

一部 河川流域의 淡水魚와 沈積土의 重金屬  
含量에 關한 研究

황인담·기노석·양기승·이재형·김남송

전북대학교 의과대학 예방의학교실

**A Study on the Heavy Metal Contents in Fish and Sediments  
of the Mankyung River**

In Dam Hwang · No Suk Ki · Gi Seung Yang  
Jae Hyung Lee · Nam Song Kim

*Dept. of Preventive Medicine and Public Health, College of  
Medicine, Chonbuk National University*

**Abstract**

Pollution in the rivers has received considerable attention in recent years, particularly with reference to the effect due to increasing concentration of heavy metals.

The metals are toxic to the ecosystem as a whole and to man in particular, since he is at the end of a variety of food chains by virtue of his variegated diet. In addition, numerous laboratory tests have established that certain metals, such as Cd, pose a threat to a wide variety of aquatic organisms at concentrations as low as a few  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Before the biological effects of heavy metals in impacted ecosystems can be completely assessed, however it is necessary to provide data on the concentration of heavy metals in such systems.

This study was performed to investigate the concentration level of heavy metals in water, fish and sediments from upstream ( $S_1$ - $S_4$ ) to downstream ( $S_5$ - $S_9$ ) of the Mankyung river. Samples of water, fish, and sediments were collected along the tributaries of the Mankyung from September to October in 1987 and analyzed for lead, cadmium, copper, and zinc by atomic absorption spectrophotometer.

From the data presented in this study, we can infer that the concentrations of the heavy metals investigated both in water and sediments are similar to those found in literature for

---

본 논문은 1988년도 재단법인 한국화학학회의 연구비 보조에 의한 것임.

unpolluted regions.

The results obtained from the analysis of the edible tissue of the *C. auratus* show low concentration levels of the four heavy metals investigated.

We conclude that the area is still relatively unpolluted and recommended continuing the monitoring of heavy metal concentrations to improve our understanding of their cycle in the river environment.

## I. 서 론

현대의 인구증가, 도시집중현상 및 산업발달에 따라 각종 도시하수와 산업폐수 등이 호수, 하천 및 해양으로 유입되고 있으며 이에 포함된 다량의 오염물질은 생태계의 변화와 함께 여러 생물의 생존에 영향을 미치고 있다. 이중 납, 카드뮴 및 수은과 같은 일부 유해중금속은 미량일지라도 장기간에 걸쳐 수중 생물 또는 침적토에 축적되고 생물학적 먹이연쇄를 통하여 최종에는 인체에까지 피해를 초래한다. 또한 이들 중금속은 생물체에 필수 미량금속인 구리 및 아연 등의 중금속과도 유사한 화학적 성질을 지니고 있어 자연상태나 생활환경에서도 함께 존재하거나 영향을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

과거 일본에서 발생한 Minamata 병<sup>2)</sup>과 같은 수은중독 및 Itai-itai 병<sup>3)</sup>과 같은 카드뮴 중독은 막대한 인명피해를 나타낸 대표적인 예로서 중금속에 의한 환경오염에 대해 전세계적인 경각심을 불러 일으킨 바 있다. 이러한 집단중독의 사례가 발생됨에 따라 중금속에 의한 환경오염은 커다란 사회문제로 대두되고 WHO에서는 수산식품 중의 중금속함량에 대한 국제허용기준을 설정하기 위한 작업을 진행시킴과 동시에<sup>4)</sup> 하천이나 강하구 또는 해안지역을 중심으로 여러 중금속류들의 함량에 관한 조사연구가 시도되었다.

Mathis 와 Cummings<sup>5)</sup>, Anderson<sup>6)</sup>, Brown

과 Chow<sup>7)</sup>, Vinikour 등<sup>8)</sup>은 강과 호수에서 어패류내 중금속을 Christensen 과 Scherfig<sup>9)</sup>, Taylor 등<sup>10)</sup>, Shephard 등<sup>11)</sup>, Christensen 과 Chien<sup>12)</sup>, Spencer 등<sup>13)</sup>은 강, 호수 및 해안지역의 침적토내 중금속을 조사하였고, 국내에서도 각종 농산물<sup>14)</sup>과 담수어<sup>15-16)</sup> 및 일부 해산물<sup>17-18)</sup>에서의 중금속 함량에 관한 조사와 오염물질의 주요 통로가 되고 있는 하천에 대해, 한강에서 김명희와 박성배<sup>19)</sup>, 금강에서 임병순<sup>20)</sup>, 낙동강에서 어윤수<sup>21)</sup> 등에 의해 환경오염에 영향을 받는 담수어의 분포와 중금속함량에 관한 조사가 이루어져 주요 하천의 중금속에 의한 오염정도를 파악할 수 있는 자료로 활용되고 있다.

그러나 하천에 유입되는 오염물질은 지역적 특성에 따라 성분비가 다르고 조사지역과 어종의 종류에 따라 중금속 함량에서 서로 다른 농도를 보이고 있으며, 같은 담수어종에서도 조사부위별로 축적량이 다름을 보고하였다.<sup>19-21)</sup>

한편 하천에 있어서 수중 용존 또는 부유물질내 중금속은 먹이연쇄를 통하여 인간이나 농작물 또는 침적토에 축적되는 이행상태로서 중금속오염에 대한 잠재적인 중요성을 가지고 있으나 침적토는 오염물질의 저장소로서 물에 비하여 장기간 축적된 중금속 오염정도를 반영하고 있다.<sup>22)</sup> 또한 침적토내 중금속은 이동성이 적고 축적이 쉽게 일어나며 소량에 의해서도 수중 생물에 큰 독성을 나타내는 것으로 알려져 있다.<sup>23)</sup> 또한 우리나라 전국 주요하천의 수질 및 저질의 중금속함량에 대한 조사보고에 의하

면 아식 허용치를 초과하지는 않으나 상당량의 유해중금속이 포함되어 있다고 하였으며, 특히 하상 침전물은 중금속을 포함한 여러 종류의 오염물질을 축적하여 이화학적, 생물학적 오염 현상을 현저하게 나타내는 수가 많다고 하였다.<sup>24)</sup> 따라서 수중 환경내 중금속의 축적양상과 원인 및 이행경로를 파악하기 위해서는 수중 중금속은 물론 어류 및 침적토내 중금속도 함께 조사되어야 할 것으로 제시되고 있다.<sup>25-27)</sup>

그러나 우리나라에서는 아직까지 물, 어류 및 침적토를 동시에 조사한 연구는 거의 없는 실정이며, 또한 현재까지 수중 및 담수어중 중금속함량에 대한 조사의 대부분이 주로 한강, 금강, 낙동강의 3대강과 특정지역에 국한되어 있고 침적토중 중금속함량에 대한 조사는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 전북지역의 중요한 수자원으로 이용되어 오고 있으며 전주, 이리 및 군산지역의 도시하수와 각종폐수의 영향을 받고

있는 만경강에 대해 지류와 분류 중 일부 지점을 선정하여 해당지점의 하천수와 서식 담수어 및 침적토중 납, 카드뮴, 구리 및 이연의 함량을 측정 비교함으로써 만경강의 중금속 오염 정도와 분포의 변화를 평가하는 자료로 삼고자 한다.

## II. 조사대상 및 방법

### 1. 조사지역

조사지점은 만경강의 이화학적 수질검사자료<sup>28)</sup>에 준하여, 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), pH 및 부유물질(SS)을 기준으로, 지역적 특성을 고려하여 산업폐수나 도시하수 등 오염원에 직접 영향을 받지 않는 지역 중 상류의 비오염지역 4개지점(S<sub>1</sub> - S<sub>4</sub>)과 하류의 오염지역 5개지점(S<sub>5</sub> - S<sub>9</sub>)을 선정하였다(Table 1, Fig. 1).

