

금호강 저질(sediment)중에 함유된 중금속의 분포와 오염원파의 상관성 검토*

계명대학교 의과대학 예방의학교실

윤능기 · 서석권 · 이충원

=Abstract=

Concentrations of heavy metals in the sediments of the Kumho river and their implications in the sources of pollution

Nung Ki Yoon, MD; Suk Kwon Suh, MD; Choong Won Lee, MD

Department of Preventive Medicine, Keimyung University
School of Medicine, Taegu, Korea

The sieved sampling of the sediments of the Kumho river was carried out along 5 minor tributaries to study the distribution of the heavy metals according to particle size and to locate the source of heavy metals contributing to the pollution of the Kumho river which flows through the Taegu city April in 1988.

The results were as follows:

The heavy metal concentrations generally increased with the decreasing size of sediments and were higher in lower portion of sediment than in upper one at the same particle size. The coefficients of variation of each heavy metal in the same particle size were similar generally, but those among heavy metals showed markedly different values. It was found that the main source of pollution of the Kumho river was the Third Industrial Complex, but the contribution of Palge should not be underestimated.

서 론

전국의 하천중 가장 오염이 심하다고 알려진 금호강의 수질에 대한 연구가 많이 진행되어 있으나 인체에 유해 하다고 알려져 있는 중금속, 특히 저질(底質 sediment) 중에 함유되어 있는 중금속에 대한 연구는 극히 미미한 상태이다. 저질중에 함유된 중금속들은 여러가지 오염원으로부터 축적된 것이므로 지속적으로 축적된 오염의 지표가 될 수 있어 중요하며, 이러한 중금속의 저질중에서의 분포는 저질의 입자크기에 영향을 받는 것으로 밝혀져 있다.

그래서 전체 저질의 중금속함량을 조사하기 보다는 입자크기에 따라 그 분포를 측정 하는게 바람직하다고 할 수 있다(Yamagata and Shigematsu, 1970; Asami and Sampei, 1979; Thorne and Nickless, 1981). 수질에서 저질로 중금속이 이동되는 기전은 규명되어 있으며(Terashima 등, 1979), 하천에서의 미량의 흡수오염 물질의 분포와 이동의 기전도 규명된 바 있다(Terashima and Nagayama, 1979; Terashima and Tsukamoto, 1980). 대부분의 오염물은 보통 저질의 미세입자층(fine particle fraction)에 농축되므로 동일한 저질중에서라도 입자크기의 분포에 따라 중금속의 농도가 달라지게 된다(Yama-

* 이 논문은 1987년도 동산의료원 특수과제연구비로 이루어졌음.

gata and Shigematsu, 1970 ; Mizobuchi 등 1975 ; Asami and Sampei, 1979 ; Thomson 등, 1984). 또 저질중의 중금속은 요즈음 문제시 되고 있는 산성우의 영향으로 용출되어서 오염을 더욱 심화시킬수 있는 잠재적인 오염원이 된다(Galloway 등, 1987).

오염의 정도를 판정할 때에 어떤 오염물질의 단순한 환경기준의 초과 여부나 지역에 따른 농도차이를 단순히 산술적으로 비교하는것 보다는 시료의 상호간의 관련성을 구해서 물질이동의 기전이나 환경변화의 진행을 추론하는 것이 더 정확하다고 할 수 있다. 그래서 시료의 여러가지 중금속의 조성에 대해서 농도화를 구하여 상호비교하게 되면 시료상호간의 연관성을 알 수 있으며, 발생원의 규명이나 측정지점에서의 회색물질 혹은 농축물질의 기여도 등을 추측하는데 도움이 된다(구, 1986).

