption spectrophotometry for Pb and Cu

Conditions	Type of heavy metal	
	Pb	Cu
Wavelength (nm)	283.3	324.7
Lamp current (mA)	5	4
Slit width (nm)	0.5	0.5
Support gas-Fuel gas	air-acetylene	air-acetylene
Air flow rate (l/min)	60	60
Acetylene flow rate (l/min)	5	5
Expansion Factor	1	1
Flame stoichiometry	oxidizing	oxidizing

water and wastewater<sup>28)</sup>에 의거하였다. 이 표중용액 1,000 mg/l을 실험시 증류수로 희석하여 사용시 조제하였다.

### 3) 어류 시험 용수

어류실험용수는 15l(25×25×25 cm) 들이의 폭기 장치를 한 깨끗한 사각유리수조를 사용하였으며 실험용수의 수질조건은 다음과 같다(Table 1).

### 4) 분석기기 및 조건

납, 구리의 측정은 다음과 같은 조건(Table 2)에서 원자흡광광도법으로 하였다.

원자흡광광도기(Atomic Absorption Spectrophotometer)는 Varian Spectr AA-10/20을 사용하였다.

## 2. 실험방법

### 1)반치사농도 (어류에 의한 급성독실험)

어류에 있어 급성독성은 KS M 0111(공장폐수시험법)<sup>29)</sup>에 의하여 24 hr-LC<sub>50</sub>을 측정하였다. 중금속 표준용액을 농도별로 희석하여 금붕어를 10마리씩 투입한 후 24시간 경과 후 금붕어의 치사여부를 관찰하였다. 실험기간 중 먹이는 주지 않았으며 각 개체의 사망은 아가미에 의한 호흡정지로 판단하였다.

LC<sub>50</sub>값의 계산은 대수정규분포도(log normal distribution graph)에서 대수농금(logarithmic scale)쪽에 투여중금속의 농도로 잡고, 확률농금(probability scale)에 사망률(% mortality)을 잡아서 농도별 사망률 직선으로부터 사망률 50%일 때의 농도(LC<sub>50</sub>)를 구하였다.

2) 중금속 (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O)의 혼합투여 납, 구리의 24 hr-LC<sub>50</sub>를 기준으로 1일 30% 사망농도인 24 hr-LC<sub>50</sub> (납 7.0 mg/l; 구리, 0.6 mg/l)을 각각 단독으로 투여하고 또 두 중금속을 함께 투여하여 금붕어 체내에 축적된 납과 구리의 함량을 비교하였다.

### 3) 생물축적지수(Bioconcentration factor, BCF)

생물축적지수(BCF)는 실험환경(물)중에서의 오염물질(중금속)농도와 생물개체내에서의 오염물질(중금속)농도와의 비를 말한다.<sup>30)</sup>

$$BCF = \frac{\text{Concentration of heavy metal in fish}}{\text{Concentration of heavy metal in water}}$$

납, 구리의 24 hr-LC<sub>50</sub>을 기준으로 하여 각각 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/5농도(납,1.496 mg/l; 구리, 0.1332 mg/l), 1/10농도(납, 0.748 mg/l; 구리, 0.0666 mg/l)별로 금붕어 10마리씩 7일간 처리하였으며 2일, 5일, 7일 간격으로 조사하였다. 실험기간동안 수조안의 중금속농도를 일정하게 유지하기 위하여 2일 간격으로 정한 농도의 용액을 만들어 금붕어를 옮겨 넣었으며 수조안은 계속 폭기시켰다. 먹이는 남기지 않을 정도로 매일 주었다.

### 4) 중금속 측정을 위한 시료의 전처리

납과 구리의 정량을 위해 환경오염공정시험법<sup>27)</sup>에 의하여 다음과 같이 전처리하였다. 중금속 노출이 끝난 금붕어를 증류수로 씻은 후 건조시켜 중량을 재고, 이 시료에 HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 가하여 열판에서 가열한 후 실온에서 냉각시켰다. 여기에 H<sub>2</sub>O를 가하여 여과한 후 10 ml로 되게 하여 A.A.S.로 측정하였다.