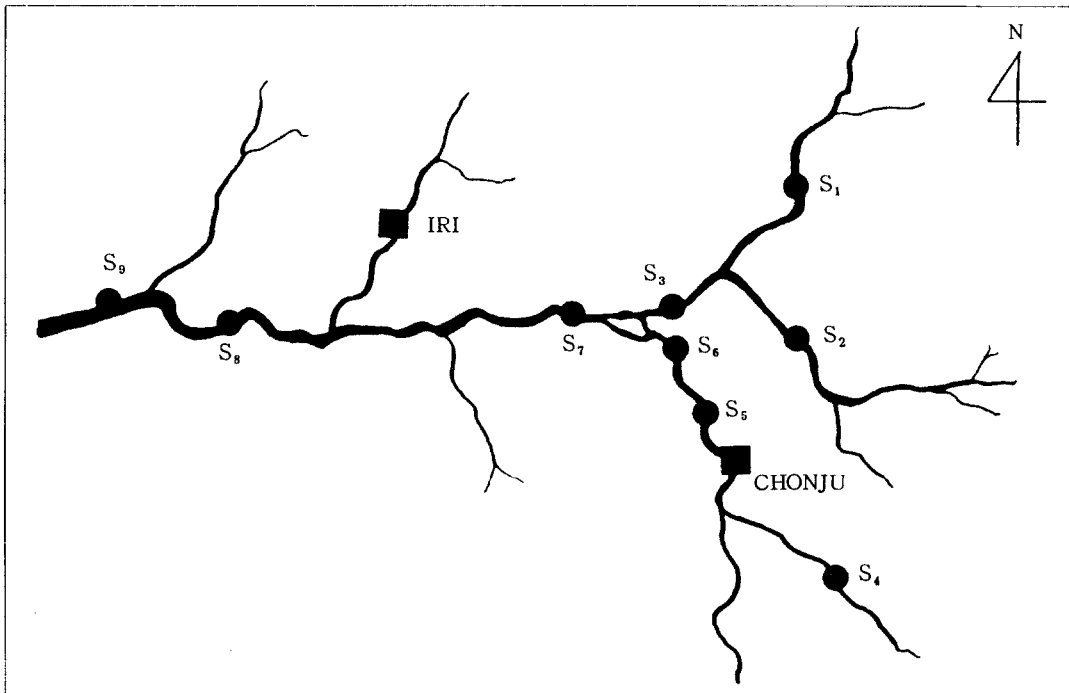


Fig. 1. Sampling Sites along the Mankyung River

Table 1. Sampling Sites and Locations in the Mankyung River

지역 번호	지 점	위 치	비 고
S <sub>1</sub>	봉 동 교	완주군 봉동읍 신성리	지 류
S <sub>2</sub>	소 양 교	완주군 용진면 고당리	지 류
S <sub>3</sub>	삼 레 하 리	완주군 삼례읍 하리	지 류
S <sub>4</sub>	색 장 교	전주시 색장동	지 류
S <sub>5</sub>	전 주 대 교	전주시 팔복동	지 류
S <sub>6</sub>	삼례교량리	완주군 삼례읍 고량리	지 류
S <sub>7</sub>	삼선철교	완주군 삼례읍 고량리	본 류
S <sub>8</sub>	탑 교	옥구군 대야면 광교리	본 류
S <sub>9</sub>	만경대교	옥구군 대야면 북교리	본 류

## 2. 조사기간 및 방법

1987년 9~10월 2개월동안 물은 각지점의 유심부로 생각되는 장소를 택하여 환경오염 공정시험법<sup>29)</sup>에 의하여 hydroid 채수기로 혼합채취를 원칙으로 주 1회 채수하였으며, 수심이 낮은 지역은 500 ml polyethylene 병을 이용하여 직접 채수하였다.

담수어는 어망과 족대를 이용하여 채집하였으며 채집이 곤란한 어류는 현지에서 구입한 후, 즉시 실험실로 운반하여 냉동 보관하였다.

침적토는 직경 2.5 cm 와 4.5 cm, 길이 1.5 m 의 플라스틱 튜브를 이용하여 채취하였으며, 그 자리에서 깊이 5 cm 이하의 표층 침적토와 5 cm 이상의 심층 침적토로 분리하여 실험실로 운반하였다.

## 3. 실험방법

### 1) 시료의 전처리

채집한 어류를 증류수로 수회 세척한 후 소형의 어류는 전체를 homogenizer 로 마쇄하여 실험시료로 사용하였고, 대형의 어류인 붕어와 메기는 근육, 골격, 아가미 및 장기로 분리시켜 각각 별도로 마쇄하여 시료로 사용하였다.

물은 채수 후 24 시간 이내에 실험시료로 사용하였으며, 침적토는 비닐봉지에서 약 2주간 실온에서 건조시킨 후 나무젓구로 가볍게 분석

하여, 비금속성 100 mesh 의 체에 통과된 것을 실험용 시료로 사용하였다.

### 2) 유기물 분해 및 중금속 정량

시료내 유기물 분해는 위생시험법<sup>30)</sup>과 환경오염공정시험법<sup>29)</sup>을 혼용한 질산-황산-과염소산 분해법에 따라 가열 분해시켰다. 유기물 분해를 마친 시료에 증류수 50 ml 와 B.T.B. 용액 3 방울을 떨어뜨린 후, ammonia water 를 이용하여 pH 9.5 정도로 적정한다. 여기에 ammonium sulfate 용액 (40 w/v %) 100 ml 를 넣고 diethyl dithio carbamate-methyl isobutyl ketone (DDTC-MIBK)을 사용하여 chelate 화합물을 유출하였다. 유출된 MIBK 는 90 °C 열판위에서 휘산시키고 남은 chelate 화합물에 질산-과염소산을 소량 가한 후, 다시 산을 휘산시키고 0.1 N 염산 용액을 가하여 시료를 5 ml 로 만들어서 측정용 시료로 사용하였다.

침적토는 시료 10 g 을 250 ml flask 에 취하여 0.1 N HCl 50 ml 를 가한다음 수욕진탕기를 사용하여 30 °C 를 유지하면서 1 시간 진탕시킨 후, 여과지 (Toyo No. 6) 로 여과한 용액을 측정용 시료액으로 사용하였다.

### 3) 측정 및 기기장치

시약은 유해금속측정용과 원자흡광분석용을 사용하였다. 측정은 원자흡수분광광도계 (atomic absorption spectrophotometer IL

551) 로 하였으며, 사용가스는 air acetylene 으로 유속은 각각 air 20 SCFH, acetylene 4.2 SCFH 이었다. 측정시 분석기기의 조건은 Table 2 와 같다.

### III. 성 적

Table 2. Analytical Conditions of Atomic Absorption Spectrophotometer

Metal	Wave length (nm)	Lamp current (mA)	Bandpass (nm)	Concentrations of standard solution (ppm)
Pb	217.0	5	1.0	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Cd	228.8	3	1.0	0.1, 0.2, 0.3
Cu	324.7	5	1.0	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
Zn	213.9	3	1.0	3, 6, 9, 12

Table 3. Distribution List of Fishes Collected in the Mankyung River

Korean Name	Scientific Name	Distribution Sites								
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
피라미	<i>Zacco platypus</i>	●	●	●	●			●		
참중개	<i>Cobitis koreensis</i>	●	●	●	●					
출중개	<i>Cobitis koreensis</i>	●	●	●						
물개	<i>Squalidus coreanus</i>	●	●	●						
모래무지	<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●						
쉬리	<i>Coreoleuciscus splendidus</i>		●	●	●					
버들치	<i>Moroco oxycephalus</i>	●	●		●					
납줄갱이	<i>Rhodeus suigensis</i>		●	●	●					
중고기	<i>Sacocheilichthys czerski</i>	●	●							
참마자	<i>Hemibarbus labeo</i>		●	●	●					
돌마자	<i>Microphysogobio yaluensis</i>			●	●					
각시붕어	<i>Rhodeus uyeksi</i>	●	●	●	●					
미꾸리	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>			●						
밀어	<i>Gobius similis</i>	●			●					
간겨니	<i>Zacco temmincki</i>	●		●						
동사리	<i>Mogurunda richardson</i>	●		●						
돌고기	<i>Puntungio herzi</i>							●		
참붕어	<i>Pseudorasbora parva</i>			●				●	●	
납지리	<i>Acheilognathus intermedia</i>							●	●	
가시납지리	<i>Acanthorhodeus gracilis</i>							●	●	
출납자루	<i>Acheilognathus yamatsutae</i>							●	●	
메기	<i>Parasilurus asotus</i>									●
붕어	<i>Carassius auratus</i>		●					●	●	●
망둥어	<i>Tridentiger obscurus</i>									●

### 1. 어종의 분포

본 연구의 조사대상 7개 지점에서 채집한 어류의 분포는 Table 3 과 같으며 총 채집 어류는 24 종으로 상류의 비오염지역 (S<sub>1</sub> - S<sub>4</sub>) 에서 18 종, 하류의 오염지역 (S<sub>7</sub> - S<sub>9</sub>) 에서 9 종을 채집하였다. 어종수가 가장 많이 채집된

곳은 S<sub>3</sub>에서 14 종으로 가장 많았고 가장 적게 채집된 곳은 S<sub>9</sub>으로 3 종이였다.