국내에서 저질중의 중금속 함량에 대한 연구는 드문데, 금호강의 저질중의 중금속 오염에 대한 연구(구, 1987)가 있으나 입자크기의 구분없이 저질중의 중금속 오염을 보고 그 상관성을 기초로 해서 오염원을 규명한 바 있다. 하천지역의 중금속 오염 특히, 오염된 중금속의 상관관계, 저질의 심도별, 입자크기 분포에 따른 오염에 관한 연구로서는 박 등(1986)의 연구가 있으나 시료채취 장소가 낙동강 하류로서 상류인 금호강에서의 연구자료는 미미하다.

그래서 본 연구에서는 금호강 하상의 저질중에 함유된 중금속을 체(sieve)를 이용해서 입자의 크기를 구분한 후에 각 입자의 크기에 따른 중금속의 분포를 알아보고, 이 자료를 기반으로 해서 성분의 농도

에 대한 농도화 matrix를 작성해서 각 시료간의 상관계수를 구해서 중금속오염의 발생원을 규명하고 원인 물질의 기여도를 판정해 보고자 한다.

재료 및 방법

시료의 채취는 1988년 4월 초에 금호강 지류인 산격천, 팔계천, 달서천, 3봉단 유입구, 해양교의 5개의 지점에서 그 지역을 대표할 수 있다고 여겨지는 3군데 색을 정해서 상층(0~15cm)과 하층(16~30cm)을 구분해서 실시했다(그림 1). 시료는 폴리에틸렌 봉지에 넣어 운반해서 시료를 60°C 건조기 내에서 48시간 건조시킨 후에 4단계로 sieve test를 했는데 상, 하층을 구분해서 230mesh를 통과하고 270mesh에 남는 체간분과 325mesh 체간분, 400mesh 체간분, pan에 남은 체간분을 각각 5gm 색을 취해서 분석시료로 사용했다. 저질중의 중금속 오염농도의 분석은 환경오염공정시험법(환경청, 1986)과 Standard Methods(APHA, 1985)의 왕수와 과염소산 분해법을 이용해서 전처리를 한 후에 원자흡광분석법(spec-trophotometer, IL 551 AA/AE)으로 정량분석했다.

상판 matrix의 작성은 6개의 중금속성분에 대해 각 시료마다 농도화 matrix (A_{ij})의 작성에서 시작된다. 다음 단계로서 2개의 시료간의 matrix [$\{Y_{ij}, (A, B) = \{A_{ij}/B_{ij}\}\}$]를 산정한다. 상관성의 유무를 판정하는 기준은 통계적으로 유의한 상관관계가 있다고 여겨지는 수의 범위를 선택하는 방법에 따라 정해지는데 이러한 수를 판정기준(matching criteria,

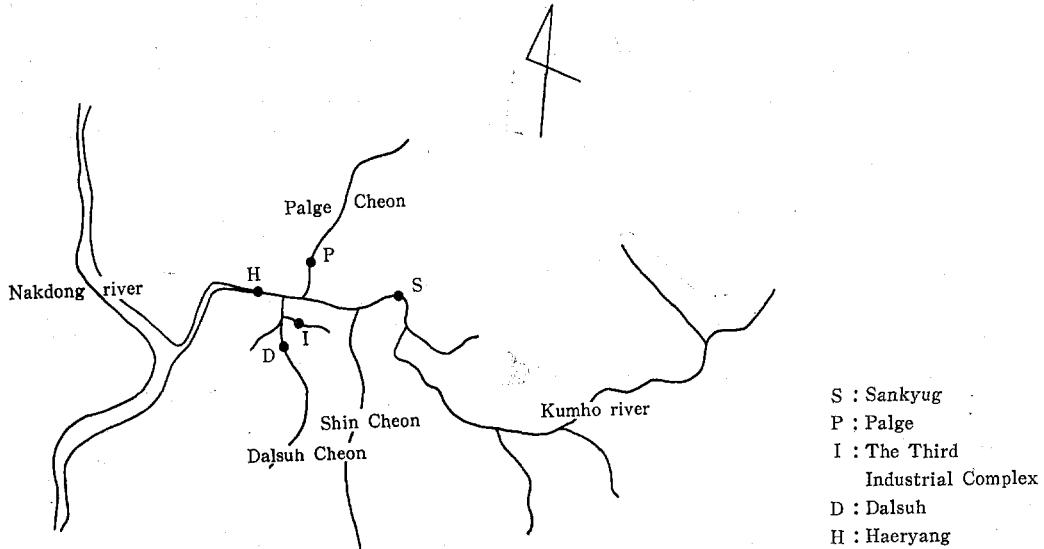


Table 1. Concentration of heavy metals by sampling site and fraction range of sediments
Unit: mg/kg (dry weight)