### 5) 통계분석

중금속 처리농도에 따른 금붕어체내 중금속함량의 유의성 여부와 저농도 처리시 중금속에 대한 노출이수와 금붕어체내 중금속함량과의 유의성을 알아보기 위해 F검정을 하는 분산분산(ANOVA)을 하였다. 또 이들 상호간의 관련성을 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다.<sup>31)</sup> 자료는 SAS(Statistical Analysis System) 통계프로그램을 이용하여 전산처리하였다.

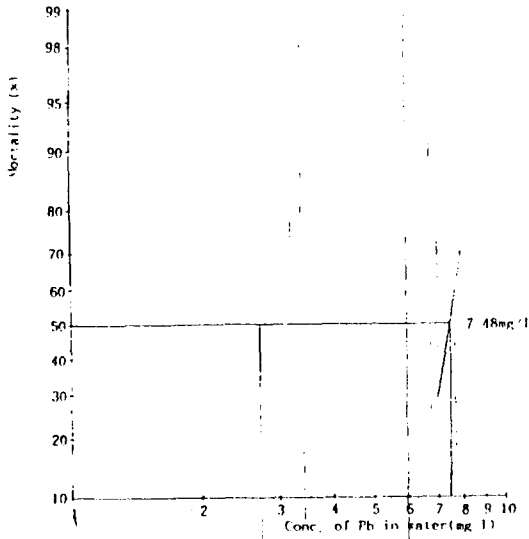


Fig. 1. Concentration (mg/l)-mortality response of *Carassius auratus* exposed to  $Pb(NO_3)_2$  for 24 hours.

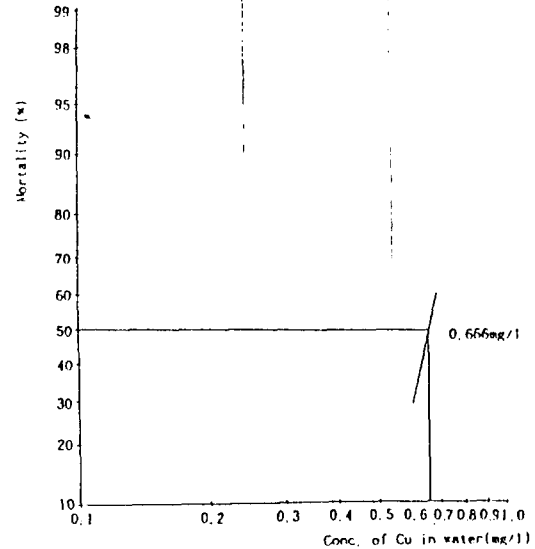


Fig. 2. Concentration (mg/l)-mortality response of *Carassius auratus* exposed to  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  for 24 hours.

Table 3. Concentration of Pb in *Carassius auratus* exposed to different concentration of Pb in water for 24 hours

Conc. of Pb in water (mg/l)	No. of samples	Dry weight (g)	Conc. of Pb in whole body ( $\mu$ g/g dry weight)	F
Control	10	0.520 $\pm$ 0.110	9.767 $\pm$ 0.951	
2.0	10	0.603 $\pm$ 0.106	92.701 $\pm$ 6.206	
3.0	10	0.414 $\pm$ 0.098	193.768 $\pm$ 13.945	
5.0	10	0.494 $\pm$ 0.086	239.757 $\pm$ 15.521	828.48*
7.0	10	0.490 $\pm$ 0.106	395.143 $\pm$ 21.435	
8.0	10	0.437 $\pm$ 0.115	505.263 $\pm$ 23.553	
10.0	10	0.537 $\pm$ 0.137	721.834 $\pm$ 37.579	

(Mean  $\pm$  Standard deviation), \*  $p < 0.01$ .