## 2. 지점별 중금속함량

### 1) 물

수중 중금속농도의 평균치는 Table 4에서와 같이 상류의 비오염지역(S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>)에 비해 하류의 오염지역(S<sub>5</sub>-S<sub>9</sub>)에서 높았으며, 납, 카드뮴 및 구리에서 유의하게 높았다.

지점별 수중 중금속농도는 납의 경우 전주대교(S<sub>5</sub>)에서 41.4 ± 14.4 μg/l로 최고농도를, 카드뮴, 구리 및 아연은 삼례 고량리(S<sub>6</sub>)에서 각각 0.59 ± 0.20 μg/l, 8.8 ± 3.9 μg/l, 189.2 ± 51.4 μg/l로 최고 농도를 보였다. 최저농도를 보인 지점은 납, 카드뮴 및 아연의 경우 삼례하리(S<sub>3</sub>)로 각각 5.4 ± 4.7 μg/l, 불검출

14.2 ± 4.0 μg/l 이었고, 구리의 경우 색장리(S<sub>4</sub>)로 1.2 ± 0.5 μg/l의 농도를 보였다(Table 5).

### 2) 어류

어류에 있어서 중금속 평균함량은 상류지점(S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>)에 비해 하류지점(S<sub>7</sub>-S<sub>9</sub>)에서 높았으나 유의하지는 않았다(p > 0.05)(Table 4).

지점별 중금속함량은 납과 카드뮴의 경우 삼선철교(S<sub>7</sub>)에서 각각 1.36 ± 1.42 μg/g, 0.047 ± 0.051 μg/g으로 최고농도를 보여 삼례하리(S<sub>3</sub>)의 0.48 ± 0.31 μg/g, 0.020 ± 0.012 μg/g에 비해 유의하게 높았으며(p < 0.05), 구리와 아연의 경우 만경대교(S<sub>9</sub>)에서 각각 0.96 ± 0.34 μg/g, 9.63 ± 0.71 μg/g으로 최고농도를 보였고, 소양교(S<sub>2</sub>)의 아연

Table 4. Heavy Metal Contents in Water, Fish and Sediment by Area

	Water (μg/l)		Fish (μg/g)		Sediment (μg/g)	
	S <sub>1</sub> - S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub> - S <sub>9</sub>	S <sub>1</sub> - S <sub>4</sub>	S <sub>7</sub> - S <sub>9</sub>	S <sub>1</sub> - S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub> - S <sub>9</sub>
Pb	9.05 ± 3.07 <sup>a</sup>	29.30 ± 10.48 <sup>**</sup>	0.61 ± 0.39	1.26 ± 1.04	2.23 ± 0.05	2.96 ± 1.04
Cd	0.13 ± 0.09	3.38 ± 0.14 <sup>*</sup>	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.03	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.03
Cu	2.05 ± 1.12	5.62 ± 2.65 <sup>*</sup>	0.81 ± 0.26	0.93 ± 0.34	1.05 ± 0.49	2.73 ± 0.78 <sup>*</sup>
Zn	22.30 ± 13.38	96.66 ± 62.18	8.21 ± 1.78	8.57 ± 2.59	3.86 ± 1.81	8.66 ± 4.56

a : Mean ± S. D.

\* : p < 0.05      \*\* : p < 0.01

Table 5. Heavy Metal Concentrations in Water Samples of the Mankyung River

Site	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
S <sub>1</sub>	19.9 ± 7.7 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.13	1.6 ± 1.5	15.9 ± 7.2
S <sub>2</sub>	8.7 ± 3.9	0.15 ± 0.09	1.6 ± 1.1	16.8 ± 6.4
S <sub>3</sub>	5.4 ± 4.7	N. D.	3.6 ± 2.5	14.2 ± 4.0
S <sub>4</sub>	9.2 ± 3.1	0.12 ± 0.08	1.2 ± 0.5	42.3 ± 11.5
S <sub>5</sub>	41.1 ± 14.4	0.48 ± 0.20	4.3 ± 2.1	82.7 ± 10.9
S <sub>6</sub>	39.6 ± 17.4	0.59 ± 0.20	8.8 ± 3.9	189.2 ± 51.4
S <sub>7</sub>	18.9 ± 9.5	0.31 ± 0.14	2.0 ± 0.6	37.3 ± 7.7
S <sub>8</sub>	26.4 ± 11.6	0.29 ± 0.13	5.6 ± 2.7	48.3 ± 20.8
S <sub>9</sub>	20.5 ± 8.9	0.23 ± 0.11	7.4 ± 3.1	125.8 ± 31.3

a : Mean ± S. D. (μg/l)

N. D.: Not detected.

합량  $7.65 \pm 1.39 \mu\text{g/g}$  에 비해 유의하게 높았다 ( $p < 0.05$ ) (Table 6, Fig 3, 4, 5).

### 3) 침적토

침적토내 중금속 평균합량 역시 상류지점 ( $S_1 - S_4$ )에 비해 하류지점 ( $S_5 - S_9$ )에서 높았으며, 특히 구리의 경우 하류지점의 평균합량이 유의하게 높았다 ( $p < 0.05$ ) (Table 4).

지점별 표층 및 심층 침적토내 중금속합량은 봉동교( $S_1$ )의 아연, 삼례하리( $S_3$ )의 카드뮴, 색장교( $S_4$ )의 구리 및 삼선철교( $S_7$ )의 카드

뮴을 제외한 모든 지점에서 심층 침적토에 비해 표층 침적토에서 유의하지는 않으나 높은 함량을 보였다 (Table 7).

표층 침적토내 최고함량을 보인 지점은 남리 카드뮴은 반경대교( $S_9$ ), 구리는 삼례교량리( $S_6$ ), 아연은 전주대교( $S_5$ )로 각각  $5.03 \pm 1.2 \mu\text{g/g}$ ,  $0.13 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$ ,  $4.24 \pm 0.7 \mu\text{g/g}$ ,  $19.07 \pm 3.8 \mu\text{g/g}$  이었으며, 최저함량을 보인 지점은 남, 구리, 아연의 경우 삼례하리( $S_3$ ), 카드뮴은 봉동교( $S_1$ )로 각각  $1.48 \pm$

Table 6. Heavy Metal Contents in Freshwater Fishes of the Mankyung River.

Site	No. of Species	No. of Samples	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
$S_1$	111	29	$0.56 \pm 0.37^a$	$0.025 \pm 0.014$	$0.78 \pm 0.29$	$8.01 \pm 1.98$
$S_2$	13	39	$0.70 \pm 0.42$	$0.018 \pm 0.011$	$0.79 \pm 0.25$	$7.65 \pm 1.39$
$S_3$	14	34	$0.48 \pm 0.31$	$0.020 \pm 0.012$	$0.84 \pm 0.28$	$9.01 \pm 2.51$
$S_4$	9	17	$0.68 \pm 0.46$	$0.034 \pm 0.023$	$0.83 \pm 0.22$	$8.15 \pm 1.25$
$S_7$	7	21	$1.36 \pm 1.42$	$0.047 \pm 0.051^*$	$0.91 \pm 0.28$	$7.91 \pm 2.28$
$S_8$	5	15	$1.11 \pm 0.87$	$0.041 \pm 0.022^{* \#}$	$0.92 \pm 0.40$	$8.17 \pm 2.77$
$S_9$	3	18	$1.31 \pm 1.14^\#$	$0.029 \pm 0.026$	$0.96 \pm 0.34$	$9.63 \pm 0.71^*$

a : Mean  $\pm$  S. D. ( $\mu\text{g/g}$ )

\* : Significant difference from  $S_2$  at  $p < 0.05$ .

#: Significant difference from  $S_3$  at  $p < 0.05$ .