Site	Mesh	Cd		Cu		Cr		Mn		Pb		Zn	
		U ^a	L ^b	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
Sankyug	A*	0.05	0.05	23.65	24.67	10.46	14.07	38.09	38.13	1.54	1.82	68.57	76.94
	B	0.05	0.09	39.42	36.32	15.37	15.42	46.86	44.72	2.78	2.54	79.48	98.35
	C	0.07	0.10	42.33	43.21	19.32	21.43	58.83	62.21	2.84	2.93	115.17	129.54
	D	0.10	0.12	53.42	58.57	32.46	42.69	61.46	74.85	2.95	4.35	132.40	145.76
	Total	0.27	0.36	158.82	162.77	77.61	93.61	205.24	219.91	10.11	11.64	395.62	450.59
Palge	A	0.11	0.18	24.67	33.39	12.46	13.69	18.24	22.97	1.92	2.52	18.81	46.40
	B	0.19	0.20	29.7	37.62	15.09	22.03	29.85	28.75	2.44	3.58	30.18	52.49
	C	0.24	0.21	36.98	39.43	29.45	31.45	30.13	32.13	4.08	5.21	32.69	59.01
	D	0.25	0.27	55.34	41.27	36.57	32.83	31.88	34.88	4.22	6.25	37.73	63.97
	Total	0.79	0.86	146.72	151.71	93.57	100.00	110.10	118.73	12.66	17.56	119.41	221.87
3rd IC ^c	A	0.45	0.62	47.58	52.46	39.45	42.14	34.67	39.57	8.23	9.24	145.65	156.30
	B	0.67	0.76	63.21	64.35	60.10	73.47	38.47	41.69	8.57	9.63	176.47	198.49
	C	0.84	0.95	69.49	70.94	73.46	84.57	48.32	57.45	11.57	17.89	237.27	274.91
	D	1.25	1.57	75.84	82.34	80.35	99.46	52.64	67.52	16.12	20.46	314.78	379.37
	Total	3.21	3.90	256.12	270.09	253.36	299.64	174.10	206.23	44.49	57.22	874.17	1009.07
Dalsuh	A	0.03	0.04	17.03	18.93	8.26	10.67	17.65	32.74	0.89	1.13	25.43	26.24
	B	0.03	0.05	19.68	23.64	12.35	18.79	26.54	45.05	1.24	1.95	38.89	37.60
	C	0.05	0.07	29.93	34.37	18.35	22.41	34.56	49.70	1.17	2.14	38.59	47.75
	D	0.08	0.10	39.53	42.98	21.69	42.59	46.43	54.30	1.88	2.28	44.22	51.57
	Total	0.19	0.26	106.17	119.92	60.65	94.46	125.18	181.79	5.27	7.50	147.13	163.16
Haeryang	A	0.45	0.69	35.67	44.58	38.12	39.34	32.14	41.59	12.49	14.57	99.36	153.86
	B	0.52	0.71	42.78	56.15	63.71	75.93	42.56	48.56	13.57	16.25	154.60	189.54
	C	0.73	0.98	54.58	61.83	64.79	79.24	53.45	59.45	19.37	22.69	186.94	211.46
	D	1.00	1.42	89.45	101.00	76.30	89.25	64.23	73.72	22.45	35.38	214.75	254.79
	Total	2.70	3.80	222.48	263.56	242.92	283.76	192.38	223.32	67.88	88.89	655.65	809.65