### III. 結果 및 考察

#### 1. 반치사농도(24 hr-LC<sub>50</sub>)

납( $Pb(NO_3)_2$ 로 투여)에 대한 급성독성 효과는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 납은 7~8 mg/l 범위에서 급성독성효과를 나타내었고 농도증가에 따라 매우 유의한 농도의존성을 보여주었다. 도표상에서 보는 바와 같이 납의 24 hr-LC<sub>50</sub>은 7.48 mg/l이었다(Fig. 1).

구리( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 로 투여)의 경우는 0.6~0.7 mg/l 범위에서 급성독성효과를 나타내었다.

도표상에서 보는 바와 같이 구리의 24 hr-LC<sub>50</sub>은

0.666 mg/l이었다(Fig. 2).

구리화합물( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )의 Brown trout에 대한 80 hr-LC<sub>50</sub>은 1.0 ppm으로 보고되었고, 납화합물( $Pb(NO_3)_2$ )의 Goldfish에 대한 1~2 hr-LC<sub>50</sub>이 10 ppm으로 보고된 바 있다.<sup>32)</sup> 또 송사리에 대한 메탈수은, 수은, 구리, 크롬의 1~4일 LG<sub>50</sub>도 보고되었으며 이때 구리화합물( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )의 24 hr-LC<sub>50</sub>은 2.43 mg/l를 나타내었다.<sup>33)</sup>

24 hr-LC<sub>50</sub> 실험시 납( $Pb(NO_3)_2$ 로 투여)의 처리농도에 따른 금붕어체내 납 함량은 Table 3과 같다. 납 화합물 처리농도증가에 따라 금붕어체내 납함량이 증가하였으며 이들 사와간에 통계적으로 유의한

**Table 4.** Concentration of Cu in *Caraassius auratus* exposed to different concentration of Cu in water for 24 hours

Conc. of Cu in water (mg/l)	No. of samples	Dry weight (g)	Conc. of Cu in whole body (µg/g dry weight)	F
Control	10	0.690±0.207	3.923±0.269	679.24*
0.1	10	0.675±0.230	5.282±0.185	
0.3	10	0.609±0.159	6.788±0.676	
0.6	10	0.659±0.195	10.555±0.406	
0.7	10	0.638±0.077	11.956±0.729	
1.0	10	0.717±0.145	18.952±0.313	

(Mean±Standard deviation), \* p<0.01.

**Table 5.** Concentration of Pb and Cu in *Caraassius auratus* by the single and combined treatment

Treatment	Conc. in water (mg/l)	No. of samples	Dry weight (g)	Conc. of whole body (µg/g, dry weight)	
				Pb	Cu
Control	-	10	0.712±0.291	9.133±0.997	3.325±0.397
	-	10	0.601±0.123		
single	Pb 7.0	10	0.478±0.164	394.600±16.722	9.616±0.920*
	Cu 0.6	10	0.548±0.114		
combined	Pb+Cu 7.0+0.6	10	0.457±0.158	405.050±27.800	11.405±1.227*
	Cu+Pb 0.6+7.0	10	0.481±0.110		

(Mean±Standard deviation), \* p<0.05.

차이가 있었다(F=828.48, N=70, p<0.01).

또한 납의 처리농도와 금붕어체내 납함량과는 높은 상관관계가 있었다(r=0.9742, N=60, p<0.01).

24 hr-LC<sub>50</sub> 실험시 구리(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O로 투여)의 처리농도에 따른 금붕어체내 구리함량은 Table 4와 같다.

구리 화합물 처리농도증가에 따라 금붕어체내 구리함량이 증가하였으며 이들 상호간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(F=679.24 N=60, p<0.01).

또한 구리의 처리농도와 금붕어체내 구리함량과는 높은 상관관계가 있었다(r=0.9715, N=50, P<0.01).