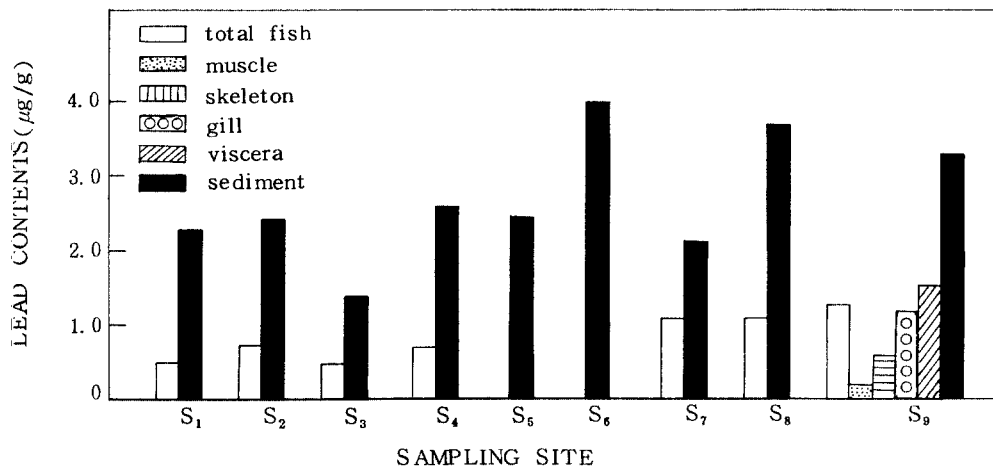


Fig. 2. Regional mean distribution of Pb contents in fish, sediment and part of *C. auratus* in  $S_9$ .

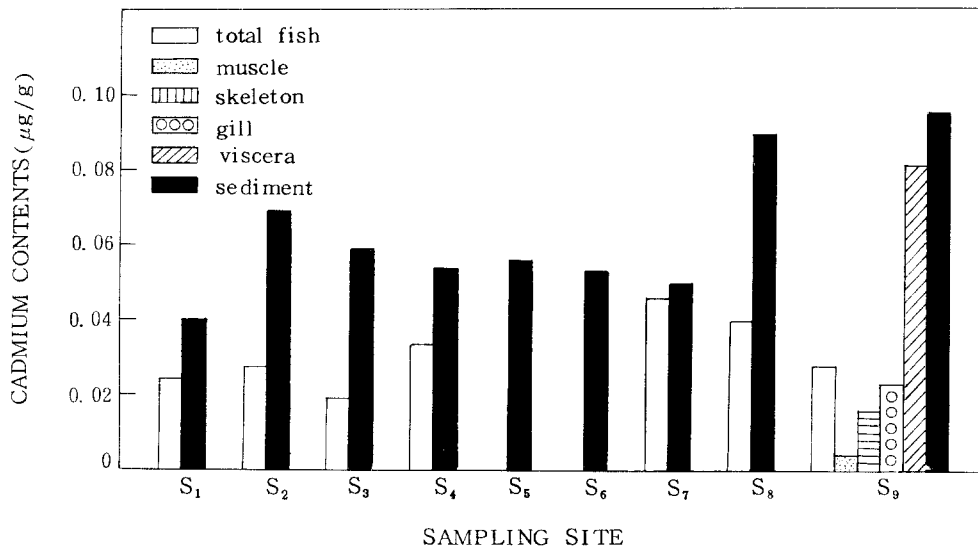


Fig. 3. Regional mean distribution of Cd contents in fish, sediment and part of *C. auratus* in S<sub>9</sub>.

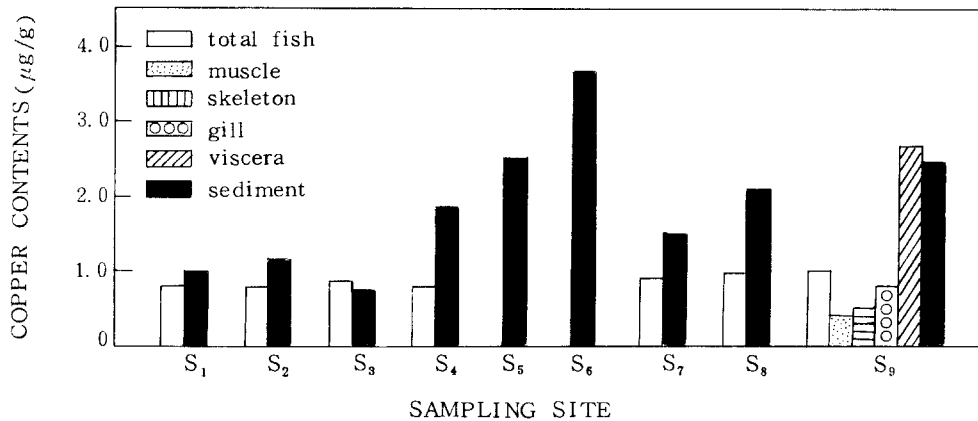


Fig. 4. Regional mean distribution of Cu contents in fish, sediment and part of *C. auratus* in S<sub>9</sub>.

0.2 µg/g, 0.69 ± 0.1 µg/g, 1.67 ± 0.4 µg/g, 0.04 ± 0.01 µg/g의 함량을 보였다 (Table 7, Fig. 3, 4, 5).

심층 침적토대 최고함량을 보인 지점은 남은 탐교(S<sub>8</sub>), 카드뮴은 삼례고량리(S<sub>6</sub>), 구리와 아연은 전주대교(S<sub>8</sub>)로 각각 3.52 ± 0.7 µg/

g, 0.09 ± 0.03 µg/g, 2.27 ± 0.3 µg/g, 12.30 ± 2.9 µg/g이었으며, 최저함량을 보인 지점은 남, 구리, 아연은 삼례하리(S<sub>3</sub>), 카드뮴은 봉동교(S<sub>1</sub>)로 각각 1.26 ± 0.2 µg/g, 0.61 ± 0.1 µg/g, 1.39 ± 0.3 µg/g, 0.04 ± 0.01 µg/g의 함량을 보였다 (Table 7, Fig. 3, 4, 5).



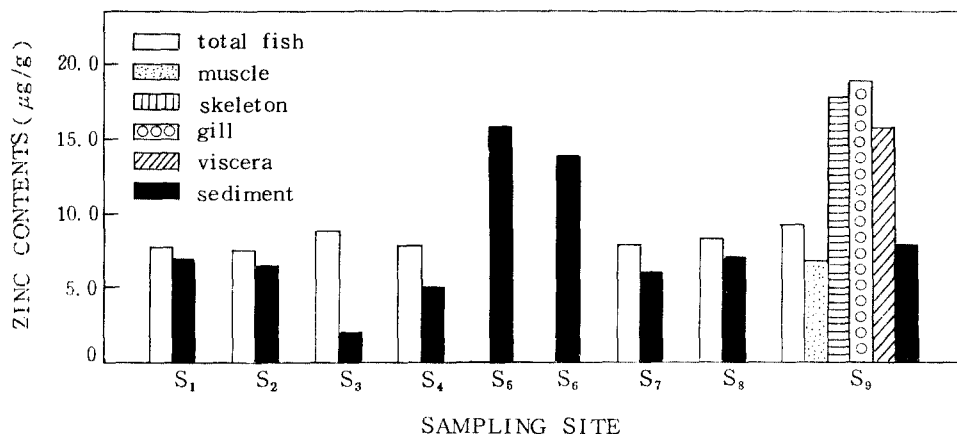


Fig. 5. Regional mean distribution of Zn contents in fish, sediment and part of *C. auratus* in S<sub>9</sub>.