* Fraction range of sediments-Mesh: A; 230/270, B; 270/325, C; 325/400, D; 400/pan

^aUpper ^bLower

^cThe third industrial complex

M)이라고 하고 다음의 식으로 결정된다.

$$1/M \leq Y_{ij}(A, B) \leq M$$

$M \leq 1.3$ 과 1.5 때에 각각 다음의 식으로 표시되는 범위내에 들어가는 수치들은 동일성질을 나타내는 것으로 판정한다.

$$0.77 \leq Y_{ij}(A, B) \leq 1.3 \quad (\text{for } M=1.3)$$

$$0.67 \leq Y_{ij}(A, B) \leq 1.5 \quad (\text{for } M=1.5)$$

본 조사에서 6성분의 중금속을 대상으로 하므로 실제로 비교할 수 있는 수치의 수는 15개가 된다. 이

때 상판수 (Z)는 이중 몇개가 앞의 2식내의 범위에 들어가는지를 계산해서 15로 나눈 값이 된다.

결과 및 고찰

1. 시료채취 지점의 일자크기에 따른 중금속 함량

금호강 지류의 시료채취지점의 저질층에 함유된 중금속의 농도를 일도별, 삼도별로 알아보기 위한

Table 2. Means, standard deviation and coefficient of variation of heavy metals according to the depth and particle size of sediments of Kumho river

Unit: mg/kg (dry weight)

Mesh		Cd	Cu	Cr	Mn	Pb	Zn
230/270	Mean	0.22	29.72	21.75	28.16	5.03	71.56
	Upper STD*	0.21	12.02	15.63	9.56	5.10	52.87
	C. V.**	95.5	40.4	71.9	33.9	101.4	73.9
	Mean	0.32	34.81	23.98	35.00	5.86	91.95
	Lower STD	0.32	13.82	15.39	7.48	5.86	60.40
	C. V.	100.0	39.7	57.6	21.4	100.0	65.7
270/325	Mean	0.29	38.96	33.32	36.86	5.72	95.92
	Upper STD	0.29	16.28	26.15	8.53	5.23	66.66
	C. V.	100.0	41.8	78.5	23.1	91.4	69.5
	Mean	0.36	43.62	41.13	41.75	6.79	115.29
	Lower STD	0.35	19.40	30.75	7.67	6.11	75.34
	C. V.	97.2	37.6	74.8	18.4	90.0	65.3
325/400	Mean	0.39	46.66	41.07	45.06	7.81	122.13
	Upper STD	0.37	15.62	26.15	12.29	7.59	90.12
	C. V.	94.9	33.5	63.7	27.3	97.2	73.8
	Mean	0.46	49.96	47.82	46.19	10.17	144.53
	Lower STD	0.46	15.66	31.42	25.06	9.46	97.96
	C. V.	100.0	31.3	65.7	54.3	93.0	67.8
400/pan	Mean	0.34	62.72	49.47	51.33	9.52	148.78
	Upper STD	0.38	19.78	26.93	12.97	9.22	117.73
	C. V.	111.8	31.5	54.4	25.3	96.8	79.1
	Mean	0.70	65.23	61.36	61.05	13.74	179.09
	Lower STD	0.73	25.91	30.60	16.76	14.05	138.26
	C. V.	104.8	39.7	49.9	27.5	102.3	77.2

* Standard deviation

** Coefficient of variation

결과(표1)를 보면 전체적으로 저질의 입자크기가 미세해 점에 따라 중금속의 함량이 커짐을 알 수 있었고, 같은 입자의 크기라도 상층보다는 하층에 더 많이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 표 1의 결과를 기초로 해서 전 시료대위 지점의 중금속함량을 평균해서 입자별로 나타낸 결과(표 2)를 보면 각 중금속 항목에서 mesh가 작아질수록 즉, 입자가 미세해 질수록 높은 평균함량을 보이고 있으며 하층이 상층보다 같은 mesh 분 이더라도 더 높은 함량을 보이고 있었다. 이 결과는 하상저질의 입자크기에 따른 중금속 함량의 분포와 경향이 일치하고 있음을 알 수 있고, 저질의 소입경에 중금속이 고농도로 농축되어 있다고 한 보고들과 일치되는 것이다(Yamagata and Shigematsu, 1970; Mizobuchi 등, 1975; Asami and