## 2. 중금속(Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O)의 혼합투여

납(Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>로 투여)와 구리(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O로 투여)를 24시간 단독투여했을 때와 혼합투여했을 때의 금붕어체내 축적된 중금속함량은 Table 5와 같다.

구리의 경우 납과 혼합투여했을 때 금붕어체내 축적된 양이 구리만 투여한 경우보다 높았다(t=-2.5409, N=20, P<0.05).

납의 경우 구리와 혼합투여했을 때 금붕어체내 축적된 양이 납만 투여한 경우보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(t=-0.6442, N=

20).

두 중금속의 혼합투여결과 납과 구리 모두 혼합투여했을 때가 단독투여했을 때보다 금붕어체내 축적량이 높게 나타났다. 납의 경우 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 구리는 납과 혼합투여시 단독투여시보다 높게 나타났으며 유의한 차이가 있었다. 즉 납은 구리의 존재와는 상관없이 축적되었으며 구리는 납과 혼합투여시 상승적으로 축적됨을 나타낸다.

Hard water내 Ca 농도가 무지개 송어(Rainbow trout)의 Cd 흡수를 저해함<sup>4)</sup>은 물의 Ca 농도가 Cd의 아가미 흡수를 방해함으로써 일어난다<sup>13)</sup>는 보고가 있으나 다른 부위의 방해기전에 관하여는 정확히 밝혀져있지 않다. 이처럼 어류의 선택적인 중금속 흡수에 대한 보고와 각각의 중금속에 대한 상호작용에 대한 정확한 기전은 아직 확실히 밝혀져 있지 않은 실정이다.

## 3. 생물축적지수(Bioconcentration Factor)

납(Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>로 투여)의 경우 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/10 농도(0.748 mg/l)와 1/5 농도 (1.496 mg/l)로 2, 5, 7 일간 처리한 결과는 Table 6과 같다.

납의 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.748 mg/l)에서 노

**Table 6.** Concentration of Pb in *Carassius auratus* by exposure time

Conc. of Pb in water (mg/l)	Exposure time (day)	No. of samples	Dry weight (g)	Conc. of Pb in whole body (µg/g dry weight)	F
0.748	0	10	0.536± 0.257	9.880± 0.160	124.83*
	2	10	0.598± 0.105	21.550± 3.172	
	5	10	0.667± 0.245	43.248± 6.232	
	7	10	0.495± 0.182	69.078± 7.865	
1.496	2	10	0.608± 0.128	44.425± 5.766	537.95*
	5	10	0.685± 0.244	116.170± 5.709	
	7	10	0.492± 0.084	159.640± 9.763	

(Mean± Standard deviation), \* p<0.01.

**Table 7.** Bioconcentration Factor of Pb in *Carassius auratus* by exposure time

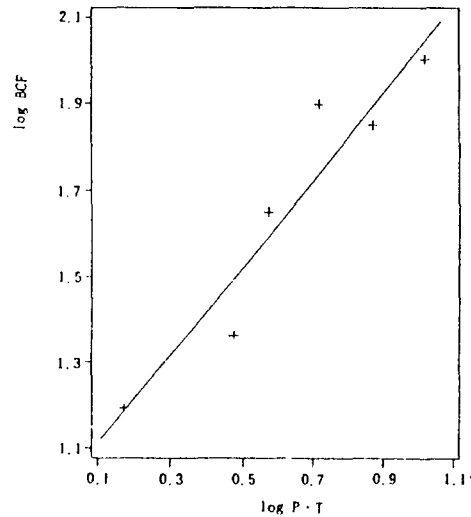
Conc. of Pb in water (mg/l)	Exposure time (day)	Bioconcentration Factor (BCF)
0.748	2	15.60
	5	44.61
	7	79.14
1.496	2	23.09
	5	71.05
	7	100.11

출시간이 증가할수록 금붕어내 납함량이 증가하였으며 이들 상호간에 유의한 차이가 있었다(F=124.83, N=40, p<0.01). 1/5농도(1.496 mg/l)에서도 노출시간이 증가할수록 금붕어체내 납함량이 증가하였으며 이들 상호간에 유의한 차이가 있었다(F=537.95, N=40, p<0.01).