Table 7. Heavy Metal Contents in Sediments of the Mankyung River

Site	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
S <sub>1</sub> s	2.58 ± 0.5 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.01	1.06 ± 0.2	3.33 ± 0.7
S <sub>1</sub> d	2.04 ± 0.3	0.04 ± 0.01	0.76 ± 0.1	4.17 ± 1.0
S <sub>2</sub> s	2.50 ± 0.4	0.07 ± 0.02	1.29 ± 0.2	6.67 ± 1.8
S <sub>2</sub> d	2.41 ± 0.4	0.07 ± 0.02	0.83 ± 0.1	4.72 ± 1.1
S <sub>3</sub> s	1.48 ± 0.2	0.05 ± 0.01	0.69 ± 0.1	1.67 ± 0.4
S <sub>3</sub> d	1.26 ± 0.2	0.07 ± 0.02	0.61 ± 0.1	1.39 ± 0.3
S <sub>4</sub> s	2.53 ± 0.3	0.07 ± 0.02	1.84 ± 0.2	4.72 ± 0.9
S <sub>4</sub> d	2.78 ± 0.6	0.04 ± 0.01	2.12 ± 0.3	4.17 ± 1.1
S <sub>5</sub> s	2.64 ± 0.6	0.08 ± 0.02	2.50 ± 0.3	19.07 ± 3.8
S <sub>5</sub> d	2.40 ± 0.4	0.04 ± 0.01	2.27 ± 0.3	12.30 ± 2.9
S <sub>6</sub> s	4.82 ± 0.9	0.12 ± 0.04	4.24 ± 0.7	13.82 ± 3.7
S <sub>6</sub> d	3.34 ± 0.7	0.09 ± 0.03	2.05 ± 0.2	7.55 ± 1.6
S <sub>7</sub> s	2.29 ± 0.3	0.04 ± 0.01	1.52 ± 0.3	5.56 ± 1.2
S <sub>7</sub> d	2.04 ± 0.2	0.06 ± 0.02	1.44 ± 0.2	5.28 ± 1.1
S <sub>8</sub> s	4.08 ± 0.8	0.11 ± 0.03	2.73 ± 0.4	6.94 ± 1.7
S <sub>8</sub> d	3.52 ± 0.7	0.07 ± 0.02	2.20 ± 0.3	4.73 ± 1.2
S <sub>9</sub> s	5.03 ± 1.2	0.13 ± 0.03	2.65 ± 0.6	7.50 ± 2.3
S <sub>9</sub> d	1.67 ± 0.4	0.07 ± 0.02	1.06 ± 0.2	3.89 ± 1.0

a : Mean ± S. D. (µg/g)

Ss: Surface sediment, Sd: Subsurface sediment.

3. 어류의 부위별 중금속 함량  
 만경대교(S<sub>9</sub>)에서 채집된 붕어의 부위별 평균함량은 납, 카드뮴 및 구리의 경우 장기에서

각각 1.50 ± 0.98 µg/g, 0.087 ± 0.054 µg/g, 5.25 ± 0.94 µg/g으로 최고함량을 보였으며, 아가미, 골격의 순으로 함량치가 감소하여 근육에서 각각 0.13 ± 0.12 µg/g, 0.004 ±

0.003  $\mu\text{g/g}$ ,  $0.39 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ 으로 최저함량을 보였다. 아연의 평균함량은 아가미에서  $19.39 \pm 7.94 \mu\text{g/g}$ 으로 최고함량을 보였으며, 골격, 장기의 순으로 감소하여 근육에서  $6.88 \pm 0.39 \mu\text{g/g}$ 으로 최저함량을 보였다(Table 8, Fig. 3, 4, 5).

메기의 부위별 평균함량은 낚의 경우 골격에서  $0.43 \pm 0.37 \mu\text{g/g}$ , 카드뮴과 구리의 경

우 장기에서  $0.015 \pm 0.005 \mu\text{g/g}$ ,  $1.43 \pm 0.19 \mu\text{g/g}$ , 아연의 경우 아가미에서  $19.39 \pm 5.13 \mu\text{g/g}$ 으로 최고함량을 보였으며, 낚은 장기, 근육, 아가미의 순으로, 카드뮴은 골격, 아가미, 근육의 순으로, 구리는 아가미, 골격, 근육의 순으로, 아연은 골격, 장기, 근육의 순으로 각 감소하였다(Table 8, Fig. 3, 4, 5).

Table 8. Comparison of Heavy Metal Contents by Part of Freshwater Fishes

Metal	Fish	Muscle	Skeleton	Gill	Viscera
Pb	<i>C. auratus</i>	$0.13 \pm 0.12^a$	$0.63 \pm 0.49$	$1.19 \pm 0.96$	$1.50 \pm 0.98$
	<i>P. asotus</i>	$0.24 \pm 0.10$	$0.43 \pm 0.37$	N. D.	$0.38 \pm 0.20$
Cd	<i>C. auratus</i>	$0.004 \pm 0.003$	$0.018 \pm 0.016$	$0.024 \pm 0.016$	$0.087 \pm 0.054^*$
	<i>P. asotus</i>	$0.003 \pm 0.003$	$0.011 \pm 0.008$	$0.009 \pm 0.006$	$0.015 \pm 0.005^*$
Cu	<i>C. auratus</i>	$0.39 \pm 0.13$	$0.44 \pm 0.18$	$0.78 \pm 0.36$	$5.25 \pm 0.94^{**}$
	<i>P. asotus</i>	$0.20 \pm 0.03$	$0.27 \pm 0.10$	$0.27 \pm 0.14$	$1.43 \pm 0.19^{**}$
Zn	<i>C. auratus</i>	$6.88 \pm 0.39$	$18.60 \pm 8.21^*$	$19.39 \pm 7.94^*$	$15.55 \pm 3.34^{**}$
	<i>P. asotus</i>	$5.39 \pm 0.41$	$16.30 \pm 3.27^{**}$	$19.89 \pm 5.13^{**}$	$13.35 \pm 2.88^{**}$

a : Mean  $\pm$  S. D. ( $\mu\text{g/g}$ )

N. D. : Not detected.

\* : Significant difference from muscle contents at  $p < 0.05$

\*\* :  $p < 0.01$

Table 9. Correlation Matrix of the Contents of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Mankyung River

	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
Lead	1.0	$0.93^{**}$	$0.85^{**}$	0.37
Cadmium		1.0	$0.78^{**}$	0.39
Copper			1.0	$0.71^{**}$
Zinc				1.0

\*\* :  $p < 0.01$

Table 10. Correlation Matrix of the Contents of Heavy Metals in the Subsurface Sediments of the Mankyung River

	Lead	Cadmium	Copper	Zinc
Lead	1.0	0.32	$0.77^{**}$	0.36
Cadmium		1.0	0.02	-0.09
Copper			1.0	$0.64^{**}$
Zinc				1.0

\*\* :  $p < 0.01$

#### 4. 침적토내 중금속간의 상관성

표층 침적토의 경우 각 중금속간의 상관관계는 납-카드뮴( $r = 0.93$ ), 납-구리( $r = 0.85$ ), 카드뮴-구리( $r = 0.78$ ), 구리-아연( $r = 0.71$ )에서 유의하였으며( $p < 0.01$ )(Table 9), 삼층 침적토의 경우 납-구리( $r = 0.77$ ), 구리-아연( $r = 0.64$ )에서 유의한 상관계를 보였다( $p < 0.01$ )(Table 10).

#### 5. 수중 중금속함량과 어류와 침적토의 concentration factor(CF)간의 상관성

수중 중금속함량과 어류의 CF(상태가 다른 두가지 오염물질간의 농도비)간의 상관관계는 납  $r = -0.64$ , 카드뮴  $r = -0.60$ , 구리  $r = -0.85$ , 아연  $r = -0.77$ 로 유의하였으며( $p < 0.01$ ), 침적토의 CF간의 상관관계 역시 납  $r = -0.78$ , 카드뮴  $r = -0.76$ , 구리  $r = -0.60$ , 아연  $r = -0.54$ 로 유의한 역상관관계를 보였다( $p < 0.01$ ).

### IV. 고 찰

수중 환경내 납, 카드뮴, 구리 및 아연 등의 2가 중금속은 함께 존재하거나 중금속간에 영향을 미치고 있으며 오염에 의해 중금속의 농도가 증가할 때 그 오염도가 쉽게 감소하지 않는다.<sup>31)</sup> 또한 이들 중금속은 장기간에 걸쳐 수중 생물 또는 침적토에 축적되고 생물학적 먹이 연쇄를 통하여 최종에는 인체에까지 피해를 초래한다. 따라서 중금속이 수중계에 유입되었을 때 오염정도를 평가하고 예견하기 위한 지표가 요구되고 있으며, 중금속의 생물학적 영향이 완전히 평가되기 전에 중금속 분포와 농도에 대한 성적이 먼저 제시되어야 한다.<sup>11, 32)</sup>

이러한 오염의 지표로서 어류 및 침적토가 이용되고 있으며 그 이유로는 수중 중금속의 평

균값이 수중 생물 또는 침적토에 축적되는 이행 상태로서 중금속오염에 대한 잠정적인 중요성을 가지고 있는 반면<sup>22)</sup>, 어류는 즉시 용존 중금속을 흡수하여 수중오염에 대한 신뢰성 있는 성적을 제시하고<sup>7)</sup> bioconcentration과 biomagnification의 연구에 유용하다는 점<sup>8)</sup> 들 수 있다. 또한 침적토는 수중 생태계에서 중금속의 저장소 역할을 하고 물에 비해 장기간 축적된 중금속의 평균값을 제시하여 수중 중금속 오염정도를 잘 반영하고 있다. 따라서 수중 환경내 중금속의 축적양상과 원인 및 오염정도를 파악하기 위해서는 수중 중금속과 함께 어류 및 침적토내 중금속함량도 병행하여 조사되어야 할 것으로 사료된다.