Sampei, 1979; Thomson 등, 1984; Sakai 등, 1986). 조사된 각 지점의 중금속함량을 입자별에 따른 변이 계수(coefficient of variation)는 동일 중금속에 대해서는 대개 비슷한 값을 보였으나 Mn에서 약간 불규칙한 값(18.4~54.3)을 보였다. 그리고 중금속 간의 변이계수는 상당히 큰 차이를 보였다. Cu와 Mn의 변이계수의 값은 Cu가 31.3~41.8, Mn은 18.4~54.3으로 상당히 작은 값을 나타내었는데 이는 하상저질에 함유된 중금속 분포가 비교적 균일하다는 것을 의미하며, 이것은 오염에 의한 것이라고 하기보다는 토양에 자연상태로 함유되어 있는 것에 기인하는 것으로 추론할 수 있으며 Cd(94.9~111.8), Pb(90.0~102.3)와 같이 큰 계수치를 보이는 중금속은 그 함량의 분포가 불균일하다는 것을 의미하는

것으로 토양의 자연상태에 험유되어 있는것 보다는 외부오염에 의한 것으로 추정할 수 있다(박 등, 1986).

2. 상관 matrix에 따른 중금속오염원

오염발생원의 규명을 위해서 시료의 여러 성분에 대해서 농도화 matrix를 구해서 각 시료 상호간의 상관수 (표 3)를 보면 각 지류가 합해져서 낙동강에 유입되는 해양교 지점과 산격, 팔계, 3공단, 달서와의 상관계수가 각각 0.07(0.13), 0.27(0.33), 0.60 (0.67), 0.07(0.03)으로서 해양교 지점의 저질중 중금속오염의 주 오염원이 3공단지역이며, 이 보다는 낮으나 팔계천 역시 어느정도 기여함을 알 수 있다. 3공단 오염 기여도의 이유로서는 3공단내의 밀집된 기계금속 가공공장에 의한것으로 추정되며, 또한 팔계천은 주변 지역에 공장들이 산재해 있으며 상류에 모금속 폐광산의 광미(鑛尾)에 의한것이 아닌가 추정된다. 이러한 추측을 지지해 주는 결과로서 시료 채취 지역의 강물의 중금속 오염도 (표 4)를 보면,

Table 3. Correlation matrix of heavy metals in the sediments for sampling sites

	Sank-yug	Palge	3rd IC*	Dalsuh	Haer-yang
Sank-yug					
Palge	0.07 (0.27)				
3rd IC	0.07 (0.13)	0.33 (0.33)			
Dalsuh	0.60 (0.60)	0.20 (0.33)	0.00 (0.00)		
Haeryang	0.07 (0.13)	0.27 (0.33)	0.60 (0.67)	0.07 (0.13)	

The values in parentheses: coefficients for M=1.5.

* Industrial complex

Table 4. Concentrations of heavy metals river water by sampling site

Unit: ppm

Site	Cd	Cu	Cr	Mn	Pb	Zn
Sank-yug	0.002	0.007	0.021	0.125	N.D.*	0.056
Palge	0.004	0.101	0.034	0.512	0.012	0.095
3rd IC	0.008	0.213	0.041	1.873	0.035	0.445
Dalsuh	N.D.	0.017	0.023	0.058	N.D.	0.039
Haeryang	0.010	0.247	0.037	1.408	0.023	0.269

* Non-detectable

6개의 중금속이 산격과 달서에서는 서로 비슷하나 3공단과 팔계천에서는 대체적으로 산격과 달서천에 비해 더 높은 중금속 오염도를 보이고 있었다.