금붕어를 1/10농도(0.748 mg/l)로 처리하였을 때 노출시간과 금붕어체내 납농도와는 높은 상관 관계가 있었다(r=0.9624, N=40, p<0.01). 또한 1/5농도(1.496mg/l)로 처리했을 때도 노출시간과 금붕어체내 납농도와는 높은 상관관계가 있었다(r=0.9928, N=40, p<0.01).

납의 생물축적지수(BCF)는 Table 7과 같다. Table 7에서 보는 바와 같이 노출 시간이 증가할수록 생체축적지수(BCF)값이 증가하였으며 납의 처리농도가 높은 농도에서 BCF값이 높게 나타났다.

위에서 얻은 생물축적지수와 납의 처리농도, 노출시간과의 관계를 수식화하기 위하여 생물축적지수(BCF)의 대수를 취한 값과 납의 처리농도(P)×노출시간(T)의 대수치를 산수눈금용지에 적점(plot)하였다(Fig. 3).



**Fig. 3.** Linear regression between logarithms of PT and BCF of Pb in *Carassius auratus*.

이에서 얻은 식은 다음과 같다.

$$\log BCF = 1.014 \log P \cdot T + 1.011 \quad (r^2 = 0.9041)$$

P: pollutant concentration(mg/l)

T: exposure time(day)

이식은 납에 있어 생물축적지수는 납의 처리농도와 노출시간의 곱한 값에 비례함을 나타내었다.

구리(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O로 투여)의 경우 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.0666 mg/l)와 1/5농도(0.1332 mg/l)로 2, 5, 7일간 처리한 결과는 Table 8과 같다.

구리의 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.0666 mg/l)에서 노출시간이 증가할수록 금붕어체내 구리함량이 증가하였으며 이들 상호간에 유의한 차이가 있었다

**Table 8.** Concentration of Cu in *Carassius auratus* by exposure time

Conc. of Cu in water (mg/l)	Exposure time (day)	No. of samples	Dry weight (g)	Conc. of Cu in whole body (µg/g dry weight)	F
Control	0	10	0.624± 0.303	3.210± 0.363	
0.0666	2	10	0.582± 0.123	4.648± 0.441	35.63*
	5	10	0.581± 0.110	5.417± 0.431	
	7	10	0.528± 0.111	6.901± 0.907	
0.1332	2	10	0.618± 0.193	6.987± 0.437	499.46*
	5	10	0.640± 0.227	9.547± 0.064	
	7	10	0.536± 0.172	11.634± 0.603	

(Mean± Standard deviation), \* p<0.01.

**Table 9.** Bioconcentration factor of Cu in *Carassius auratus* by exposure time

Conc. of Cu in water (mg/l)	Exposure time (day)	Bioconcentration Factor (BCF)
0.0666	2	21.59
	5	33.14
	7	55.42
0.1332	2	28.36
	5	47.58
	7	63.24

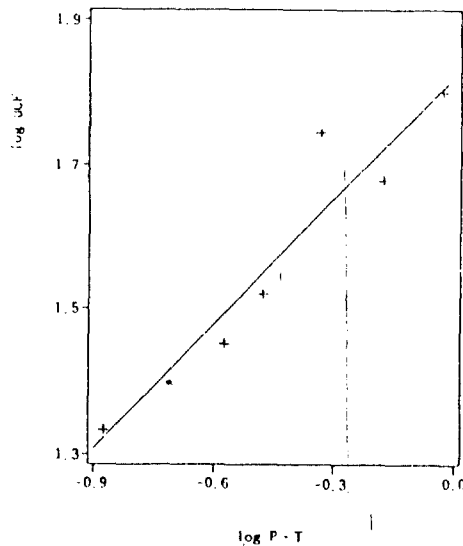
(F= 35.63, N= 40, p<0.01). 1/5농도(0.1332 mg/l)에서도 노출시간이 증가할수록 금붕어체내 구리농량이 증가하였으며 이들 상호간에 유의한 차이가 있었다 (F= 499.46, N= 40, p<0.01).