#### 1. 납

납은 인간에게 알려진 가장 오래된 중금속 중 하나로 주로 안료, 유약 등의 화학제조공장, 축전지, 활자 등의 인쇄공장 및 광산등에서 배출되는 폐수가 하천이나 강 및 해양으로 유입되어 각종 생물에 급성 혹은 만성효과를 나타낸다.<sup>33)</sup>

또한 납은 생물체내에서 delta-aminolevulinic acid dehydratase(ALAD)의 활성을 억제하며 hemoglobin 생성을 감소시켜 이로 인한 조혈기능의 장애로 각종 질병을 일으키는 유해 중금속으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 이러한 납은 대부분 대기, 수질 및 식품 오염을 통하여 체내에 흡수되며, 정상인의 1일 납 섭취량에 대하여 Ratcliffe<sup>34)</sup>는 180  $\mu\text{g}$  정도로 이중 10~15%가 체내에 흡수된다고 하였으며, Kenzaburo<sup>35)</sup>는 체내 납 함량이 90~400 mg으로 90%가 골수에 존재하며 중독은 급성보다는 만성인 경우가 빈번하다고 하였다.

Moore와 Ramamoorthy에<sup>36)</sup> 의하면 일반적으로 오염되지 않은 하천수의 농도는 3  $\mu\text{g}/\text{l}$  이하이나 광산 등의 폐수가 유입되는 지역에서는 500  $\mu\text{g}/\text{l}$  이상의 농도를 보인다고

하였으며, 공해대책 기술 동우회편의 수질기준은  $100 \mu\text{g}/1$  이하로 본 조사의 하류지점( $S_5-S_9$ ) 평균농도는  $29.30 \pm 10.48 \mu\text{g}/1$  로 비교적 낮은 오염정도를 보이고 있다.

어류에 대한 납의 지점별 평균함량은 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여 Illinois river에서 조사한 Mathis와 Cummings<sup>65</sup>, Vinikour 등<sup>83</sup>, 한강에서 조사한 김명희와 박성배의<sup>19)</sup> 보고와 같이, 이는 하류가 상류보다 각종 도시하수와 공장 폐수에서 흘러나온 오염물질의 부하량이 많음을 알 수 있다.

납은 어류에 비교적 축적이 덜되고 먹이 섭취와 함량간에 상관성이 없으며, 오염물질의 부하량이 낮은 지역에서는 어류의 생존에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>36)</sup> 그러나 오염의 정도가 심하고 어류의 조직에 일단 alkyllead가 형성될 경우 어류의 생존에 치명적인 영향을 미치기도 한다. 한편 납의 축적양상은 카드뮴과 달리 가식부위인 근육의 함량이 다른 부위에 비해 별 차이가 없다고 하였으며, 본 조사지점 만경대교( $S_9$ )에서 채집한 메기의 부위별 함량에서도 근육과 골격, 아가미, 내장간에 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

이와 같이 납이 어류의 조직에 축적이 덜되고 축적되더라도 조직간의 함량차이가 없는 것은 납이 조직에서 sulfate기와의 결합력이 낮고 용해도가 낮아 세포막을 쉽게 통과하지 못하기 때문으로 설명되고 있다.<sup>36)</sup>

침적토에 대한 납의 지점별 평균함량 역시 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여 Breder 등<sup>22)</sup>이 라인강에서 Moore<sup>38)</sup>가 Thompson 호수에서 조사한 결과와 같이 이는 하류가 상류보다 오염물질의 부하량이 큰 것으로 사료된다.

일반적으로 비오염지역에서 가용성 침적토내 납 함량은  $2 \sim 50 \text{mg}/\text{kg}$  으로<sup>36)</sup> 본 조사의 하류지점( $S_5-S_9$ ) 평균함량  $2.96 \mu\text{g}/\text{g}$  은 비교적 낮은 성격이었다. 또한 표층과 심층 침적토

의 중금속 함량간에 유의하지는 않지만 깊이가 증가할수록 함량이 감소하여 Iskandar 등<sup>26)</sup>, Bower 등<sup>27)</sup> 및 Taylor<sup>10)</sup> 등의 보고와 일치하였다.

Moore<sup>38)</sup>에 의하면 침적토에 흡착되는 중금속의 양은 침적토내 유기물질과 sulfide 이온, 물의 운동 및 중금속의 용해도에 따라 달라질 수 있다고 하였으며, 오염원에서의 거리, 유기물의 양 및 조사지점에서의 깊이와는 강한 역 상관관계가 있음을 보고하였다. 따라서 침적토내 중금속 함량을 조사하기 위해서는 깊이별 중금속 함량을 측정하는 것과 병행하여 사전에 폐기물의 물리적 및 화학적 특징도 조사하여야 할 것으로 생각된다.

## 2. 카드뮴

카드뮴은 도금, 제련, 전기 및 공장 등의 폐수가 유출되어 하천을 오염시키고 어류등에 만성적으로 축적되며, 이를 계속적으로 섭취할 경우 인체에 과잉 축적되어 단백뇨, 위장장애, 골격의 무기질 감소증 및 운동장애를 유발시킬 수 있다.<sup>39-40)</sup> 또한 카드뮴은 출생시 인체에는 거의 존재하지 않지만 환경오염의 폭로정도에 따라 점차적으로 축적되며, 정상인의 1일 카드뮴 섭취량에 대해 Fassett<sup>41)</sup>는 호흡기를 통하여  $0.072 \mu\text{g}$ , 식수를 통하여  $2.1 \mu\text{g}$ , 식품을 통하여  $51 \mu\text{g}$  정도가 섭취되며, 흡수량은 호흡기에서 흡입된 카드뮴의 약 40%, 소화기에서 섭취된 카드뮴의 약 5~6%가 체내로 흡수되어 1일 흡수량은  $8 \mu\text{g}$  정도라고 하였다.

카드뮴의 수중 농도는 일반적으로  $0.01 \sim 0.5 \mu\text{g}/1$ 이며 오염이 심한 경우에는  $17 \mu\text{g}/1$  까지 증가하는 경우도 있다.<sup>36)</sup> 본 조사의 경우 수중 카드뮴의 농도는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여 문병찬<sup>41)</sup>이 한강에서 조사한 경향과 일치하고 있다. 그러나 본 조사의 성적은 한강에서 조사한 김명희와 박성배<sup>19)</sup>의 성적에 비해 낮았으며 공해대책기술

동우회편<sup>37)</sup>의 WHO 수질기준 0.05 mg/l보다는 현저히 낮았다.

카드뮴에 장기간 폭로된 어류는 미량일지라도 카드뮴의 조직내 농도와 수중 농도 사이에 평형을 이루어 어류가 성장하거나 크기가 증가하여도 신장으로 배설되지 못하고 축적되어 조직내 일정한 농도를 유지하게 된다.<sup>8)</sup> 본 조사의 부위별 카드뮴 함량은 붕어의 경우 내장이 가장 높고 골격, 아가미, 근육의 순으로 감소하여, 비록 종이 다르지만 실험적으로 오염된 농어(perch)에서 간에 43.4%, 장에 6.9% 아가미에 11.3%, 근육에 1.2%의 분포를 보인 성적과 유사한 결과를 보여주고 있다.<sup>36)</sup> 또한 본 조사대상 붕어의 부위별 함량과 다른 지역에서 조사한 함량과 비교할 때 본 성적은 대체로 낮았으며 지역에 따라 다양한 범위를 보여주고 있다. 이러한 지역적 차이는 시료의 채취시기, food chain, 어류의 종류 및 성장정도 등에 따라 달라질 수 있다고 생각되며, 어류의 크기가 증가할수록 중금속 함량이 감소한다는 실험적 결과에 대해 Vinikour 등<sup>8)</sup>은 중금속이 수중농도와 조직간의 평형상태를 이루기 위해 조직으로 운반되는 속도보다 어류의 성장이 빠르다는 것, 장기의 성분비율이 감소한다는 것, 섭취양식의 변화에 따른 중금속의 축적감소 등으로 설명하고 있다. 그러나 본 조사에서는 어류의 크기별 카드뮴 함량이 조사되지 않아 비교하기 어렵지만 어류의 크기에 따라서도 중금속의 축적량에 크게 영향을 미칠 것으로 사료되는 바 추후 더욱 연구되어야 할 문제로 생각된다.