위의 결과를 종합해 보면 하천하상의 저질중에 함유된 중금속은 저질의 입자크기에 따라 분포가 달라지며, 저질의 입자의 크기는 작아질수록 고농도로 농축되어 있다는 사실을 확인할 수 있었고, 금호강의 주요 오염원이 3공단지역이고 팔계천 역시 적으나마 어느정도 오염에 기여함을 알 수 있었다.

要 约

금호강 하상의 저질중에 함유된 중금속의 함량을 입도, 심도에 따른 분포를 알아보고, 이 자료를 기반으로 농도화 matrix에 의한 상관계수를 보아 중금속 오염의 발생원을 알아보고자 1988년 4월에 5개소의 금호강 지류에서 시료채취를 했다.

저질중의 중금속의 함량은 저질의 입자크기가 작을수록 높았으며, 하층이 상층보다 같은 입자크기더라도 더 높은 함량을 보였다. 입자의 크기에 따른 변이계수는 동일 중금속에 대해서는 대개 비슷한 값을 보였으나 Mn에서 약간 불규칙한 값을 보였고 중금속간의 변이계수는 상당히 큰 차이를 보였다. 금호강의 중금속 오염의 주된 원천은 기계금속 가공공장이 밀집해 있는 3공단이었으나, 팔계천 역시 주변지역에 산재해 있는 공장과 상류의 모금속 폐광산의 광미(鑛尾)에 의해 적으나마 어느정도 오염에 기여함을 알 수 있었다.

参考文献

- 구자명: 금호강 저질중에 함유된 중금속의 상관성. 1986; 2: 14-24.
- 환경청: 환경오염공정시험법, 환경청고시 제 86-18호('86. 12. 22) 1986.
- APHA, AWWA, APCF: Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed. Washington DC, Am Publ Health Assoc, 1985.
- Asami T, Sampei: Distribution of heavy metals in the sediments of Lake Kasumigaura and rivers flowed into the Lake (Part 3).

- Distribution of heavy metals in the sediments of rivers flowed into Lake Kasumigaura. *Jap J Soil Sci Plant Nutr* 1979; 50: 183—188.
6. Galloway JN, Dianwu Z, Jiling X, Likens GE: Acid rain: China, United States, and a remote area. *Science* 1987; 236: 1559—1562.
7. Mizobuchi M, Ichimura K, Ikeda N, Kasano M, Umto F, Tanaka T, Itano T: Behavior of heavy metals in sediments according to particle size. *J Envir Lab Ass* 5 1975.
8. Sakai H, Kojima Y, Saito K: Distribution of heavy metals in water and sieved sediments in the Toyohira river. *Wat Res* 1986; 20: 559—567.
9. Terashima Y, Nagayama A: Study on the mechanism of distribution and transport of trace adsorptive pollutants in a river- I. On the adsorption of trace metals onto suspended substances and sediments. *Envir Convers Engng* 1979; 8: 976—985.
10. Terashima Y, Sugahara M, Suzuki H: Mechanism of transport of heavy metal in water to bottom sediment. *Jap J Wat Pollut Res* 1979; 2: 89—96.
11. Terashima Y, Tsukamoto M: Study on the mechanism of distribution and transport of trace adsorptive pollutants in a river- II. Concentration change of dissolved and particulate metal in river flow. *Envir Convers Engng* 1980; 9: 435—445.
12. Thomson EA, Luoma SN, Johanson CE, Cain DJ: Comparison of sediments and organisms in identifying sources of biologically available trace metal concentration. *Wat Res* 1984; 18: 755—765.
13. Thorne LT, Nickless G: The relation between heavy metals and particle size fractions within the Seven Estuary (UK) inter-tidal sediments. *Sci Total Envir* 1981; 19: 207—213.
14. Yamagata N, Shigematsu I: Cadmium pollution in perspective. *Bull Inst Publ Hlth* 1970; 19: 1—27.