금붕어를 구리의 24 hr-LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.0666 mg/l)로 처리했을 때 금붕어 체내 구리농도와 노출시간과는 높은 상관관계가 있었다(r=0.9091, N=40, P<0.01). 또한 1/5농도(0.1332 mg/l)로 처리했을 때 금붕어체내 구리농도와 노출시간과는 높은 상관관계가 있었다(r=0.9856, N= 40, P<0.01).

구리의 생물축적지수(BCF)는 Table 9와 같았다. Table 9에서 보는 바와 같이 노출시간이 증가할수록 생물축적지수(BCF)가 높아졌으며 구리의 처리농도가 높은 농도에서 BCF값이 높게 나타났다.

위에서 얻은 생물축적지수와 구리의 처리농도, 노출시간과의 관계를 수식화하기 위하여 생물축적지수(BCF)의 대수를 취한 값과 구리의 처리농도(P) × 노출시간(T)의 대수치를 산술준금그래 프에 직접(plot)하였다(Fig. 4).

이에서 얻은 식은 다음과 같다.



**Fig. 4.** Linear regression between logarithms of PT and BCF of Cu in *Carassius auratus*.

$$\log \text{BCF} = 0.571 \log P \cdot T + 1.823 \quad (r^2 = 0.8974)$$

P=pollutant concentration (mg/l)  
T=exposure time (day)

이 식은 구리에 있어 생물축적지수는 구리의 처리농도와 노출시간의 곱한 값에 비례함을 나타내었다.

산업화에 따른 오염지역내의 해산물에 유해금속의 함유와 그 함량의 증가추세가 보고되고 있으며,<sup>11)</sup> 어떤 일정농도에서 시간이 경과할수록 물고기내 수은 농도가 증가함을 나타낸 보고<sup>34)</sup>와 연관지어 볼 때 중금속의 축적이 중금속농도와 노출시간에 관계

가 있음을 알 수 있다.

중금속의 어류내 축적정도는 농도와 노출시간에 기인하며,<sup>34)</sup> 그의 hardness,<sup>13,35)</sup> pH나 alkalinity<sup>15)</sup> 등 과도 여러가지 요인과 관련이 있는 것 같다.

생물축적지수(BCF)의 경우 본 연구에서는 농도나 노출시간에 비례함을 알 수 있었다.

그러나 중금속에 관한 BCF의 보고는 희소하며 BCF가 환경농도나 노출시간과 연관이 있음을 볼 때 화학물질의 환경독성과 안정성평가의 기초가 되는 BCF의 측정은 매우 중요하다. 이런 BCF의 측정과 더불어 어류에 있어 중금속의 선택적인 축적 현상은 독성평가지 고려하여야 할 것으로 사료된다. 또한 실험대상에 대한 민감성과 실험의 편의성 및 효율성에 관한 계속적인 연구도 있어야 하겠다.

#### IV. 결 론

환경오염물질 중 중금속이 어류에 미치는 독성을 연구하고자 Pb(Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)로 투여)과 Cu(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O로 투여)를 선정하여 급성독성 및 농도별, 노출시간별, 두 중금속의 혼합투여에 따른 금붕어내 중금속함량 변화와 생물축적지수(BCF)를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Pb의 24 hr-LC<sub>50</sub>은 7.48 mg/l이었으며 Cu의 24 hr-LC<sub>50</sub>은 0.666 mg/l이었다.