침적토에 대한 카드뮴의 지점별 평균함량 역시 상류에 비해 하류에서 증가하여 오염물질의 부하량에 따른 차이를 암시해 주고 있으며, Bower 등<sup>27)</sup>은 카드뮴 니켈 공장의 영향을 받고 있는 Hudson 강의 표층 침적토에서 100 µg/g, 20cm 깊이의 심층 침적토에서 2 µg/g 을 보고하여, 본 조사에서는 현저하지 않지만 깊이의

증가에 따라 카드뮴 함량이 감소함을 알 수 있다. Iskander 등<sup>26)</sup>은 심층에 비해 표층에서 2~3 배, Bower 등<sup>27)</sup>은 40~50 배의 다양한 함량을 보고하여 침적토내 중금속 함량은 깊이 별 또는 년도별 중금속 함량을 추정할 수 있는 Pb-211 법<sup>9,12,27)</sup>으로 장기간에 걸친 중금속의 축적양상을 조사해야 할 것으로 판단된다.

Moore 등<sup>36)</sup>은 또한 지역에 따라 0.1-3000 mg/kg의 함량을 보고하여 본 성적의 최저농도 0.04 µg/g, 최고농도 0.13 µg/g 에 비해 심한 변화를 보이고 있다. 이와같은 변화는 지역에 따른 차이에도 기인하지만 오염물질의 종류, 유기물질의 양 및 조사지점의 깊이에 따라 달라질 수 있다고 하였다. Shephard 등<sup>11)</sup>은 또한 동일 지점에서도 중금속 함량의 차이를 보여, 오염원에서 방출되는 중금속량의 변화, 강우에 의한 희석 및 수중계내 생물학적 활성도의 변화를 고려하여야 한다고 하였다.

### 3. 구 리

구리는 동·식물 조직에서 철대사와 글수의 세포형성에 관하여는 필수 미량금속으로 알려져 있으나 인체내에서의 생리적 작용에 대해서는 충분히 규명되지 못한 실정이다. 그러나 구리가 조직에 과량 축적되면 위장관의 자극, 갑상선기능항진 증 용혈성 빈혈, 황달 및 간장과 신장의 퇴화를 보이는 것으로 알려져 있다.<sup>42)</sup>

구리의 수중 농도는 일반적으로 5 µg/l 이하로<sup>41)</sup> 본 조사지점 만경대교(S<sub>9</sub>)의 8.8-3.9 µg/l 를 제외하고는 대체로 낮은 성적이었다. 그러나 공해대책기술 동우회편의<sup>37)</sup> WHO수질기준 1.5mg/l 에 비해서는 현저히 낮은 성적을 보였다.

본 조사에서 구리의 부위별 함량은 내장이 가장 높고 아가미, 골격, 근육의 순으로 감소하여 태화강에서 김재봉 등<sup>43)</sup>이 보고한 골격, 내장, 근육의 순위와는 일치하지 않지만 낙동강에서 어윤수<sup>21)</sup>, 북한강에서 강희곤 등<sup>16)</sup>의

보고와는 일치하였다. Moore와 Rammorphy의 연구<sup>36)</sup>에 의하면 어류체내 구리의 축적도는 물의 오염정도 보다는 오염된 식품이 더 크게 작용하며 수중 chelate 화합물이나 무기이온의 존재시 조직내 축적이 덜 되고 오염기간과 농도에 직접적으로 관계가 있다고 하였다.

일반적으로 구리는 수은을 제외한 다른 중금속들에 비해 독성이 크고 근육보다 간에 5~60배 이상 축적된다.<sup>36)</sup> 본 조사에서도 붕어와 메기의 경우 근육에 비해 내장에서 각각 13배, 7배의 함량을 보였고 Brown과 Chow<sup>7)</sup> 역시 12배의 함량을 보고하여 내장이 구리의 주요 축적 부위임을 나타냈다. 또한 Alabaster<sup>44)</sup>는 어류의 크기와 간에서의 구리 축적도간의 상관성을 보고하여 어류에 대한 구리의 오염정도를 알기 위해서는 근육보다 간의 측정량을 조사하는 것이 바람직하다고 하였다.

침적토내 구리함량은 상류에 비해 하류에서 높아 Breder 등<sup>22)</sup>과 Moore<sup>38)</sup>의 성적과 일치하며, Mathis와 Cummings<sup>5)</sup>는 상류보다 하류가 2.5배 높음을 보고하여 본 조사성적 2.6배와 거의 일치하였다.

#### 4. 아 연

아연은 필수 미량금속으로 체내 여러 효소의 구성원소 및 조효소로 작용하여 결핍시 단백질 합성의 감소에 따른 성장감소와 식욕감퇴가 나타나며, 독성은 다른 미량원소에 비해 적은 금속으로 알려져 있다.<sup>42)</sup>

일반적으로 오염되지 않은 하천수의 아연농도는 0.5~15 µg/l이며<sup>36)</sup>, 공해대책기술 동우회편<sup>37)</sup>의 WHO 수질기준은 5mg/l 이하이다. 그러나 오염지역에서는 100 µg/l 이상의 농도를 보이기도 하며 본 조사에서는 만경대교 지점(S<sub>9</sub>)의 189.2 µg/l를 제외하고는 대체로 낮은 농도를 보였다.

아연은 구리와 같이 근육보다 간장, 갑상선, 비장 및 아가미에 높은 축적량을 보이며<sup>36)</sup>,

Mackay 등<sup>45)</sup>은 근육보다 간에 비해 5배 축적됨을 보고하였다. 본 조사에서도 붕어의 근육부위 6.88±0.39 µg/g에 비해 내장에서 15.5±3.34 µg/g으로 약 2.3배 높은 함량을 보여 아연 역시 근육보다 주로 내장, 굴격 및 아가미에 축적됨을 알 수 있다.

침적토의 지점별 아연함량은 Breder 등<sup>22)</sup>과 Moore<sup>38)</sup>의 보고와 같이 상류에 비해 하류에서 높았으며, Mathis와 Cummings<sup>5)</sup>는 상류보다 하류가 2.7배 높음을 보고하여 본 조사성적 2.3배와 유사하였다.

## V. 요 약

최근 인구 증가와 급속한 산업발달로 인한 도시화 현상은 직접 또는 간접적으로 여러가지 형태의 환경오염 문제를 가중시켰으며, 특히 각종 산업폐수와 도시하수 등에서 호수, 하천 및 해양으로 유입된 일부 유해중금속은 생태계의 변화와 함께 수중생물내 축적과 생물학적 먹이 연쇄를 통하여 인체에 까지 피해를 초래하고 있다. 이에 본 연구에서는 수중환경내 중금속의 축적양상과 오염정도를 파악하기 위해 물, 어류 및 침적토를 1987년 9~10월 2개월 동안 오염원에 직접 영향을 받지 않는 만경강의 상류 4개지점(S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>)과 하류 5개지점(S<sub>5</sub>-S<sub>9</sub>)에서 채취하여 납, 카드뮴, 구리 및 아연 함량을 원자흡수분광광도계를 분석하였다.

1. 수중 납, 카드뮴 및 구리의 평균치는 상류(S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>)에서 하류(S<sub>5</sub>-S<sub>9</sub>)로 갈수록 높은 농도를 보였다(p<0.05).

2. 어류의 지점별 평균함량은 유의하지는 않으나 상류(S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub>)에 비해 하류(S<sub>7</sub>-S<sub>9</sub>)에서 높았으며, 침적토의 경우 납 1.3배(2.23 µg/g : 2.96 µg/g), 카드뮴 1.3배(0.06 µg/g : 0.08 µg/g), 구리 2.6배(1.05 µg/g : 2.73 µg/g), 아연 2.3배(3.86 µg/g : 8.66 µg/g)로 하류가 역시 상류보다 높은 함량을 보였다.

깊이별 침적토내 중금속 함량은 전 조사지점에서 심층보다 표층이 약간 높은 함량을 보였다.