2. Pb과 Cu를 24 hr-LC<sub>30</sub>(Pb은 7.0 mg/l, Cu는 0.6 mg/l) 농도로 24시간 혼합투여하였을 경우 단독 투여하였을 때와 비교한 결과 Pb과 Cu 모두 혼합 투여하였을 때 금붕어내 축적함량이 높게 나타났으며 Cu의 경우 단독 투여했을 때와 혼합 투여했을 때의 축적농도가 차이가 있게 나타났다( $t = -2.5409$ ,  $p < 0.05$ ).

3. Pb을 LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.784 mg/l)와 1/5농도(1.496 mg/l)로 금붕어에 2일, 5일 및 7일간 노출시킨 후 금붕어내 축적된 Pb의 생물축적지수(BCF)를 구해본 결과 Pb농도(P, mg/l) 및 노출시간(T, day)과의 관계에서 다음과 같은 식을 구하였다.

$$\log BCF = 1.014 \log P \cdot T + 1.011 \quad (r^2 = 0.9041)$$

P: pollutant concentration(mg/l)

T: exposure time(day)

이는 BCF가 Pb에 있어서 노출시간 및 Pb농도에 비례함을 나타낸다.

4. Cu를 LC<sub>50</sub>의 1/10농도(0.666 mg/l)와 1/5농도(0.1332 mg/l)로 금붕어에 2일, 5일 및 7일간 노출시킨 후 금붕어내 축적된 Cu의 생물축적지수(BCF)

를 구해본 결과 Cu농도(P, mg/l) 및 노출시간(T, day)과의 관계에서 다음과 같은 식을 구하였다.

$$\log BCF = 0.571 \log P \cdot T + 1.823 \quad (r^2 = 0.8974)$$

P: pollutant concentration(mg/l)

T: exposure time(day)

이는 Pb에 있어서와 마찬가지로 Cu의 BCF값도 노출시간과 Cu농도에 비례함을 나타낸다.

이상의 연구결과에서 Pb 및 Cu의 농도증가와 그 노출시간의 증가에 따라 금붕어 내 축적량이 증가하였으며 금붕어내 축적정도는 농도와 노출시간에 비례함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) 和田 攻 : 금속과 사람. 이영환, 정문호(공역), 신평출판사, 1993.
- 2) WHO. Environmental health criteria : Mercury. Geneva, 1976(1).
- 3) Conner, R. : *Metal contamination of food*. Applied Science publishers, pp. 116-122, 1980.
- 4) 우리나라 식품 및 화학물질의 안정성 및 현황조사 및 방책수립 : 한국과학기술연구소, 1979.
- 5) Hartung, R. : Heavy metals in the lower Mississippi. Proc. Int. Conf. Transp. Persistent Chem. Aquat. Ecosyst, **1**, 93-98, 1974.
- 6) Ciusa, W. and Giaccio, M. : Trace element content in fish from zolian and Tremit Island. Chemical Abstracts, **83**, 142, 1975.
- 7) Mackay, N. J. : Selenium and heavy metals in black marlin Mar. Pollut. Bull, **6**(4), 57-61, 1975.
- 8) 손동헌, 정해운 : 한강유역 淡水魚 중 총 水銀함량에 관한 연구. 환경보전협회지, **2**(1-2), 1981.
- 9) 김명희 외 : 한강담수어 중의 중금속 함량에 관한 연구. 서울報研報, **16**, 54-65, 1980.
- 10) 황인담 외 : 일부하천유역의 담수어와 沈積土와의 중금속함량에 관한 연구. Kor. J. Env. Hlth. Soc., **15**(1), 33-49, 1989.
- 11) 김영식 외 : 한국연안 어패류 중 중금속 함유도에 관한 연구. 국립보건원보, **14**, 289, 1977.
- 12) 김덕만, 이춘구 : 메기의 조직에 미치는 Cd의 영향에 관한 연구. 한국육수학회지, **13**(3-4), 17-21, 1980.
- 13) Pärt, P., Svanberg, O., Kiessling, A. : The availability of cadmium to perfused rainbow trout gills in different water qualities. Wat. Res., **19**(4), 427-435, 1985.
- 14) Calamari, D., Marchetti, R. and Vailati, G. : Inf-



- fluence of water hardness on cadmium toxicity to *salmo gairdneri* Rich. *Wat. Res.*, **14**, 1421-1426, 1980.
- 15) Chakoumakos, C., Russo, R. C. and Thurston, R. V. : Toxicity of copper to Cutthroat Trout (*Salmo clarki*) under different conditions of alkalinity, pH and hardness. *Env. Sci. Technol.*, **13**, 213-219, 1979.
- 16) Ulrich, M. : Bioaccumulation of zinc in two freshwater organisms (*Daphnia magna*, Crustacea and *Brachydanio rerio*, Pisces). *Wat. Res.*, **21**(1), 99-106, 1987.
- 17) Wren, C. D. and Macrimmon, H. R. : Comparative bioaccumulation of mercury in two adjacent freshwater ecosystems. *Wat. Res.*, **20**(6), 763-769, 1986.
- 18) 송철 : 수산식품 중 유독성 미량금속에 관한 연구. 보건장학회논문집, **4**, 32-34, 1975.
- 19) 성덕화, 이용옥 : 우리나라 일부연안 해산어류 중의 중금속 함량에 관한 연구. *Kor. J. Food Hygiene*, **8**(4), 231-240, 1993.
- 20) 서화중, 홍성운, 최종환 : 남해안에 서식하는 수산물의 중금속 함량에 관한 연구. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, **22**(1), 85-90, 1993.
- 21) 김돈균, 김준연 : 낙동강하류 패류의 중금속 오염 실태에 관한 조사 연구. 부산대학교 환경문제 연구소 환경연구보, **5**, 1-21, 1987.
- 22) 양재승, 이서래, 노재식 : 국내현미 중 수은 및 카드뮴의 농도. *한국식품학회지*, **11**(3), 176-181, 1979.
- 23) 金在鳳 외 : 중금속에 의한 토양오염과 농작물내 함량의 상관관계에 관한 연구. 국립환경연구소보, **2**, 203-211, 1980.
- 24) 崔漢榮 : 한강에 서식하는 담수어의 부위별 중금속 함량에 관한 조사연구. 연세대학교 석사학위논문, 1985.
- 25) 홍종록, 홍사옥 : 한강유역 어류 중의 중금속 분포에 관한 연구. *한국육수학회지*, **15**(1-2), 7-14, 1968.
- 26) 車喆煥 : 공해와 질병. 최신의학사, pp. 305-306, 1974.
- 27) 환경청 : 환경오염공정시험법, 1986.
- 28) APHA-AWWA-WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17th ed., 1989.
- 29) 한국공업 표준협회 : KS M 0111 공장폐수시험방법, 1981.
- 30) Rand, G. M. and Petrocelli. S. R. : *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. Hemisphere Publishing Corporation, P. 500, 1985.
- 31) 홍종선 : 통계자료분석. 탐진, 1992.
- 32) Nemerow, N. L. : *Industrial water pollution: origins, characteristics and treatment*, Addison-Wesley Publishing Company, 1978.
- 33) 柳鏞來 : 중금속이 송사리(*Oryzias latipes*)에 미치는 급성독성에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문, 1987.
- 34) Mckone, C. E. *et al.* : Rapid uptake of mercuric ion by goldfish. *Env. Sci. Tech.*, **5**(11), 1138-1139, 1971.
- 35) Winner, R. W. : Bioaccumulation and toxicity of copper as affected by interactions between humic acid and water hardness. *Wat. Res.*, **19**(4), 449-455, 1985.