3. 어류의 부위별 중금속 함량은 낚, 카드뮴 및 구리의 경우 내장에서 가장 높았고 아가미, 골격, 근육의 순으로 감소하였으며, 아연은 아가미에서 최고함량을 보이고 골격, 내장, 근육 ( $p < 0.05$ )의 순으로 감소하였다. 붕어 내장의 구리함량은  $5.25 \pm 0.94 \mu\text{g/g}$ 으로 근육함량  $0.39 \pm 0.13 \mu\text{g/g}$ 에 비해 13배 높았다 ( $p < 0.01$ ).

4. 표층 침적토에서 각 중금속간의 상관관계는 낚-카드뮴 ( $r = 0.93$ ), 낚-구리 ( $r = 0.85$ ) 카드뮴-구리 ( $r = 0.78$ ), 구리-아연 ( $r = 0.71$ )의 관계에서 각각 유의한 상관관계를 보였다 ( $p < 0.01$ ). 심층 침적토의 경우 낚-구리 ( $r = 0.77$ ), 구리-아연 ( $r = 0.64$ )에서 각각 유의한 상관관계를 보였다 ( $p < 0.01$ ).

5. 수중 중금속 함량과 어류 및 침적토의 bioconcentration factor (CF)와의 상관관계는 낚 ( $r = -0.64, -0.78$ ), 카드뮴 ( $r = -0.60, -0.77$ ), 구리 ( $r = 0.85, -0.60$ ), 아연 ( $r = -0.77, -0.54$ )에서 모두 강한 역상관 관계를 보였다 ( $p < 0.01$ ).

## 참 고 문 헌

1. Fasset, D.W.: Metals in the environment. Academic Press, New York, 1980.
2. Hammond, P.B. and Beliles, R.P.: Metals. In Casarett and Doull's Toxicology(2nd eds.). Macmillian Publishing Co., pp. 421-435, 1980.
3. Clarkson, T.W.: Disease associated with exposure to metal. In Maxcy-Rosenau (11th ed.), Public health and preventive medicine, Appleton-Crofts, New York, pp. 667-669, 1980.
4. F.A.O.: Food and nutrition, 1,20,1975.
5. Mathis, B.J. and Cummings, T.F.: Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois river. J. WPCF, 45: 1573-1582, 1973.
6. Anderson, R.V.: Concentrations of cadmium, lead and zinc in six species of freshwater clams. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 18: 492-497, 1977.
7. Brown, J.R. and Chow, L.Y.: Heavy metal concentrations in Ontario fish. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 17(2): 190-195, 1977.
8. Vinikour, W.S., Goldstein, R.M. and Anderson, R.V.: Bioconcentration patterns of zinc, copper, cadmium and selected fish species from the Fox river, Illinois river. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 24: 727-733, 1980.
9. Christensen, E.R. and Scherfig, J.: Metals from urban runoff in dated sediments of a very shallow estuary. Environ. Sci. Technol., 12: 1168-1173, 1978.
10. Taylor, J.H.: Enrichments of zinc, lead, and copper in recent sediments of Windermere, England. Environ. Sci. Technol., 13: 694-697, 1979.
11. Shephard, B.K., McIntosh, A.W., Atchison, G.J. and Nelson, D.W.: Aspects of the aquatic chemistry of cadmium and zinc in a heavy metal contaminated lake. Water Res., 14: 1061-1066, 1980.
12. Christensen, E.R. and Chien, N.K.: Fluxes of arsenic, lead, zinc, and cadmium to green bay and Michigan sediments. Environ. Sci. Technol., 553-558, 1981
13. Spencer, H.T., Leuthart, C.A. and Colyer, R.S.: Metal ion concentrations associated with late summer sediments of the Ohio

- river. *Water Res.*, 17: 959-962, 1981.
14. 김영규, 이재형, 손위익, 기노석, 황인담 : 일부 하천유역의 논 토양 및 현미중 중금속오염에 관한 연구, 전북의대 논문집, 12 : 15 ~ 22, 1988.
  15. 김남송 : 만경강 담수어중 중금속 함량에 관한 연구, 예방의학회지, 21(1) : 121 ~ 131, 1988.
  16. 강희관, 윤원용, 박상현, 박상배 : 북한강에 서식하는 중금속함량에 관한 연구, 한국 육수학회지, 19 : 79~83, 1986.
  17. 원중훈 : 한국산 어패류중의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 함량, 한수지, 6 : 1~9, 1973.
  18. 송철 : 수산식품 중 유행성 미량금속에 관한 연구, 보건장학회보 논문집, 5 : 88 ~ 94, 1985.
  19. 김명희, 박성배 : 한강 담수어중의 중금속함량에 관한 연구, 약학회지, 25(3):89 ~ 98, 1981.
  20. 임병순 : 금강유역의 담수어중 중금속함량 연구, 고려대학교 대학원 석사학위논문, 1980.
  21. 어윤수 : 변형어에 관한 형태 및 중금속함량조사 (낙동강에서 서식하는 *Mugi Cephalus* 를 중심으로). 한국환경위생학회지, 8 : 31~43, 1982
  22. Breder, R., Nurnberg, H.W., Golimowski, J. and Stoeppler, M.: Toxic metals in the river Rhine. In Nurnberg, H.W. (ed.), *Pollutants and their ecotoxicological significance*. Willey-Interscience Publication, New York, pp. 205-224, 1985.
  23. Leland, H.V. and Petrocelli, S.R.: *Fundamentals of aquatic toxicology*. Hemisphere Publishing Co., New York, pp. 374-404, 1985.
  24. 국립환경연구소 : 전국 주요 하천기초조사, 부록(1), pp. 172~177, 1983.
  25. Iskandar, I.K. and Keeney, D.R.: Concentrations of heavy metals in sediment cores from selected Wisconsin lakes. *Environ. Sci. Technol.*, 8: 165-170, 1974.
  26. Roth, I. and Hornung, H.: Heavy metal concentrations in water, sediments, and fish from Mediterranean coastal area, Israel. *Environ. Sci. Technol.*, 11: 265-269, 1977.
  27. Bower, P.M., Simpson, H.J., Williams, S.C. and Li, Y.H.: Heavy metals in the sediments of foundry cove, cold spring, New York, 12:683-687, 1978.
  28. 환경청 : 배출시설 및 측정현황, 1987.
  29. 환경청 : 환경오염 공정시험법, 서울, 1983.
  30. 일본약학회편 : 위생시험법 주해, 금원출판사, p. 149, 1983.
  31. 和田玟 : 公害による疾患, 南江堂, 81 ~ 90, 1971.
  32. Hakanson, L.: An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, 14: 975-978, 1980.
  33. Harrison, R.M.: Lead pollution causes and control. Champan and Hill, London and New York, pp. 133-157, 1981.
  34. Ratcliffe: Lead in man and the environment. Ellis Horwood Ltd., New York, pp. 34-40, 1981.
  35. Kenzaburo, T. and Soichiro, I.: Interrelationships among zinc, copper, lead, and cadmium in food, feces, and organs of humans, *Environ. Health Perspective*, 25: 119-124, 1978.
  36. Moore, J.W. and Ramamoorthy, S.: Heavy metals in sediments, water and biota in the Illinois river. Springer-Verlag Inc.,



- New York, pp. 44-45, 85-88, 109-115, 190-198, 1984
37. 공해대책기술 동우회편 : 공해대책, 7 (4): 285, 1971.
  38. Moore, J.W.: Distribution and transport of heavy metals in the sediments of a small northern eutrophic lake. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 24: 828-835, 1980.
  39. Lewis, G.D.: Cadmium accumulation in man. *J. Chro. Dis.*, 25: 717-721, 1972.
  40. Neathery, M.W. and Miller, W.J.: Metabolism and toxicity of cadmium, mercury, and lead in animals. *J. Dairy Sciences*, 58: 1767-1770, 1975.
  41. 문병찬 : 한강 주요 지천수중 중금속농도 조사연구, *공중보건잡지*, 13(2): 337 ~ 347, 1976.
  42. 송정자 : 극미량원소의 영양, 민음사, 서울, pp. 72~94, 140~144, 1984.
  43. 김재봉, 김동한, 배정오, 오재기, 강덕희 : 담수어의 분포 및 중금속함량에 관한 연구. *국립환경소보*. 5 : 261-271, 1983.
  44. Alabsater, J.S.: *Water quality criteria for freshwater fish*. Butterworth Co., London-Boston. p. 211, 1980.
  45. Mackay, N.J., Kazacos, M.N., Williams, R.J. and Leedow, M.I.: Selenium and heavy metals in black marine. *Marine Pollution Bulletin*, 6:57, 1975.